



Mémoire de fin d'études

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

Filière : Physique
Option : Physique des Matériaux

THÈME :

Etude du rapport des intensités d'émission des rayons X ($\frac{L\gamma}{L\alpha}$):
évaluation précise pour certains éléments de transitions ($2^{\text{ème}}$ et $3^{\text{ème}}$ série)

Préparé par : BENISSAAD Messaouda

Soutenu le : 25/06/2023

Devant le jury :

Président :	Daoudi Salim	Pr	Université de BBA
Rapporteur :	Kahoul Abdelhalim	Pr	Université de BBA
Examineur :	Khalfallah Farid	MCA	Université de BBA

Année Universitaire 2022-2023



Dédicace

Je dédie ce travail a mon papa et ma mère DIEU les bénisse

A mes chers sœurs

A tous les enseignants et professeurs tout au long de ma
carrière scolaire

A tous mes proche amies (Amani, Achouak, Sana, Namira,
Aya, Ranya, Hayet, Khaira, Nassima ...)

A mes chers voisins soulef et soumia

Pour tous ceux qui m'ont aidé





Remerciements

Je remercie Allah, le tout puissant, qui n'a cessé de me guider tout au long de mon cursus universitaire jusqu'à l'accomplissement de ce mémoire.

Tous mes remerciements et toute ma gratitude au professeur Abdel halim kahoul, chef du laboratoire de Laboratoire de Physique des Matériaux Rayonnement et Nanostructures (LPN) à l'Université de Mohamed Bachir Elibrahimi-Bourdj Bou Arreridj. Ainsi qu'à mon directeur de thèse qui, par ses directives, ses conseils et son professionnalisme m'a rendu la tâche facile. Tous les mots du monde ne suffisent pas pour remercier assez ce professeur qui est un modèle à suivre

J'aimerais, par ailleurs, exprimer ma joie d'avoir monsieur le professeur Daoudi Salim Comme président de jury.

Je tiens aussi à remercier monsieur Khalfallah Farid pour avoir accepté de faire partie du jury.

Je voudrais remercier mes parents pour tout ce qu'ils ont donné et pour m'avoir soutenu.

Je remercie mes sœurs ainsi que mes amis et tous ceux qui ont bien voulu m'apporter leur aide pour la réalisation de ce travail.



CHAPITRE I

<i>Figure I.1 : L'évolution de la matière (Meddouh, 2018).</i>	2
<i>Figure I.2 : la structure de l'Atome.</i>	3
<i>Figure I.3 : Certaines transitions autorisées dans les couches (K, L, M, N) (Bendjedi, 2018).</i>	6
<i>Figure I.4 : Schéma d'ionisation (photo-électrique).</i>	8
<i>Figure I.5 : Schéma d'excitation (Aloine selmi, 2011).</i>	8
<i>Figure I.6 : Longueurs d'ondes des rayonnements électromagnétiques.</i>	10
<i>Figure I.7 : Schéma de rayonnement ionisée et non ionisée (Djeddaoui, 2021).</i>	11
<i>Figure I.8: Schéma de l'effet photo-électrique (Mejri, 2007).</i>	13
<i>Figure I.9 : Schéma de l'effet Compton (Mejri, 2007).</i>	13
<i>Figure I.10: Schéma de phénomène de matérialisation (Bouakleche, 2017).</i>	14
<i>Figure I.11 : Comparaison et étude des 3 effets par modification du nombre atomique Z en fonction de l'énergie (Diana El Hajjar, 2014).</i>	15
<i>Figure I.12: schéma de l'effet Auger.(Kahoul, 2015).</i>	17

CHAPITRE II

<i>Figure II.1 : Partie du tableau périodique "bloc d montrant la famille des éléments de transition (Ouannassi, 2018).</i>	25
<i>Figure II.2 : Diagramme de raies de transition de la couche L, qui présenté (les couches, notation du Siegbahn, Configuration électronique) (A. Sharma et RM. Singla, 2010)</i>	28
<i>Figure II.3: La distribution des valeurs l'écart typesz_i, et leurs moyensz en fonction de numéros atomiques pour le deuxième et troisième série des éléments de transition.</i>	33
<i>Figure II.4 : Droite de régression des moindres carrés $y = ax + b$ (Zidi, 2021).</i>	34
<i>Figure II.5 : la variation des valeurs moyennes pondérées recommandé $\left(\frac{Ly}{L\alpha}\right)_W$ pour les éléments de la deuxième série $39 \leq Z \leq 47$</i>	39

Liste des figures

<p>Figure II.6 : La variation du rapport $R = \frac{\left(\frac{LY}{L\alpha}\right)_{\text{exp}}}{\left(\frac{LY}{L\alpha}\right)_W}$ en fonction du nombre atomique Z pour les éléments de la deuxième série $39 \leq Z \leq 47$</p>	40
<p>Figure II.7 : La variation du rapport $R = \frac{\left(\frac{LY}{L\alpha}\right)_{\text{exp}}}{\left(\frac{LY}{L\alpha}\right)_W}$ en fonction du nombre atomique Z pour les éléments de la troisième série $72 \leq Z \leq 79$</p>	40
<p>Figure II.8 : la variation des valeurs moyennes pondérées recommandées $\left(\frac{LY}{L\alpha}\right)_W$ pour les éléments de la troisième série $72 \leq Z \leq 79$</p>	41
<p>Figure II.9 : Les résultats semi-empiriques des rapports d'intensités $\left(\frac{LY}{L\alpha}\right)_{\text{s-emp}}$ pour la deuxième et la troisième ($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$), comparées aux valeurs empiriques (Meddah, 2021) et expérimentales (Shatendra et al., 1983, Al-Salah and Salah, 1999, Kaçal et al., 2011) d'autres auteurs en fonction du nombre atomique Z</p>	44

CHAPITRE I

Tableau I.1: Nombres quantiques de l'électron pour certaine couche4

Tableau I.2 : les raies de transitions et les notations spectroscopiques et l'intensité relative respectivement, pour certaines couches (Dupuis, 2012).7

Tableau. I.3 : Les masses des particules10

CHAPITRE II

Tableau II.1 : Présentation des catégories d'éléments de transition et leurs configurations électroniques.26

Tableau II.2 : les raies principales de la couche L.....27

Tableau II.3 : Base de données (Meddah, 2021) des rapports d'intensité $\frac{L\gamma}{L\alpha}$ expérimentaux ainsi que l'incertitude de mesure de chaque valeur $\Delta \frac{L\gamma}{L\alpha}$ pour les éléments atomiques du (2^{ème} et 3^{ème} série) $39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$ et leurs références, en plus présentait les valeurs moyennes pondérées $\overline{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_w}$, avec leurs incertitudes, ainsi que l'écart types Z_i et leurs moyenn Z30

Tableau II.4 : Présent l'approximation polynomiale de degré 2.....35

Tableau II.5 : Présent l'approximation polynomiale de degré 3.....36

Tableau II.6: les équations de rapport R et des valeurs moyennes des pondérées. Recommandés pour la deuxième série ($39 \leq Z \leq 47$) et leurs coefficients d'interpolations.38

Tableau II.7: les équations de rapport R et des valeurs moyennes des pondérées. Recommandés pour la troisième série ($72 \leq Z \leq 79$) et leurs coefficients d'interpolations.....38

Tableau II.8 : Les résultats semi -empiriques des rapportes d'intensités $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{s-emp}$ pour la deuxième et la troisième ($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$), comparées aux valeurs empiriques (Meddah, 2021) et expérimentales (Shatendra et al., 1983, Al-Salah and Salah, 1999, Kaçal et al., 2011) d'autres auteurs.....43

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I

Rappels théoriques sur les paramètres atomiques et la fluorescence X

I.1. Introduction.....	2
I.2. L'atome.....	2
I.3. Les Nombres quantiques.....	3
I.4. Les Transitions électroniques	5
I.4.1. Les Règles de sélections	5
I.4.2. Notation de SIEGBAHN et IUPAC.....	6
I.5. Les états de l'atome	7
I.5.1. Ionisations	8
I.5.2. L'excitation	8
I.5.3. Désexcitation	9
I.6. Les Rayonnements	9
I.6.1. Les type du rayonnement	9
I.6.1.1) Qualitativement.....	9
I.6.1.2) Leurs masse	10
I.6.1.3) Selon l'ionisation	11
I.7. Les interactions	12
I.7.1. les Interactions particule -matière	12
I.7.2. Les Interactions Rayonnement-matière.....	12
I.7.2.1. Effet photoélectrique	12
I.7.2.2. Effet Compton.....	13
I.7.2.3. Création de paire.....	14
I.7.2.4. La diffusion de Rayleigh Thomson	15
I.7.3. La Comparaison entre les trois effets.....	15
I.8. Loi de Moseley.....	16
I.9. L'atténuation et absorption de photon.....	16
I.9.1. Couche de demi-atténuation.....	17
I.10. Transition Radiative et non Radiative.....	17
I.10.2. Transition non radiative	17
I.10.2.1. Effet Auger	17
I.10.2.2. Coster-Kronig.....	18

I.10.1. Transition Radiative	18
I.11. Le rendement de fluorescence.....	18
I.11.1. Le rendement de fluorescence en présence, absence de transitions Coster-Kronig.....	19
I.12. Section efficace	20
I.12.1. Section efficace de production des rayons X pour la couche L.....	20
I.13. Rapport des intensités de l'émission des rayons X.....	21
I.12.1. Largeurs radiative et non-radiative	21
I.13.2. Calcul des rapports des intensités	22
Références Bibliographiques.....	23

CHAPITRE II

Calcul semi-empirique du rapport Des intensités d'émission de rayons X

$\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)$ Pour les éléments de transitions (2^{ème} et 3^{ème} série)
($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$)

II.1. Introduction	25
II.2. Les éléments de transition	25
II.2.1. Quelques propriétés générales des éléments de transitions	26
II. 2. 1. 1. Les propriétés chimiques.....	26
II. 2. 1. 2. Les propriétés physiques	27
II.2.2. Quelques applications des éléments de transitions.....	27
II.3. Les transitions radiatives $L\gamma$ et $L\alpha$	27
II.4. Base de données	29
Nous avons défini et étudions les valeurs expérimentales du rapport d'intensité des rayons X	
II.4. 1. La valeur moyenne pondérée	29
II.5. Les méthodes de calcul utilisé dans ce travail.....	34
II.5.1. La méthode des moindres carrés	34
II.5.2. Calcul semi empirique.....	37
II.6. Discussion et comparaison des résultats	41
Références Bibliographiques.....	45
Conclusion Générale.....	49

Introduction générale

La physique est une branche de la science fondamentale, composée d'un ensemble des concepts traduits par des relations et des équations. Qui étudie les phénomènes de cet univers et ces matériaux.

La relation entre la physique et la matière est basée sur l'interdépendance et la logique, à travers les domaines de la physique cette relation est clarifiée, Comme la physique des matériaux qui s'intéresse aux propriétés magnétiques, élastique, électronique De la matière. Et la physique atomique qui étudie et définit les composants de l'atome, leurs phénomènes et transitions, sous le contrôle des règles et paramètres tels que : les règles de sélections, le rapport d'intensité ...

La physique atomique occupe une place de choix dans les domaines de la recherche scientifique, industriel, médicale, l'innovation.

Dans ce travail, nous avons calculé l'un des paramètres atomiques, le rapport d'intensité de rayons X ($\frac{L\gamma}{L\alpha}$) pour les éléments de transition de deuxième et troisième série ($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$), grâce des relations analytiques simples. Ce mémoire est présenté de la manière suivante :

- Le premier chapitre : nous avons expliqué et présenté quelques paramètres atomiques de la matière et leurs méthodes théoriques pour le calcul, outre les interactions rayonnement-matière.
- Le deuxième chapitre : dans ce chapitre, on a calculé, déterminé les valeurs semi-empirique des rapports d'intensité de l'émission des rayons X ($\frac{L\gamma}{L\alpha}$) pour les couches L pour les éléments de deuxième série $_{39}\text{Y}$, $_{47}\text{Ag}$, et de troisième série $_{72}\text{Hf}$, $_{79}\text{Au}$. Grâce des fonctions analytiques simples, le calcul est basé sur les valeurs moyennes pondérées recommandées de données expérimentales. Puis nous avons comparé nos valeurs semi-empiriques avec d'autres résultats.

Enfin, on a achevé ce travail par conclusions générales qui ont résumé le but de ce mémoire.

Chapitre I : Rappels théoriques sur les
paramètres atomiques et
la fluorescence X

I.1. Introduction

La matière est d'un grand intérêt en tant que pilier de l'univers, dont où de nombreux changements et interactions se produisent à leur niveau, la physique venir à expliquer sa composante et leurs interactions, et développé leurs utilisations sous un domaine appelé physique atomique et rayonnement qui a été spécialisé dans l'étude des plus petits composants de la matière, dans ce chapitre, nous avons étudié un ensemble des paramètres atomiques et fluorescence X, qui contrôle et détermine la substance.

I.2. L'atome

Un peu d'histoire : L'atome a connu plusieurs modèles depuis l'Antiquité, les premiers à découvrir et mettre le mot " atome" sont les Grecs avant JC, en1803 Dalton est venu avec la théorie que la substance se composait de plusieurs atomes, puis Thomson déclaré que la structure des atomes est semblable à celle des "cupcakes", autrement dit, c'est une particule chargée positivement contant d'autres petits granule chargées négativement, après l'expérience de Rutherford en1911,il a conclu que les atomes contenaient un vide contrairement à ce qui avait été dit auparavant ,ils contenaient des noyaux se déplaçant autour d'électrons tels que le système solaire et les planètes, ensuite Bohr a développé la théorie de Rutherford, ajoutant que les électrons sont portés sur des orbites en tourne autour du noyau.

En 1962, Erwin Schrödinger a mis au point le modèle actuellement «le modèle quantique" qui affirme que l'atome est un noyau entouré d'un nuage électronique» (Meddouh, 2018).

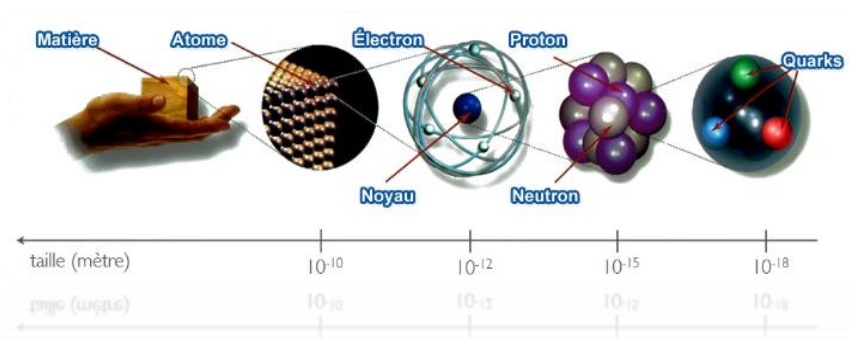


Figure I.1 : L'évolution de la matière (Meddouh, 2018).

- L'atome est la plus petite partie de la matière, et la plus importante étant la base de leur composition, elle se compose du noyau qui est le centre, et a des protons et des neutrons, et contient également des électrons sur des orbites qui s'appellent couche électronique (K, L, M, N...) L'atome est caractérisé par le symbole A_ZX qui représente :

X : C'est le nom de l'atome.

A : Le nombre massique. (Protons et neutrons).

Z : Le nombre atomique (électrons).

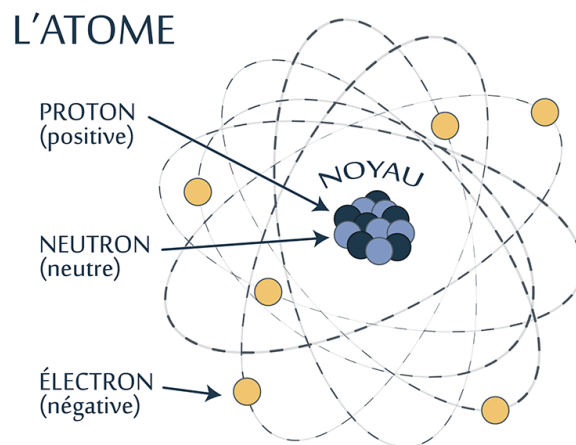


Figure I.2 : La structure de l'Atome.

I.3. Les Nombres quantiques

Les nombres quantiques sont parmi les paramètres atomiques qui déterminent et contrôlent le nombre des couches et sous-couches avec le nombre des électrons. Elles sont les suivantes :

n : Représente le nombre quantique principal, détermine le nombre des couches ($n > 0$).

l : Représente le nombre quantique secondaire, détermine le nombre des sous-couches

($0 \leq l \leq n - 1$), au maximum, $2(2l + 1)$ électrons.

Rappels théoriques sur les paramètres atomiques et la fluorescence X

m_l : Représente le nombre quantique magnétique, qui représenté le nombre du moment magnétique $m(-l \leq m_l \leq +l)$.

s : Représente le nombre quantique de spin, il a deux valeurs $s = -1/2, s = +1/2$.

j : Représente le nombre quantique interne, déterminer les valeurs qui sont confinés de $|l - s|$ à $|l + s|$ (Dechoucha, 2013).

- Ce tableau présente ces nombre quantique pour les couches K, L, M.

Tableau I.1: Nombres quantiques de l'électron pour certaine couche

Le nombre principal n	Les nombre Couche	Le nombre secondaire l	Le nombre Sous-couche	Configuration électronique	ml	Le nombre quantique interne J	Nombre des électrons $2n^2$
1	K	0	S	1s	0	1/2	2 électrons
2	L	0	L ₁	2s	0	1/2	8 électrons
		1	L ₂ L ₃	2p 2p	-1. 0. 1	1/2 3/2	
3	M	0	M ₁	3S	0	1/2	18 électrons
		1	M ₂ M ₃	3p 3p	-1. 0. 1	1/2 3/2	
		2	M ₄ M ₅	3d 3d	-2.-1. 0. 1. 2	3/2 5/2	
4	N	0	N ₁	4s	0	1/2	32 électrons
		1	N ₂ N ₃	4p 4p	-1. 0. 1	1/2 3/2	
		2	N ₄ N ₅	4d 4d	-2.-1. 0. 1. 2	3/2 5/2	
		3	N ₆ N ₇	4f 4f	-3. -2. 0. 1. 2	5/2 7/2	

I.4. Les Transitions électroniques

La transition des électrons se produit quand il y a une différence d'énergie, à cause d'un effet externe (énergie extérieure), l'électron déplacé de l'orbite X à l'orbite Y avec la sortie d'un rayonnement électromagnétique de l'énergie suivante :

$$h\nu = E_Y - E_X = |E_Y| - |E_X| \quad (\text{I.1})$$

h : constante de Planck (6.626×10^{-34}).

v : La fréquence.

L'électron laisse un vide " lacune" puis un autre électron de niveau d'énergie élevé vient combler ce vide. (Boufas, 2004).

I.4.1. Les Règles de sélections

Les électrons ne sont pas transmis par hasard donc les transitions sont contrôlées par des règles, appelées " règles de sélection" qui permettent le processus de transition, en dessous :

$$\Delta n \geq 1 \quad (\text{I.2})$$

$$\Delta l = \pm 1 \quad (\text{I.3})$$

$$\Delta j = \pm 1 \text{ ou } 0 \quad (\text{I.4})$$

l : Le nombre quantique du moment angulaire orbitale $0 < l < n-1$

j : Le nombre quantique du moment total de l'électron ($J = l \pm 1/2$).

Si ces règles ne s'appliquent pas, il n'y a pas de transition. (Zidi, 2021)

La figure I.3 ci-dessous montre certaines transitions permises pour les couches (K.L. M.N)

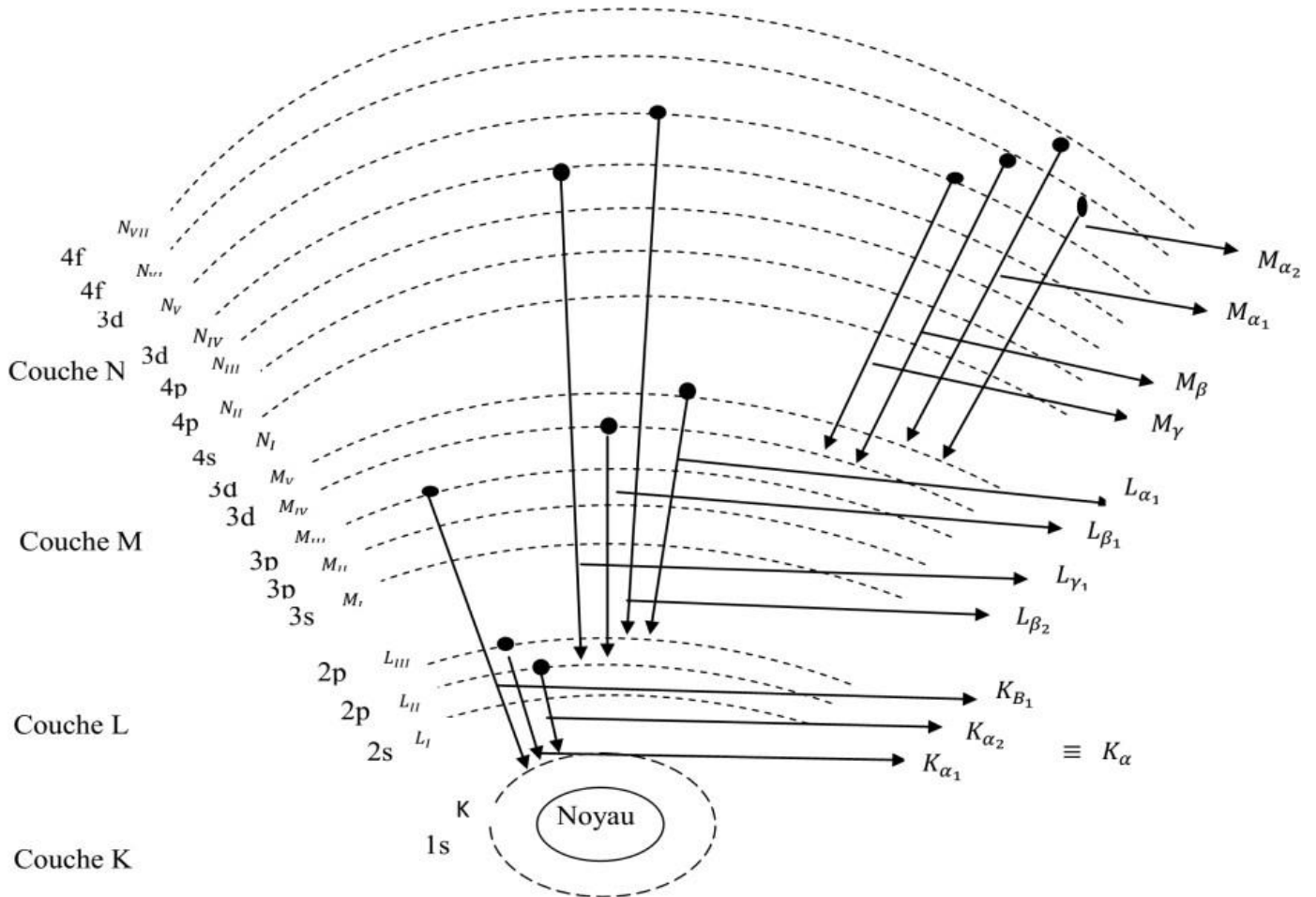


Figure I.3 : Certaines transitions autorisées dans les couches (K, L, M, N) (Bendjedj, 2018).

I.4.2. Notation de SIEGBAHN et IUPAC

La notation de SIEGBAHN, est un codage spectroscopique utiliser pour définir le type de raie de transition, symbolise la couche dans laquelle la transition a eu lieu, par exemple quand il y a un vide dans la couche K et que l'électron vient de la couche L pour remplir le vide, appelé la raie $K\alpha_1$, la notation de l'IUPAC c'est un codage est défini comme l'identification de la raie transition entre deux couches, où la raie $K\alpha_1$, est écrite $K \rightarrow L_3$.(Rebouli, 2022).

Tableau I.2 : les raies de transitions et les notations spectroscopiques et l'intensité relative respectivement, pour certaines couches (Dupuis, 2012).

Séries	IUPAC	Siegbahn	Intensité relative
Raies K	K-L ₃	$K_{\alpha 1}$	100
	K-L ₂	$K_{\alpha 2}$	~50
	K-M ₃	$K_{\beta 1}$	~17
	K-M ₂	$K_{\beta 2}$	~8
Raies L3	L ₃ -M ₅	$L_{\alpha 1}$	~100
	L ₃ -M ₄	$L_{\alpha 2}$	~10
	L ₃ -N _{5,4}	$L_{\beta 2.15}$	~25
	L ₃ -M ₁		~5
	M ₃ -N	$L_{\beta 6}$	~1
Raies L2	L ₂ -M ₄	$L_{\beta 1}$	100
	L ₂ -N ₄	$L_{\gamma 1}$	~20
	L ₂ -M ₁	L_{η}	~3
	L ₂ -O ₁	$L_{\gamma 6}$	~3
Raies L1	L ₁ -M ₃	$L_{\beta 3}$	100
	L ₁ -M ₂	$L_{\beta 4}$	~70
	L ₁ -N ₃	$L_{\gamma 3}$	~30
	L ₁ -N ₂	$L_{\gamma 2}$	~30
Raies M	M ₅ -N ₇	$M_{\alpha 1}$	
	M ₅ -N ₆	$M_{\alpha 2}$	
	M ₅ -N ₅	M_{β}	

I.5. Les états de l'atome

Les atomes sont connus pour être stables la plupart du temps, mais ils sont caractérisés par d'autres situations.

I.5.1. Ionisations

L'ionisation signifie que les atomes deviennent des ions lorsqu'ils acquièrent ou perdent un électron ou plus. Pour devenir un ion positif quand il perde des électrons à un milieu externe tel qu'un atome adjacent, ou un ion négatif lorsqu'il gagne d'un milieu externe ou d'un atome adjacent La figure I.4 est présente plus.

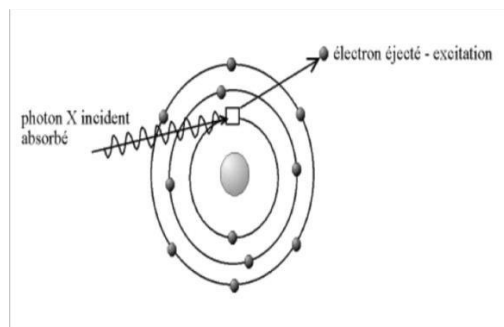


Figure I.4 : Schéma d'ionisation (photo-électrique).

I.5.2. L'excitation

L'excitation C'est le phénomène de la transmission des électrons d'une orbite proche du noyau (fortement lié) à une orbite plus élevée (moins associée). Autrement dit, l'atome en état excité n'est pas ionisé. La figure I.5 présente ce phénomène (Merabtine, 2020).

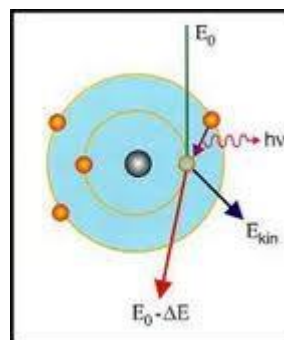


Figure I.5 : Schéma d'excitation (Aloine selmi, 2011).

I.5.3. Désexcitation

La désexcitation est un phénomène de retour des atomes (particules(e)) à leurs état fondamentaux, Les collisions et les chocs avec les particules peuvent produire La désexcitation, pour perdre son énergie interne excédentaire sous forme d'énergie cinétique "collision super-élastique"(Hadjadj et Smaili, 2008).

I.6. Les Rayonnements

Lorsque Wilhelm Röntgen étudiait les rayons cathodiques dans le tube de décharge de gaz en 1895, il a accidentellement remarqué une lumière radioactive pénétrée plus que les rayons UV, après Bragg venir en 1913, afin d'expliquer et démontrer son effet dans la cristallographie, les Rayons X sont défini comme énergie radiation, de nature électromagnétiques, en termes corpusculaires les rayons X a une fréquence 1000fois plus puissante que les rayons lumineux de sorte que chaque photon besoin une énergie de $E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$, Du côté ondulatoire les rayons X connus grâce à leurs longueur d'onde , $\lambda = 10^{-10} m$, Nous pouvons obtenir les rayons X à partir du tube X ou synchrotron (Merzoug, 2011).

I.6.1. Les type du rayonnement

Il y a plusieurs classifications pour les rayonnements, classés par leurs : aspect qualitative, masse, ionisation.....

I.6.1.1) Qualitativement

Où nous distinguons deux types de rayonnements particuliers (e, proton...) et ondulatoires caractérisé par une longueur d'onde comme :

- Ondes électromagnétique par exemple rayons X, lumière visible,... (La figure. I.6 définies des longueurs d'ondes du rayonnement électromagnétiques) (Tehami, 2018).

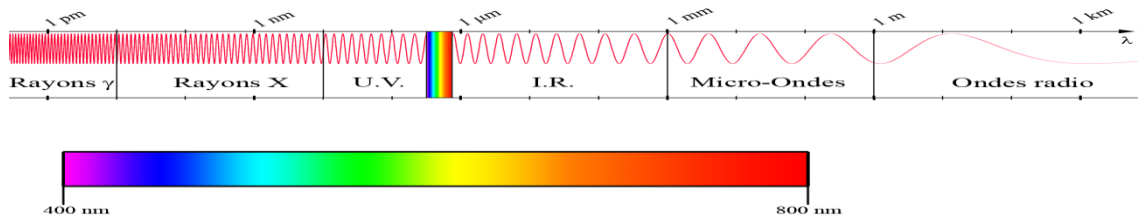


Figure I.6 : Longueurs d'ondes des rayonnements électromagnétiques.

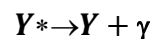
I.6.1.2) Leurs masse

- ❖ Rayonnements particuliers grâce aux particules ayant une masse comme électrons protons neutrons.

Tableau. I.3 : Les masses des particules

Particules	Électron	Neutrons	Protons
Masses	$m_e = 9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

- ❖ Rayonnements masse nulle ($m=0$), sont des radiations électromagnétiques, ils sont divisés en 4 types :
 - **Rayon X** : Rayonnement électromagnétique résultant de la désexcitation, caractérisé par un, est une dualité onde-particule.
 - **Photon d'annihilation** : Rayonnement émis après le processus de l'annihilation.
 - **Photon de freinage** : Rayonnement émis après le processus de freinage.
 - **Rayonnement γ** : C'est le rayonnement résultant de la formation du noyau fille en état excité où le noyau émet d'énergie sous forme rayonnement gamma qui est une haute énergie (Tehami, 2018).



I.6.1.3) Selon l'ionisation

Les rayonnements ionisés sont classés selon la méthode d'ionisation et peut-être direct (interagir directement avec la cible est des particules chargées lourdes (proton, deuton, alpha, ions lourds) des électrons) ou indirecte (cette méthode est base sur des particules chargées secondaires), Les rayonnements électromagnétiques (X, γ) et les neutrons sont considérés comme des rayonnements ionisés indirects. (Bouhila, 2018).

- ❖ Rayonnement non Ionisant : Nous parlons d'irradiation non ionisée lorsque son énergie est inférieure à celle de l'énergie de liaison d'électron qui n'est pas capable de retire électron de sa couche, comme des ondes radio, Micro-onde, lumière visiblesetc.
- ❖ Rayonnement Ionisant : Les particules alpha beta...sont des rayonnements ionisants dont l'énergie est capable d'ioniser l'atome, c'est à dire de retire l'électron de son orbite à cause de l'énergie de liaison est inférieur à l'énergie rayonnement. (Saadi et khadir, 2015).

Ceci est illustré par la figure I.7.

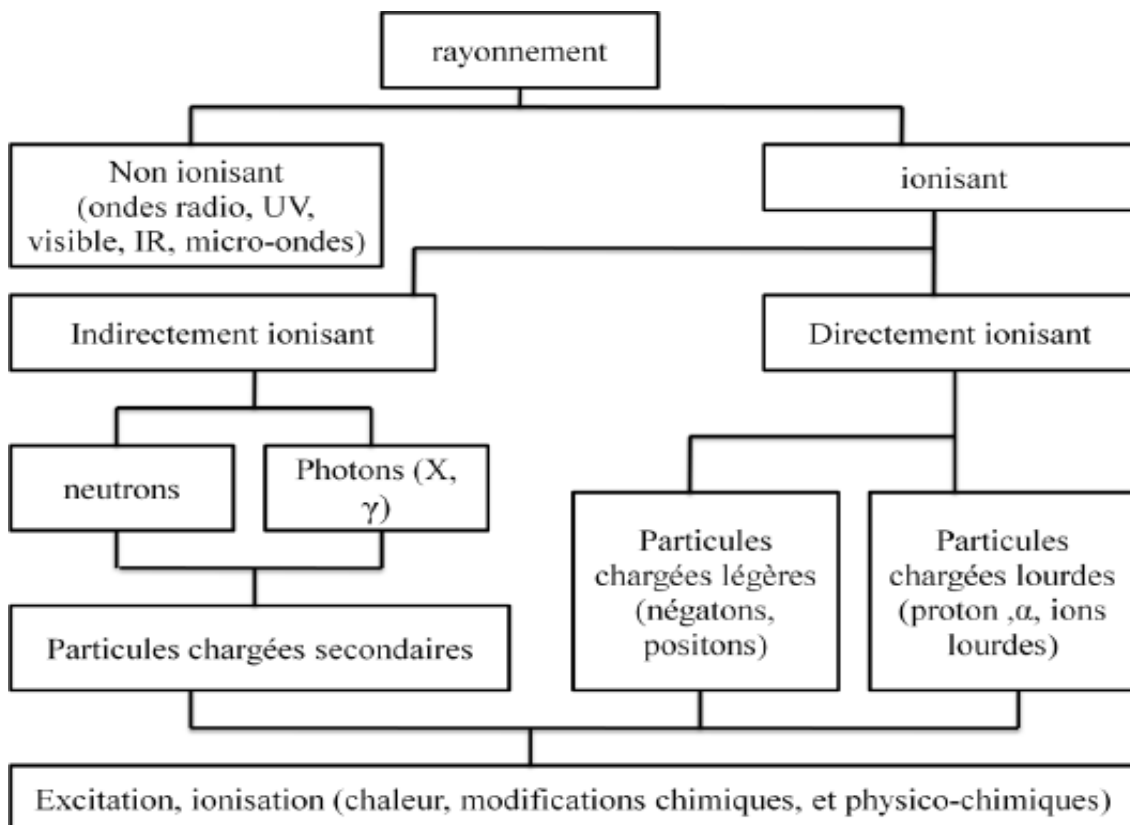


Figure I.7 : Schéma de rayonnement ionisée et non ionisée (Djeddaoui, 2021).

I.7. Les Interactions

I.7.1. Les Interactions particule -matière

Interaction de particules chargées (e^- , e^+ ...). Ou non chargées (1_1p , 1_0n ...) avec l'atome, provoquant l'ionisation ou la désintégration des atomes.

Pour le premier phénomène, il perd son énergie sous forme des photons pour revenir à son état stable. Pour la deuxième interaction avec le noyau par des forces coulombiennes, il perd très peu d'énergie (Merabtine, 2020).

I.7.2. Les Interactions Rayonnement-matière

Le principe de l'interaction rayonnement-matière est le passage d'un faisceau de rayonnement par le milieu d'une matière comme les atomes. Là où de nombreux phénomènes tels que la propagation donne Compton, la diffusion de Riley..., nous distinguons deux cas du sort des radiations émises où le chemin peut changer, mais une interaction peut se produire sans perte d'énergie ou avec seulement une petite partie. Le deuxième cas absorbe les atomes de rayonnement pour réémettre deux types de rayonnement secondaire (électrons), rayons X de fluorescence (Bourenmane, 2022).

I.7.2.1. Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique est un processus non radiatif qui se produit lorsqu'un photon incidente interagit avec un électron bien lié. Afin de l'éjecter, cet électron avec une énergie cinétique W_C , à condition que l'énergie de liaison de l'électron W_L doit être inférieure à l'énergie de photon incidente E . (Mejri, 2007).

C'est ce que la figure I.8 explique.

Ce phénomène se traduit par la formule suivante :

$$W_C = E - W_L \quad (I.5)$$

W_C : C'est l'énergie cinétique de l'électron.

E : L'énergie du photon incident.

W_L : C'est l'énergie de liaison de l'électron (Mejri, 2007).

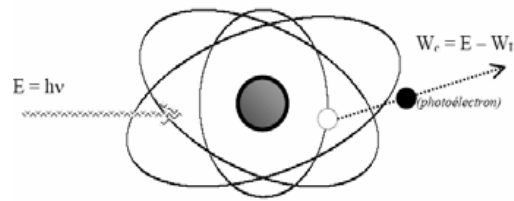


Figure I.8 : Schéma de l'effet photo-électrique (Mejri, 2007).

I.7.2.2. Effet Compton

Ce processus se produit à la suite d'une réaction d'un photon incident de haute énergie $h\nu_0$ avec un électron qui peut être considéré comme libre et qui entraîne une émission d'électron et un photon diffusé. Il peut être répété plusieurs fois avec une perte d'énergie progressive. Ce processus appelé diffusion incohérente. Dans ce phénomène de propagation, nous distinguons deux situations de transmissions, le choc dit "tangential" quand l'angle $\theta = 0^\circ$ et l'énergie de diffusion E_d égale l'énergie cinétique $W_e = 0$ et le choc "frontal" quand l'angle $\theta = 180^\circ$ ce qui la figure I.9 résume. (Mejri, 2007).

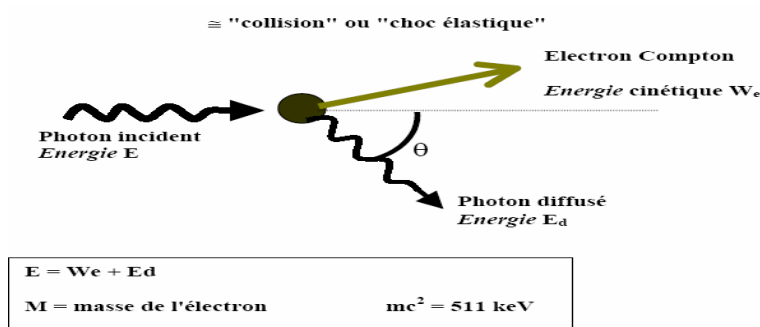


Figure I.9 : Schéma de l'effet Compton (Mejri, 2007).

- Ce phénomène se traduit par la formule suivante :

$$E = W_e + E_d \tag{I.6}$$

E : Énergie incident.

W_e : Énergie de Compton.

E_d : Énergie de photon diffusé.

$$W_e = E \left(1 - \left(1 + \frac{E}{mc^2} (1 - \cos \theta) \right)^{-1} \right) \quad (I.7)$$

$$E_d = E - W_e = E \left(1 + \frac{E}{mc^2} (1 - \cos \theta) \right)^{-1} \quad (I.8)$$

(Mejri, 2007).

I.7.2.3. Création de paire

L'effet de la création de paire ou matérialisation est un processus qui se produit lorsqu'un photon incident interagit avec le champ du noyau, à condition de l'énergie de photon incident doit être supérieur deux fois à la masse de l'électron pour produire un couple électron e^- et positron e^+ , c'est ce que la figure I.10 explique. L'expression de l'énergie excédent transporte l'électron et positron sous forme d'énergie cinétique écrit comme suit : (Bouakleche, 2017).

$$E_c = 2m_e c^2 + E_{e^-} + E_{e^+} \quad (I.9)$$

Avec $m_e c^2$: Énergie– masse de l'électron et positron qui égale 511MeV.

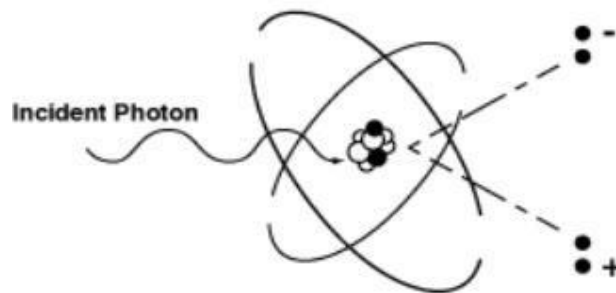


Figure I.10 : Schéma de phénomène de matérialisation (Bouakleche, 2017).

I.7.2.4. La diffusion de Rayleigh Thomson

C'est le phénomène moins susceptible de se produire que les interactions précédentes, ou appelée la diffusion simple, parce que l'énergie de photon incident est inférieure à 45 Kev. Le principe de ce phénomène est de changer la direction de propagation de l'onde électromagnétique du photon sans variations d'énergie.

Diffusion Thomson-Rayleigh { Diffusion Thomson interaction avec les électrons libre.
Diffusion Rayleigh: interaction avec des électrons lié.

(Zidi, 2021).

I.7.3. La Comparaison entre les trois effets

L'énergie photonique et le milieu d'interaction contrôlent la probabilité et la production de l'effet photoélectrique, effet Compton ou effet matérialisation

Le phénomène photoélectrique a besoin d'une petite énergie de kilo électronvolt, même si le nombre atomique est élevé, c'est donc l'un des phénomènes les plus fréquents, alors que la matérialisation nécessite plus d'énergie qui a été supérieure de 1022 Kev, tandis que l'effet Compton leur probabilité de production est moyenne. Son énergie est estimée dans les limites de Mev. C'est ce que montre la figure I.11. (Diana El Hajjar, 2014).

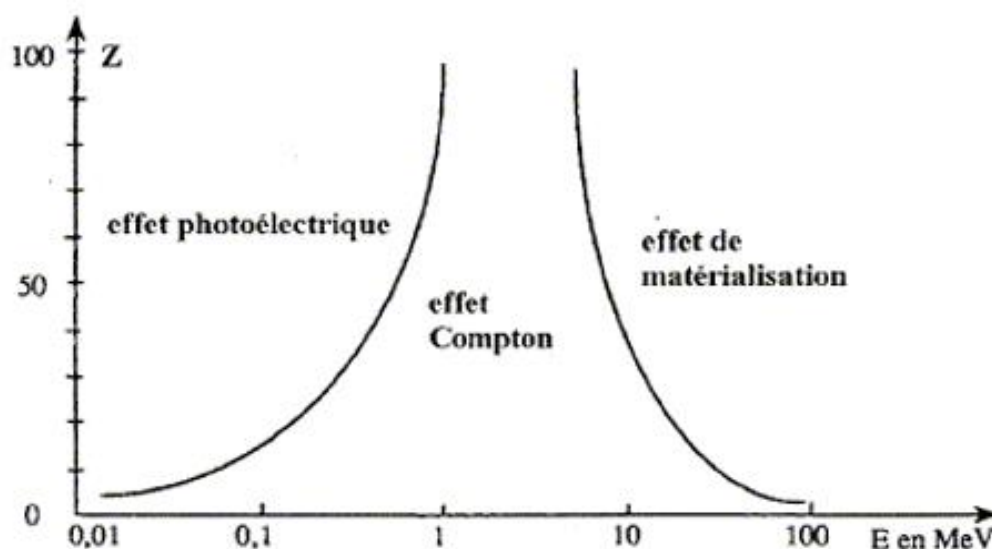


Figure I.11 : Comparaison et étude des 3 effets par modification du nombre atomique Z en fonction de l'énergie (Diana El Hajjar, 2014).

I.8. Loi de Moseley

L'excitation se produit à des niveaux profonds, produisant des émissions de rayons X qui sont indépendantes des liaisons chimiques entre les atomes, qui a été montrée par Moseley, pour la raie $K_{\alpha 1}$ correspondant au nombre atomique à travers la relation suivante :

$$\nu = K_1 (Z - K_2)^2 \quad (I.10)$$

K_1 et K_2 : Des constantes ayant des valeurs définies pour chaque raie (Bendjedi, 2018).

I.9. L'atténuation et absorption de photon

L'interaction d'un photon incident avec un obstacle de X épaisseur. Il entraîne à l'absorption d'une partie de celui-ci, changement de direction ou une transmission. Dans lequel I_0 est l'intensité de photon incident, $I(x)$ est l'intensité après l'interaction.

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (I.11)$$

x : L'épaisseur de l'obstacle.

μ : Coefficient appelé coefficient d'atténuation linéique total en cm^{-1} .

Avec μ est la somme des coefficients d'atténuation de les trois effets (l'effet Photoélectrique, l'effet Compton, la production de paires).

$$\mu = \tau + \sigma + \pi \quad (I.12)$$

Le coefficient massique d'atténuation μ_m est connu comme la relation suivant :

$$\frac{\mu}{\rho} = \mu_m \quad (I.13)$$

μ_m : Le coefficient massique d'atténuation

μ : Coefficient appelé coefficient d'atténuation linéique en cm^{-1} .

ρ : La masse volumique du matériau. (Aissous et Rezzai, 2021).

I.9.1. Couche de demi-atténuation

La couche de demi-atténuation (*CDA*) est une grandeur physique, utilisée pour atténuer la moitié des photons incidents $\frac{N_0}{2}$, qui est inversement proportionnelle au coefficient linéique d'atténuation donnée par la relation suivante : (Dahi et Meherchi, 2011).

$$CDA = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (I.14)$$

I.10. Transition Radiative et non Radiative

I.10.2. Transition non radiative

La transition non radiative est un processus de transmission d'électrons sans émission de rayonnement, malgré son interaction avec des photons incidents tels que l'effet Auger et Coster Kronig.

I.10.2.1. Effet Auger

Effet Auger ou comme autrement appelé électron Auger ou l'interaction électron-électron, qui se produit après une ionisation, une ionisation en couche interne, une capture de deux électrons sur un état doublement excité, ou d'une double excitation. De cette manière suivante, quand un trou créé dans une couche électronique, un électron de couche supérieure va combler cette lacune, avec une émission de fluorescence X qui absorbé par un autre électron qui sort sous forme électron Auger, qui représente par la figure I.12. (Kahoul, 2015).

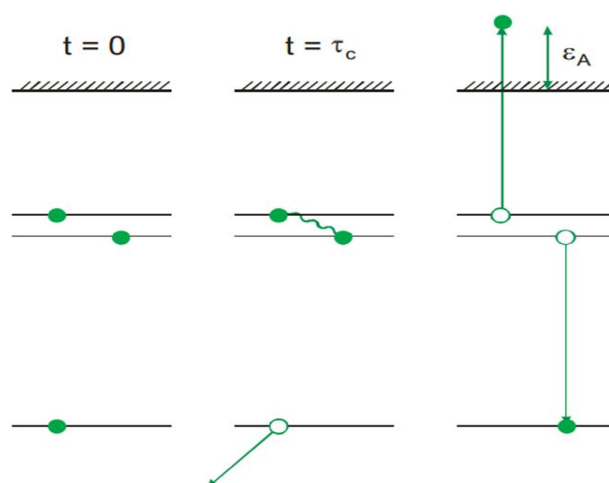


Figure I.12: schéma de l'effet Auger. (Kahoul, 2015).

I.10.2.2. Coster-Kronig

C'est un processus plus rapide que l'effet Auger et les transitions radiatives car il se produit entre deux niveaux L, M, N..., où les électrons se déplacent pour remplir la lacune existant dans le niveau le plus interne d'une couche, donc on peut retrouver les lacunes dans le niveau le plus externe d'une couche, (Derradj, 2019).

I.10.1. Transition Radiative

C'est un phénomène de transmission des électrons entre les couches (deux couches) de l'atome avec une émission de fluorescence qui définit comme l'émission de la radiation, afin que l'atome revienne à son état stable. Cette émission électromagnétique est appelée rayonnement X, leur énergie est définie par la relation suivante :

$$E_x = E_i - E_f \begin{cases} E_x: \text{l'énergie de rayon X} \\ E_i: \text{l'énergie initiale} \\ E_f: \text{l'énergie finale} \end{cases} \quad (\text{I.15})$$

Où nous distinguons de nombreuses transitions (Bendjedi, 2018).

I.11. Le rendement de fluorescence

Le rendement de fluorescence défini comme la probabilité d'occuper le vide dans une couche X (K, L, M.....) par un électron qui entraînant une transition radiative. Qui est égal à un nombre initial de lacunes électroniques dévide sûr le nombre de transition inter-couche (effet Auger, transition radiative) (Tehami, 2018).

$$\omega_{KW} = \frac{N_X}{N} = \frac{N_X}{N_X + N_A} \quad (\text{I.16})$$

L'expression de rendement de fluorescence de l'effet Auger, est écrite en autre terme C'est le rapport entre la section efficace de produit des rayons X et section efficace d'ionisation là par exemple pour la couche K écrit comme suit :(Diana El Hajjar, 2014).

$$\omega_K = \frac{\sigma_K^X}{\sigma_K^I} \quad (\text{I.17})$$

I.11.1. Le rendement de fluorescence en présence, absence de transitions Coster-Kronig

En raison de la présence possible de phénomène de Coster- Kronig dans les couches supérieures (L, M, N.....). Entre les niveaux de la même couche ($L_1, L_2, L_3, M_1, M_2 \dots$) Le rendement fluorescent devient compliqué pour ces couches. La transition de Coster–kronig transféré l’ionisation d’un sous–couche vers une autre couche moins énergétique. Avec la modification de la distribution des électrons dans ces sous-couches (Meddah, 2021).

- Pour la couche L

→ Le rendement fluorescent Pour la couche L En présence de transitions de Coster-Kronig :

En présence de transitions de Coster-Kronig, les lacunes transfert vers des niveaux moins énergétiques, où Les sections efficaces d’ionisation relative sont définies par les relations suivantes :(Soukhal, 2013).

$$\begin{aligned} V_{L1} &= N_{L1} \\ V_{L2} &= N_{L2} + f_{12}^L N_{L1} \end{aligned} \tag{I.18}$$

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

V_{L_i} : La section efficace d’ionisation relative de la sous-couche L_i en présence les transitions de Coster-Kronig.

f_{ij} : Les probabilités de transition de Coster-Kronig pour Transférer l’ionisation entre les sous-couches i et j

$$\omega_L = V_{L1} \omega_{L1} + V_{L2} \omega_{L2} + V_{L3} \omega_{L3} \tag{I.19}$$

Le rendement fluorescent Pour la couche L en absence de Coster-Kronig :(Soukhal ,2013).

$$\rightarrow \omega_L = N_{L1} \omega_{L1} + N_{L2} \omega_{L2} + N_{L3} \omega_{L3} \tag{I.20}$$

ω_{L_i} = le rendement de fluorescence de la sous-couche L_i

N_{L_i} = la section efficace d’ionisation.

$$N_{L_i} = \frac{\sigma_{L_i}^I}{\sigma_L^I} \quad \text{avec } i = 1,2,3 \tag{I.21}$$

Quand l'atome dans un état excité, la largeur totale d'un niveau d'énergie est définie par la somme des largeurs radiative, non-radiatives, Coster-Kronig : (Rebouli, 2022).

$$\Gamma_{Ti} = \Gamma_{Xi} + \Gamma_{ai} + \Gamma_{ki} \quad (I.22)$$

$$\text{Avec } \begin{cases} \Gamma_{Ti}: \text{La largeur totale} \\ \Gamma_{Xi}: \text{La largeur radiatifs} \\ \Gamma_{ai}: \text{La largeur non-radiatifs} \\ \Gamma_{ki}: \text{La largeur coster-kronig} \end{cases}$$

- Donc le rendement de fluorescence est donnée par :

$$\omega_i = \frac{\Gamma_{Xi}}{\Gamma_{Ti}} \quad (I.23)$$

- Le rendement d'Auger a_i :

$$a_i = \frac{\Gamma_{ai}}{\Gamma_{Ti}} \quad (I.24)$$

- La probabilité de transition Coster-Kronig est donnée par:

$$f_{ik} = \frac{\Gamma_{ki}}{\Gamma_{Ti}} \quad (I.25)$$

I.12. Section efficace

La section efficace est un paramètre atomique, liés à la probabilité d'interaction d'une particule, son unité est le barn $1b=10^{-24} \text{ cm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$. La nature exacte de la collision ou l'interaction, par exemple en terme de la taille réelle de la particule..., sont Contrôlé la section efficace. Cette grandeur physique est utilisée en physique des particules, nucléaire (Dechoucha, 2013).

I.12.1. Section efficace de production des rayons X pour la couche L

Pour la couche L les sections efficaces de production des raies L, et les sections efficaces d'ionisation sont liées aux rendements de fluorescences des sous-couches (L_1, L_2, L_3), probabilités de transition de Coster-Kronig, taux d'émission de rayons X, donc Les sections efficaces de production pour les raies L, données en relations ci-dessous : (Hamouda, 2015).

$$\sigma_{L\alpha} = [(f_{12} + f_{12} f_{23}) \sigma_{L_1} + f_{23} \sigma_{L_2} + \sigma_{L_3}] \omega_3 F_{3\alpha} \quad (I.27)$$

$$\sigma_{L\beta} = [\omega_1 F_{1\beta} + f_{12} \omega_2 F_{2\beta} (f_{13} + f_{12} f_{23}) \omega_3 F_{3\alpha}] \sigma_{L_1} + (\omega_2 F_{2\beta} + f_{23} \omega_3 F_{3\beta}) \sigma_{L_2} + \omega_3 F_{3\alpha} \sigma_{L_3} \quad (I.28)$$

$$\sigma_{L\gamma} = (\omega_1 F_{1\gamma} + f_{12} \omega_2 F_{2\gamma}) \sigma_{L_1} + \omega_2 F_{2\gamma} \sigma_{L_2} \quad (I.29)$$

$\sigma_{1,2,3}$: La section efficace d'ionisation.

ω_i : Les rendements de fluorescences des sous-couche L_i .

$f(i=1,2;j=2,3)$: sont les probabilités de transitions de Coster-Kronig.

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

Dont où :

$$F_{iy} = \frac{\Gamma_{iy}}{\Gamma_i} \quad (I.30)$$

Γ_i : Est la probabilité d'une transition électronique vers le niveau L_i .

Γ_{iy} : Est la probabilité de l'émission de raies principales $L_y (L_\alpha, L_\beta, L_\gamma)$.

- Comme exemple: $F_{3\alpha} = \frac{\Gamma_{3\alpha}}{\Gamma_3}$

Dont où $\left\{ \begin{array}{l} \Gamma_3 : \text{la probabilité des transition électroniques vers le niveau } L_3 \\ \Gamma_{3\alpha} : \text{la probabilité de l'émission d'un rayon } X_{L_\alpha} (L_{\alpha 1} \text{ et } L_{\alpha 2}) \end{array} \right.$

$L_3 \rightarrow M_5$: La raie $L_{\alpha 1}$

$L_3 \rightarrow M_4$: La raie $L_{\alpha 2}$

(Hamouda, 2015).

I.13. Rapport des intensités de l'émission des rayons X

I.12.1. Largeurs radiative et non-radiative

L'interaction entre l'atome et les rayonnements électromagnétiques, ou particules, conduit à l'ionisation, c.-à-d. la création de lacune dans la couche, qui a été rempli par des couches externes dans un temps très court (10^{-15} à 10^{-17} s), pour que l'atome devienne stable, Cela accompagne l'émission de l'énergie, sous forme radiative (l'émission caractéristique des rayons X) et non radiative (l'effet Auger, les transitions de Coster-Kronig). L'incertitude totale sur l'énergie (la largeur) dans un état excité et dépend à sa durée de vie moyen τ (Meddah, 2021).

$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma_{X_i} = \hbar/\tau \text{ (la largeur radiative).} \\ \Gamma_{a_i} = \hbar/\tau \text{ (la largeur non - radiative).} \end{array} \right. \quad (I.31)$$

Où La largeur radiative d'un niveau atomique i est donnée par :

$$\Gamma_i^R = \hbar \sum_j W_{ij} \quad (\text{I.32})$$

W_{ij} : La probabilité de transition d'un niveau i vers tous les niveaux finals possibles j .

Γ_{ij}^R : La largeur partielles d'un trou de cette sous-couche ionisée vers des sous-couches supérieures $j > n$ donnée par la relation suivant : (Meddah, 2021).

$$\Gamma_{ij}^R = \hbar W_{ij}^R \quad (\text{I.33})$$

I.13.2. Calcul des rapports des intensités

Le rapport d'intensité : C'est un paramètre atomique, qui est le rapport entre deux raies de transition. Qui caractérisé la couche L. ce paramètre spectroscopique est utilisé dans plusieurs domaines tels que la médecine, Caractérisation de l'énergie des rayons X, l'analyse des tissus biologiques. Les industries nucléaires, biologique et cristallographie. (Doğan et al ,2015).

$$\left(\frac{L_\gamma}{L_\alpha}\right) = \left(\frac{L_{\gamma 1} + L_{\gamma 2} + L_{\gamma 3} + \dots}{L_{\alpha 1} + L_{\alpha 2}}\right) \quad (\text{I.34})$$

$$= \frac{\sum_{ij}(2J_i+1)(W_{ij}^R((L_2-N_4)+(L_1-N_2)+(L_1-N_3)+\dots))}{\sum_{ij}(2J_i+1)(W_{ij}^R((L_3-M_5)+(L_3+M_4)))} \quad (\text{I.35})$$

I.14. Références Bibliographiques

Aissous W et Rezzai D., Etude par simulation Monte-Carlo des neutrons de contamination produits par un accélérateur médicale. Mémoire de master, université Mohamed seddik ben yahia–jijel15/10/2021.

Bendjedi A., Etude des paramètres d'interaction des rayonnements ionisants avec la matière en vue des applications analytiques. Thèse de Doctorat de l'université Mohamed Boudiaf M'sila, 29/09/ 2018.

Bouakleche A., L'étude de l'effet compton dans le cadre de l'électrodynamique quantique. Mémoire de master, université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 25/05/2017.

Boufas S., Synthés et étude structurale décomposé à base d'étain II et d'étainIV. Thèse de magister de l'université de Mentouri de Constantine, 09/11/2004.

Bouhila G., Etude de la répartition de radionucléides présent dans les lacs de barrages artificiels. Applications : 'barrage de Beni Haroun', thèse de Doctorat de l'université freres mantouri constantine 1, 22 / 04 / 2018.

Bourennane M., Les techniques de la DRX utilisées dans la caractérisation des structures cristallines. Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, 27 / 06 / 2022.

Dahi Elet Meherchi L., Système de double calcul dosimétrique. Mémoire de master, université Abou BekrBelkaid Tlemcen, (2010–2011).

Dechoucha S., Sections efficaces semi-empiriques de production des couches M éléments de numéros atomique $60 \leq Z \leq 90$ par des protons en vue des applications analytiques, Mémoire de master université de M'sila ,25/06/2013.

Derradj I., Calcul des paramètres de la fluorescence X des couches atomiques internes pour des éléments de numéros atomiques $6 \leq Z \leq 99$. Thèse de Doctorat de l'université Mohamed Boudiaf M'sila, 16 /01/2019.

Diana El Hajjar R., Développement de la méthode PIXE à haute énergie auprès du cyclotron ARRONAX, Thèse de doctorat l'université Nantes Angers Le Mans, France 24/6/2014.

Djeddaoui H., Modélisation et simulation de l'interaction d'un faisceaux d'électrons avec les bases d'ADN. Mémoire de master, Universite mouhamed boudiaf de m'sila (2020–2021).

Dupuis T., Développement d'un dispositif d'analyses par faisceaux d'ions de haute énergie et application en archéométrie, Thèse de doctorat université de liege, Belgique,(2012).

Hadjadj L et Smaili S., Effet d'une couche isolante sur la decharge couronne en alternatif et en. Mémoire Ingénieur d'eta, université Mouloud Mammeri de Tiziouzou (2007–2008).

Hamouda L., Nouvelle base de données des rendements des fluorescences de la sous-couche L_3 . Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir Elibrahim–Bordj Bou Arreridj, 14/06/2015.

Kahoul R., Construction d'une nouvelle base de données des rendements de fluorescence de la sous-couche L₁. Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir El ibrahimi –Bordj Bou Arreridj, 14/06/2015.

M. Doğan, E. Cengiz, E. Tıraşoğlu, H. Kantekin, V. Aylıkçı, L shell X-ray fluorescence parameters of Pb in phthalocyanine complexes. Applied Radiation and Isotopes. 104 (2015) 43– 48.

Meddah S., Etude des paramètres atomiques intrinsèques pour l'émission des rayons X : Rapport de l'intensité de la raie L. Mémoire de master, université Mohamed El Bachir El ibrahimi –Bordj Bou-Arréridj, (2021).

Meddouch k., Mémoire de master, université Mohamed El Bachir El ibrahimi –de Bordj Bou-Arreridj (2018).

Mejri A., Caractérisation D'un nouveau capteur de rayonnement gamma a base de verre, Mémoire de master, Université du 7 novembre à Carthage, Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, Tunisie, 01/25/2007.

Merabtine W., Calcul semi-empirique du Rapport d'intensité d'émission de rayons X ($k\beta/k\alpha$) par des photons. Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir El ibrahimi –Bordj Bou Arreridj, 24/09/2020.

Merzoug M., Synthèse et caractérisation par diffraction des rayons d'un nouveau composé hybride a base de l'anion sulfate et d'un dérivé pyrazinique. Mémoire de master, Université larbi benm'hidioum el bouaghi, 23/6/2011.

Reboul H., Les probabilités de transfert lacunaire de la couche K (Γ_{KL}) : Base de données. Mémoire de master, université Mohamed El Bachir El ibrahimi –de Bordj Bou-Arréridj, 28/06/2022.

Saddi D et Khadir F., Etude D'un Appareil Radiographique Fixe Os-Poumons APELEM. Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi ousou, 20/ 9/2015.

Selmi A., L'influence des impuretés sur les coefficients des Transportes. Mémoire de master, université Tunis –El Manar, Tunisie, .../6/2011, Tunisie.

Soukhal A., Etude des interférences spectrales entre la raie K α et la raie K β des composés Mn-Fe, Fe-Co, Co-Ni, Ni-Cu et Cu-Zn. Mémoire de Magister, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 29/10/2013.

Tehami I., Base de donnée des rapports d'intensité $\frac{k\beta}{k\alpha}$ des éléments atomiques $11 \leq Z \leq 96$. Mémoire de master, université Mohamed El Bachir El ibrahimi –de Bordj Bou-Arreridj, 21/06/2018.

Zidi A., Calcul du rapport d'intensité d'émission des rayons X (K β /K α) des éléments lourds. Mémoire de master, université Mohamed El Bachir El ibrahimi –de Bordj Bou-Arreridj (2021).

Chapitre II

**Calcul semi-empirique du rapport
Des intensités d'émission de rayons X
($L\gamma/L\alpha$) pour les éléments de transitions (2^{ème}
et
3^{ème} série) ($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$)**

II.1. Introduction

Les atomes sont connus par les interactions qui se produisent entre leurs différentes couches (K, L, M, N...), Ces interactions sont caractérisées par les déplacements des électrons, Création des lacunes, absorption ou émission du rayon X...Qui sont dépendants aux paramètres atomiques.

Dans ce chapitre, on va étudier un paramètre atomique qui caractérise la couche L. Qui s'appelle le rapport d'intensité des rayons X ($\frac{L\gamma}{L\alpha}$), pour la deuxième et la troisième série des éléments de transition ($39 \leq Z \leq 47$) et ($72 \leq Z \leq 79$). Car La recherche scientifique a accordé une grande attention à ce paramètre atomique en raison de son importance et utilisations dans plusieurs domaines.

II.2. Les éléments de transition

Les éléments de transition ce sont des métaux, ils sont appelés éléments de bloc d a cause de leurs états atomique, Ils sont divisés en 3 catégories selon leurs configurations électroniques (3d 4d 5d), Les particularités de leur orbite leur confèrent plusieurs propriétés physiques et chimiques (Lamamra et Baddari, 2021).La figure II.1 présenté les éléments de transition et leurs trois familles qui sont suites en 3 lignes et 10 colonnes.

3	4	5	6	7	8	9	10
Sc Scandium 3d ¹ 4s ²	Ti Titane 3d ² 4s ²	V Vanadium 3d ³ 4s ²	Cr Chrome 3d ⁵ 4s ¹	Mn Manganèse 3d ⁵ 4s ²	Fe Fer 3d ⁶ 4s ²	Co Cobalt 3d ⁷ 4s ²	Ni Nickel 3d ⁸ 4s ²
Y Yttrium 4d ¹ 5s ²	Zr Zirconium 4d ² 5s ²	Nb Niobium 4d ⁴ 5s ¹	Mo Molybdène 4d ⁵ 5s ¹	Tc Technetium 4d ⁵ 5s ²	Ru Ruthenium 4d ⁷ 5s ¹	Rh Rhodium 4d ⁸ 5s ¹	Pd Palladium 4d ¹⁰ 5s ⁰
Lu Lutetium 5d ¹ 6s ²	Hf Hafnium 5d ² 6s ²	Ta Tantale 5d ³ 6s ²	W Tungstène 5d ⁴ 6s ²	Re Rhenium 5d ⁵ 6s ²	Os Osmium 5d ⁶ 6s ²	Ir Iridium 5d ⁷ 6s ²	Pt Platine 5d ⁹ 6s ¹

II.1. Figure : Partie du tableau périodique "bloc d montrant la famille des éléments de transition (Ouannassi, 2018).

Tableau II.1 : Présentation des catégories d'éléments de transition et leurs configurations électroniques.

Z, Élément	Configuration électronique	Z, Élément	Configuration électronique	Z, Élément	Configuration Electronique
21, Sc	[Ar] 3d ¹ 4s ²	39, Y	[Kr] 4d ¹ 5s ²	57, La	[Xe] 5d ¹ 6s ²
22, Ti	[Ar] 3d ² 4s ²	40, Zr	[Kr] 4d ² 5s ²	72, Hf	[Xe] 5d ² 6s ²
23, V	[Ar] 3d ³ 4s ²	41, Nb	[Kr] 4d ⁴ 5s ¹	73, Ta	[Xe] 5d ³ 6s ²
24, Cr	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹	42, Mo	[Kr] 4d ⁵ 5s ¹	74, W	[Xe] 5d ⁴ 6s ²
25, Mn	[Ar] 3d ⁵ 4s ²	43, Tc	[Kr] 4d ⁵ 5s ²	75, Re	[Xe] 5d ⁵ 6s ²
26, Fe	[Ar] 3d ⁶ 4s ²	44, Ru	[Kr] 4d ⁷ 5s ¹	76, Os	[Xe] 5d ⁶ 6s ²
27, Co	[Ar] 3d ⁷ 5d ¹ 4s ²	45, Rh	[Kr] 4d ⁸ 5s ¹	77, Ir	[Xe] 5d ⁷ 6s ²
28, Ni	[Ar] 3d ⁸ 4s ²	46, Pd	[Kr]4d ¹⁰	78, Pt	[Xe] 5d ⁹ 6s ¹
29, Cu	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	47, Ag	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹	79, Au	[Xe]5d ¹⁰ 6s ¹
30, Zn	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ²	Cd, 48	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ²	80, Hg	[Xe]5d ¹⁰ 6s ²

II.2.1. Quelques propriétés générales des éléments de transitions

L'une des caractéristiques les plus importantes des éléments de transition est :

- La possibilité de mélanger deux ou plusieurs éléments pour former des alliages.
- Elles sont connues comme des conducteurs thermique et électrique
- L'oxydation des métaux avec l'oxygène détermine le type de famille, si oxyde, c'est une famille non noble, s'il n'est pas oxydé, alors c'est une famille noble.
- Les éléments de transition de première et deuxième série sont caractérisés par des anomalies électroniques, c'est dire que les électrons se déplacent de l'orbite s vers l'orbite d.
- Elles sont connues comme des métaux lourds (Saidi, 2010).

II. 2. 1. 1. Les propriétés chimiques

Grâce l'orbite **d** on a déterminé ces propriétés :

- Température de fusion et d'ébullition très élevées.
- La réaction avec les acides sauf pour les membres de la famille noble (Cu, Ag, Au).
- En raison du grand nombre d'états d'oxydation des éléments l'énergie d'ionisation diminue.
- Les éléments de transition sont colorés (Boukelkoul, 2013).

II.2.1.2. Les propriétés physiques

- Les éléments de transition ont 3 structures (cubique centrée, cubique face centrée, hexagonale compacte) par exemple (Sc, Hcp), (V, cc), (cu, cfc).
- Des métaux durs et déformables.
- Ces éléments ont des propriétés telles que l'allongement, limite élasticité, la résistance mécaniques... (Saidi, 2010).

II.2.2. Quelques applications des éléments de transitions

- Les éléments de transition sont utilisés comme catalyseurs dans les réactions chimiques.
- Sont utilisés dans les industries mécaniques et électriques ...
- Elles sont utilisées dans les convertisseurs catalytiques pour réduire la pollution.
- L'utilisation de métaux de transition comme base pour la fabrication des films Ultra Minces pour le stockage de l'information (Boukelkoul ,2013).

II.3. Les transitions radiatives L_{γ} et L_{α}

Les transitions radiatives L_{γ} et L_{α} ou bien les raies d'émission qui distinguent les éléments lourds, sont les résultats de transfert des électrons d'une orbite supérieure à une autre inférieure. La couche **L** elle a trois raies principales de transition ($L_{\alpha}, L_{\beta}, L_{\gamma}$).

Tableau II.2 : les raies principales de la couche L

La raie L_{α}	La raie L_{β}	La raie L_{γ}
$L_{\alpha} = L_{\alpha 1} + L_{\alpha 2}$	$L_{\beta} = L_{\beta 1} + L_{\beta 2} + L_{\beta 3} + \dots$	$L_{\gamma} = L_{\gamma 1} + L_{\gamma 2} + L_{\gamma 3} + \dots$

Où, nous avons de nombreuses transitions atomiques en raison de la structure des orbites électroniques, (Couche et sous -couche).

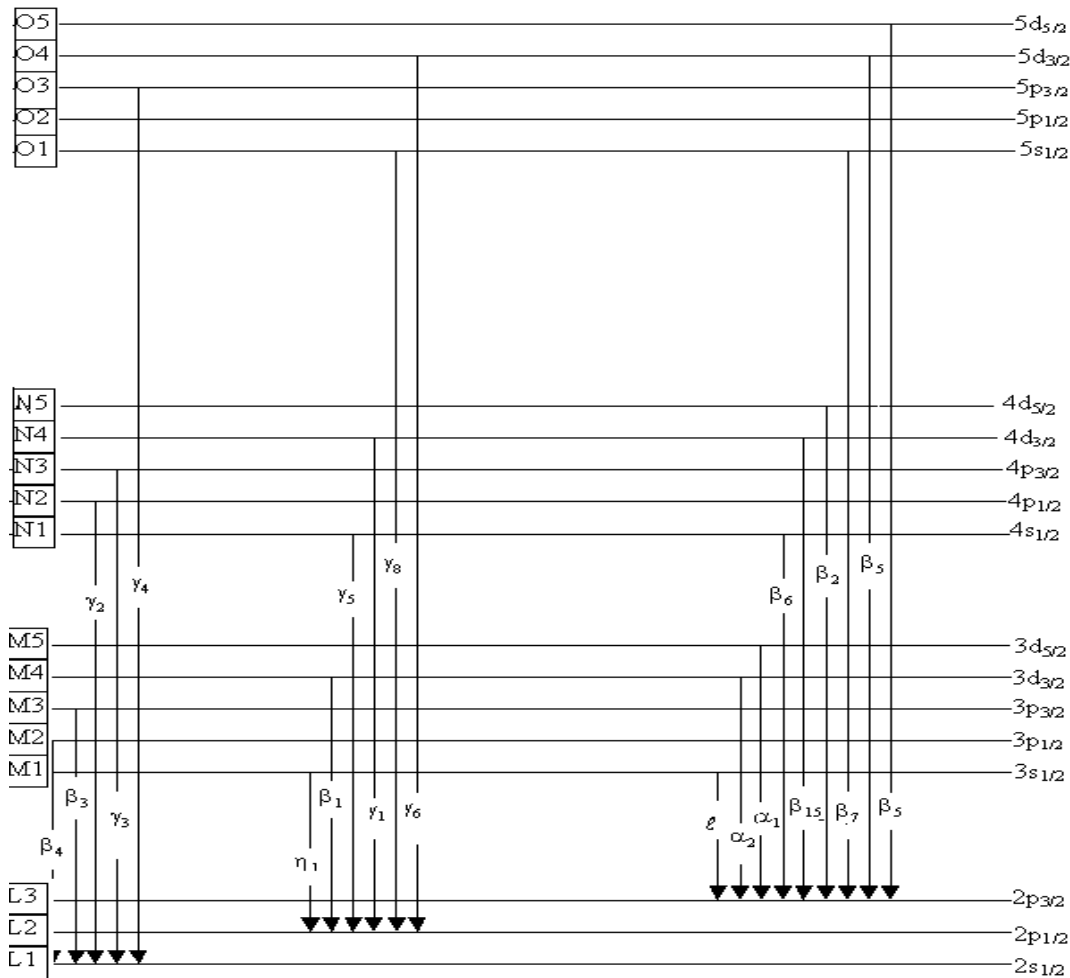


Figure II.2 : Diagramme de raies de transition de la couche L, qui présenté (les couches, notation du Siegbahn, Configuration électronique) (A. Sharma et RM. Singla, 2010)

Nous sommes intéressé à la raie $L\gamma$ (qui résulte du transfert d'électrons de la couche N et O vers la couche L) et $L\alpha$ (qui résulte du transfert d'électrons de la couche M vers la couche L), donc :

- Le rapport d'intensité des rayons X ($\frac{L\gamma}{L\alpha}$):c'est un paramètre atomique, qui est le rapport entre deux raies de transition. L_α, L_γ . Qui caractérisé la couche L .se paramètre spectroscopie a été utilisée dans plusieurs domaines tels que la médecine, les industries nucléaires, biologiques et cristallographie, Caractéristique Énergie des rayons X, l'analyse des tissus biologiques (Doğan et al, 2015).

II.4. Base de données

Nous avons défini et étudions les valeurs expérimentales du rapport d'intensité des rayons X ($\frac{L\gamma}{L\alpha}$), pour les éléments de transition du deuxième ($39 \leq Z \leq 47$) et troisième série ($72 \leq Z \leq 79$), Il existe 112 valeurs expérimentales, Qui a été rassemblée par (Meddah, 2021) à partir des articles scientifiques publiés de 1982 à 2019.

II.4. 1. La valeur moyenne pondérée

Lorsque nous arrivons à calculer les propriétés de n'importe quel paramètre atomique, nous trouve que leurs mesures sont différentes. Dans notre cas est le rapport intensité ($\frac{L\gamma}{L\alpha}$) on utilise ces relation : (Zidi, 2021).

$$\overline{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W} = \left[\left(\sum_{i=1}^N \left(\Delta \left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{\text{exp}-i} \right)^{-2} \right)^{-1} \sum_{i=1}^N \left[\frac{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{\text{exp}-i}}{\left(\Delta \left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{\text{exp}-i} \right)^2} \right] \right] \quad (\text{II.1})$$

- $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{\text{exp}-i}$ Les rapports d'intensités expérimentales.
- N Le nombre de données expérimentales.
- $\Delta \left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{\text{exp}-i}$ L'incertitude sur les valeurs expérimentales.

Nous avons calculé l'erreur sur la valeur moyenne pondérée par la moyenne des écarts avec les données expérimentales :

$$\Delta \left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_W = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\Delta \left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{\text{exp}-i} \right)^{-2}}} \quad (\text{II.2})$$

Le tableau II-2, affiche les mesures expérimentales du rapport d'intensité ($\frac{L\gamma}{L\alpha}$) Pour les éléments de transition (2^{ème} et 3^{ème} série), aussi leurs références et valeurs moyennes pondérées $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_W$, Avec l'incertitude de ces valeurs, Dans le même tableau on a mentionné, l'écart types des points z_i et leurs moyens \bar{z} selon les formules suivants :

$$z_i = \frac{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{\text{exp}-i} - \left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_W}{\sqrt{\left(\Delta \left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{\text{exp}-i} \right)^2 + \left(\Delta \left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_W \right)^2}} \quad (\text{II.3})$$

Une façon naturelle de présenter visuellement l'écart des points expérimentaux individuels par rapport à la moyenne pondérée correspondante.

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n} \quad (\text{II.4})$$

Où n indique le nombre de points expérimentaux pour chaque élément.

Tableau II.3 : Base de données (Meddah, 2021) des rapports d'intensité $\frac{L\gamma}{L\alpha}$ expérimentaux ainsi que l'incertitude de mesure de chaque valeur $\Delta \frac{L\gamma}{L\alpha}$ pour les éléments atomiques du (2^{ème} et 3^{ème} série) $39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$ et leurs références, en plus présentait les valeurs moyennes pondérées $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_w$, avec leurs incertitudes, ainsi que l'écart types Z_i et leurs moyen \bar{z} .

Z, Element	$\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{exp}$ $\pm \left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{exp-i}$	References	$\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_w$ $\pm \Delta \left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_w$	z_i	\bar{z}
Z=39, Y	0.1761±0.015	(Shatendra et al., 1983)	0.1761±0.015	0	0
Z=40, Zr	0.1808±0.016	(Shatendra et al., 1983)	0.1808±0.016	0	0
Z=41, Nb	0.1838±0.017 0.188±0.016	(Shatendra et al., 1983) (Shatendra et al., 1983)	0.186±0.0117	-0.107 0.101	-0.003
Z=42, Mo	0.1919±0.015 0.1996±0.017	(Shatendra et al., 1983) (Shatendra et al., 1983)	0.1953±0.0112	-0.182 0.211	0.015
Z=47, Ag	0.2049±0.017 0.2128±0.016 0.2336±0.014 0.1675±0.01	(Shatendra et al., 1983) (Shatendra et al., 1983) (Shatendra et al., 1983) (Shatendra et al., 1983)	0.1961±0.0067	0.482 0.963 2.416 -2.376	0.371
Z=72, Hf	0.1825±0.008 0.274±0.017 0.265±0.013 0.2045±0.026	(Aylikçi et al., 2007) (Durak and Özdemir, 2001) (Küçükönder et al., 2004) (Öz et al., 2004)	0.215±0.0062	-3.211 3.261 3.472 -0.393	0.782
Z=73, Ta	0.1701±0.008 0.337±0.017 0.2966±0.097 0.1382±0.018 0.2143±0.014 0.201±0.01 0.23±0.001 0.276±0.002 0.265±0.002 0.2071±0.014 0.2055±0.014 0.3155±0.041 0.24±0.011 0.1637±0.008	(Baydaş et al., 2001) (Aksoy et al., 2012) (Dogan et al., 1998) (Dogan et al., 1998) (Ertuğrul, 1996) (Garg et al., 1984) (Garg et al., 1984) (Garg et al., 1984) (Garg et al., 1984) (Kaçal et al., 2011) (Kaçal et al., 2011) (karabulut and Gurol, 2006) (Küçükönder et al., 2004) (Raghavaiah et al., 1990)	0.2412±0.0008 0.2238±0.0044	-8.843 5.629 0.571 -5.717 -1.918 -4.007 -8.746 16.155 11.049 -2.432 -2.546 1.812 -0.109 -9.639	-0.651

	0.185±0.010 0.225±0.006 0.289±0.008	(Saleh et al., 1988) (Saleh et al., 1988) (Saleh et al., 1988)		-5.602 -2.676 5.945	
Z=74, W	0.1787±0.0143 0.1826±0.0146 0.1961±0.0157 0.319±0.015 0.325±0.017 0.3047±0.112 0.1326±0.017 0.3311±0.027 0.2481±0.02 0.1989±0.013 0.2054±0.014 0.3257±0.042 0.242±0.01 0.1689±0.017 0.1531±0.008 0.178±0.010 0.212±0.011 0.266±0.017 0.277±0.020 0.206±0.010 0.233±0.011 0.348±0.017 0.3245±0.0056 0.3112±0.0068	(Al-Saleh and Saleh, 1999) (Al-Saleh and Saleh, 1999) (Al-Saleh and Saleh, 1999) (Aksoy et al., 2012) (Cengiz et al., 2010b) (Dogan et al., 1998) (Dogan et al., 1998) (Durak and Özdemir, 2001) (Ertugrul, 1996) (Kaçal et al., 2011) (Kaçal et al., 2011) (karabulut and Gurol, 2006) (Küçükönder et al., 2004) (Öz et al., 2004) (Raghavaiah et al., 1990) (Saleh et al., 1988) (Saleh et al., 1988) (Saleh et al., 1988) (Turgut and Ertugrul, 2004) (Verma et al., 1985) (Verma et al., 1985) (Verma et al., 1985) (Yaçin et all., 2008) (Yaçin et all., 2008)	0.2475±0.0024 0.2307±0.0044	-4.745 -4.386 -3.236 4.707 4.514 0.511 -6.692 3.084 0.03 -3.676 -2.964 1.859 -0.535 -4.578 -11.302 -6.758 -3.153 1.078 1.464 -4.035 -1.288 5.854 12.638 8.834	-0.532
Z=75, Re	0.289±0.015 0.247±0.062 0.1355±0.018 0.2047±0.013 0.183±0.008 0.173±0.009 0.201±0.009 0.246±0.018	(Cengiz et al., 2010b) (Dogan et al., 1998) (Dogan et al., 1998) (Ertugrul, 1996) (Küçükönder et al., 2004) (Saleh et al., 1988) (Saleh et al., 1988) (Saleh et al., 1988)	0.1964±0.0042 0.1885±0.0044	5.945 0.814 -3.295 0.608 -1.483 -2.356 0.463 2.683	0.422
Z=76, Os	0.255±0.013 0.2597±0.014 0.1931±0.013 0.1913±0.013	(Cengiz et al., 2010b) (Durak and Özdemir, 2001) (Kaçal et al., 2011) (Kaçal et al., 2011)	0.2235±0.0066	2.161 2.339 -2.085 -2.209	0.051
Z=77, Ir	0.1531±0.008	(Raghavaiah et al., 1990)	0.1531±0.008	0	0
Z=78, Pt	0.1290±0.0154 0.1623±0.013 0.1673±0.0134 0.1906±0.0152 0.217±0.007 0.202±0.01 0.1813±0.012 0.1798±0.012 0.193±0.009 0.1701±0.009	(Alqadi et al., 2013) (Al-Saleh and Saleh, 1999) (Al-Saleh and Saleh, 1999) (Al-Saleh and Saleh, 1999) (Dhal and Padhi, 1994) (Cengiz et al., 2010b) (Kaçal et al., 2011) (Kaçal et al., 2011) (Küçükönder et al., 2004) (Raghavaiah et al., 1990)	0.184±0.0026 0.1787±0.0048	-3.522 -1.637 -1.223 0.428 4.419 1.742 -0.22 -0.342 0.961 -1.484	-0.176

	0.165±0.008	(Saleh et al., 1988)		-2.259	
	0.181±0.005	(Saleh et al., 1988)		-0.532	
	0.205±0.015	(Saleh et al., 1988)		1.379	
Z=79, Au	0.1587±0.0127	(Al-Saleh and Saleh, 1999)	0.1802±0.0008	-1.69	0.233
	0.1717±0.0137	(Al-Saleh and Saleh, 1999)	0.1802±0.0008	-0.619	
	0.1989±0.0159	(Al-Saleh and Saleh, 1999)		1.175	
	0.2237±0.011	(Baydaş et al., 2001)		3.944	
	0.219±0.015	(Cengiz et al., 2010a)		2.583	
	0.1874±0.044	(Dogan et al., 1998)		0.164	
	0.1382±0.018	(Dogan et al., 1998)		-2.331	
	0.1814±0.014	(Ertuğrul, 1996)		0.086	
	0.174±0.002	(Garg et al., 1984)		-2.878	
	0.181±0.001	(Garg et al., 1984)		0.625	
	0.193±0.002	(Garg et al., 1984)		5.942	
	0.227±0.007	(Garg et al., 1984)		6.642	
	0.1748±0.011	(Kaçal et al., 2011)		-0.49	
	0.1733±0.011	(Kaçal et al., 2011)		-0.626	
	0.2008±0.026	(Karabulut and Gurol, 2006)		0.792	
	0.1135±0.004	(Küçükönder et al., 2004)		-16.351	
	0.1592±0.008	(Raghavaiah et al., 1990)		-2.612	
	0.1951±0.018	(Rao et al., 1993a)		0.827	
	0.2155±0.016	(Rao et al., 1993a)		2.203	
	0.2150±0.016	(Rao et al., 1995a)		2.172	
	0.2145±0.014	(Rao et al., 1995a)		2.446	
	0.2133±0.012	(Rao et al., 1995a)		2.752	
	0.1776±0.012	(Rao et al., 1993b)		-0.216	
	0.1768±0.010	(Rao et al., 1993b)		-0.339	
	0.1803±0.018	(Rao et al., 1995)		0.006	
	0.2108±0.016	(Rao et al., 1995)		1.91	
	0.2053±0.014	(Rao et al., 1995)		1.79	
	0.165±0.009	(Saleh et al., 1988)		-1.682	
	0.178±0.010	(Saleh et al., 1988)		-0.219	
	0.199±0.012	(Saleh et al., 1988)		1.563	
	0.175±0.015	(Turgut and Ertugrul, 2004)		-0.346	

- Nous avons obtenu les résultats indiqués dans le tableau à partir des valeurs expérimentales et pondérées, utilise les relations (II.3), (II.4) pour calculer les valeurs de l'écart types z_i . et leurs moyens \bar{z} , puis on a traduit ces résultats sous la forme d'un graph illustré dans la figure II.3.

La figure II.3 : représente les valeurs de l'écart types des points z_i , et leurs moyennes \bar{z} en fonction du nombre atomique Z pour la deuxième série $39 \leq Z \leq 47$, les valeurs de l'écart types z_i , sont variés de -2.376 à 2.416 où toutes les valeurs dans la gamme et pour \bar{z} elles sont variés de -0.003 à 0.371, l'attention est attirée lorsque $Z=43,44,45,46$, il n'y a pas de valeurs. Pour la troisième série ($72 \leq Z \leq 79$), les valeurs de Z_i variée entre [-16.351, 16.155], et leur moyenne \bar{z} variée de -0.651 à 0.651. on a noté qu'il ya 27 valeurs hors de la gamme, 14 valeurs supérieurs, 13 inférieurs de notre gamme.

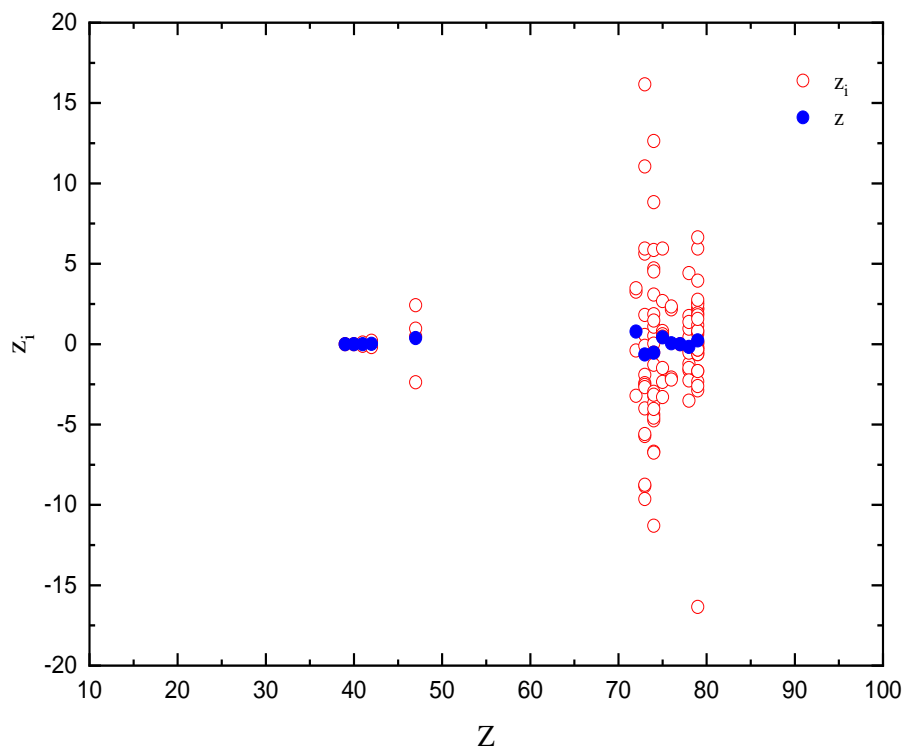


Figure .II.3: La distribution des valeurs l'écart types z_i , et leurs moyennes \bar{z} en fonction de numéros atomiques pour le deuxième et troisième série des éléments de transition.

- Pour trouver des valeurs pratiques, nous avons choisi une gamme [-4.4], qui dépend des valeurs de l'écart types z_i , nous allons éliminer les valeurs expérimentales de rapport d'intensité $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{exp}$, qui sont hors la gamme, sont indiqués en gras au tableau ci-dessus. Ensuite, en appliquant la relation (II.1), pour recalculer les valeurs moyennes pondérées recommandées des rapports d'intensité des rayons X $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W$ et leurs moyens $\Delta\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W$ qui sont mentionné en gras dans la quatrième colonne du tableau II.3, après, nous arrivons à calculer le rapporte $R = \frac{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{exp}}{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W}$, enfin, nous résumons ces résultats obtenus dans les figures II.5 .6 .7 .8.

II.5. Les méthodes de calcul utilisé dans ce travail

Pour calculer les valeurs semi- empiriques du rapport d'intensité des rayons X ($\frac{L\gamma}{L\alpha}$), nous utilisée les derniers résultats de calcul, pour dessiner leurs graphes, puis, grâce la méthode de moindre carré, nous avons interpolé ces figures afin d'extraire des fonctions analytiques qui ont été dépendu de forme de Fitte.

II.5.1. La méthode des moindres carrés

La méthode des moindres carrés : C'est un mode mathématique de calcul, nous l'utilisons lorsque nous avons un ensemble des points éloignés et que nous voulons tracer un ligne droit qui inclut le maximum de ces points, ça veut dire approximé ces points (Zidi, 2021).

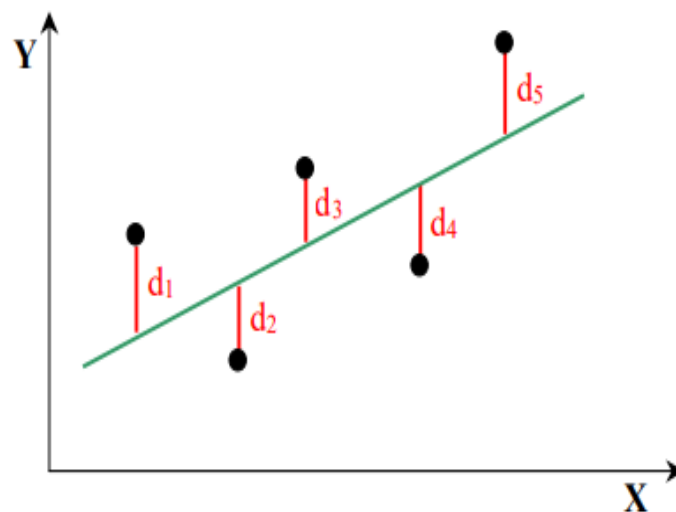


Figure II.4 : Droite de régression des moindres carrés $y = ax + b$ (Zidi, 2021).

C'est ce que montre la figure ci-dessus.

(d) définie les carrés des écarte des pointes, à condition que La somme de $\sum d$ doit être petite

$$S = \sum d^2 = \text{minimum} \quad (\text{II.5})$$

Le principe de la méthode des moindres carrés est s'appuie sur l'approximation de polynôme qui a plusieurs degrés ($N=1, 2, \dots, i$), mais nous avons utilisé l'approximation polynomiale des degrés 2 et de degré 3, là où nous nous sommes compté sur l'équation du linge droit puis nous avons utilisé la relation, l'ont dérivée, après des étapes de simplifications, nous avons déterminé la matrice, nous résumons ces étapes dans les tableaux (II.4 et II.5)

Tableau II.4 : Présent l'approximation polynomiale de degré 2.

Approximation polynomiale de degré 2	
Equation de linge droite	$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$
$S = \sum_{i=1}^N [y - f(x)]^2$	$\sum_{i=1}^N [y_i - (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c)]^2$
La dérivé Partille	$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^N [x_i^2] \cdot [y_i - (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c)]$ $\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^N [x_i] \cdot [y_i - (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c)]$ $\frac{\partial S}{\partial c} = -2 \sum_{i=1}^N [y_i - (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c)]$
Simplification	$a \cdot \sum_{i=1}^N x_i^4 + b \cdot \sum_{i=1}^N x_i^3 - c \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 = \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot y_i$ $a \cdot \sum_{i=1}^N x_i^3 + b \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 + c \cdot \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i$ $a \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^N x_i + N \cdot c = \sum_{i=1}^N y_i$
La forme matricielle $A \times X = B$	$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x_i^4 & \sum_{i=1}^N x_i^3 & \sum_{i=1}^N x_i^2 \\ \sum_{i=1}^N x_i^3 & \sum_{i=1}^N x_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i \\ \sum_{i=1}^N x_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i & N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i y_i \\ \sum_{i=1}^N y_i \end{bmatrix}$

Tableau II.5 : Présent l'approximation polynomiale de degré 3.

Approximation polynomiale de degré 3	
Equation de linge droite	$y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$
$S = \sum_{i=1}^N [y_i - f(x)]^2$	$\sum_{i=1}^N [y_i - a \cdot x_i^3 + b \cdot x_i^2 + c \cdot x_i + d]$
Le dérivé Partille	$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^N [x_i^3] \cdot [y_i - (a \cdot x_i^3 + b \cdot x_i^2 + c \cdot x_i + d)]$ $\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^N [x_i^2] \cdot [y_i - (a \cdot x_i^3 + b \cdot x_i^2 + c \cdot x_i + d)]$ $\frac{\partial S}{\partial c} = -2 \sum_{i=1}^N [x_i] \cdot [y_i - (a \cdot x_i^3 + b \cdot x_i^2 + c \cdot x_i + d)]$ $\frac{\partial S}{\partial d} = -2 \sum_{i=1}^N [y_i - (a \cdot x_i^3 + b \cdot x_i^2 + c \cdot x_i + d)]$
Simplification	$a \cdot \sum_{i=1}^N x_i^6 + b \cdot \sum_{i=1}^N x_i^5 + c \cdot \sum_{i=1}^N x_i^4 + d \cdot \sum_{i=1}^N x_i^3 = \sum_{i=1}^N x_i^3 \cdot y_i$ $a \cdot \sum_{i=1}^N x_i^5 + b \cdot \sum_{i=1}^N x_i^4 + c \cdot \sum_{i=1}^N x_i^3 + d \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 = \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot y_i$ $a \cdot \sum_{i=1}^N x_i^4 + b \cdot \sum_{i=1}^N x_i^3 + c \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 + d \cdot \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i$ $a \cdot \sum_{i=1}^N x_i^3 + b \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 + c \cdot \sum_{i=1}^N x_i + N \cdot d = \sum_{i=1}^N y_i$
La forme matricielle $A \times X = B$	$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x_i^6 & \sum_{i=1}^N x_i^5 & \sum_{i=1}^N x_i^4 & \sum_{i=1}^N x_i^3 \\ \sum_{i=1}^N x_i^5 & \sum_{i=1}^N x_i^4 & \sum_{i=1}^N x_i^3 & \sum_{i=1}^N x_i^2 \\ \sum_{i=1}^N x_i^4 & \sum_{i=1}^N x_i^3 & \sum_{i=1}^N x_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i \\ \sum_{i=1}^N x_i^3 & \sum_{i=1}^N x_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i & N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x_i^3 \cdot y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i^1 \cdot y_i \\ \sum_{i=1}^N y_i \end{bmatrix}$

II.5.2. Calcul semi empirique

Nous constatons qu'il ya un manque de valeurs expérimentales dans notre base de données (Meddah, 2021), dans la deuxième série qui est ^{43}Tc , ^{44}Ru , ^{45}Rh , ^{46}Pd , alors on doit utiliser la méthode semi-empirique.

En vue de calculer les valeurs semi-empiriques du rapport d'intensité des rayons X ($\frac{L\gamma}{L\alpha}$) pour les éléments ($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$), nous devons suivre ces étapes :

D'abord, en utilisant les valeurs moyennes pondérées recommandées $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W$, et le rapport

$R = \frac{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{\text{exp}}}{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W}$ qui nous avons calculé pour tracer leurs graphes (Figures .II.4, II.5, II.6, II.7) en fonction de Z pour la (2^{ème} et 3^{ème} séries) ($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$). Où nous avons choisi les degrés des polynômes qui dépendent de la fit, pour le rapport R, on a utilisé l'approximation polynomiale de degré trois et pour les valeurs moyennes pondérées recommandés $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W$ le degré deux sous les formes :

$$\bullet \quad (\overline{R}_1 = \sum_{i=0}^3 a_i Z^i) \quad \text{II.6}$$

$$\bullet \quad (\overline{R}_2 = \sum_{i=0}^3 b_i Z^i) \quad \text{II.7}$$

$$\bullet \quad \left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{W1} = \sum_{i=0}^2 c_i Z^i = g_1(Z) \quad \text{II.8}$$

$$\bullet \quad \left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{W2} = \sum_{i=0}^2 d_i Z^i = g_2(Z) \quad \text{II.9}$$

Ces tableaux résumer les équations utilisées dans notre calcul pour deux les séries et leurs coefficients :

Tableau II.6: les équations de rapport R et des valeurs moyennes des pondérées. Recommandés pour la deuxième série ($39 \leq Z \leq 47$) et leurs coefficients d'interpolations.

La Deuxièmes série (39 ≤ Z ≤ 47)		
$g_1(Z)$	i	c_i
$\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{w_1} = -1.1616407489 + 0.0604688975 \cdot Z - 6.7185137807 \cdot 10^{-4} \cdot Z^2$	0	-1.1616407489
	1	0.0604688975
	2	-6.7185137807 · 10 ⁻⁴
R_1	i	a_i
$R_1 = -10.0574236152 + 0.8188444333 \cdot Z - 0.0202043566 \cdot Z^2 + 1.661063414 \cdot 10^{-4} \cdot Z^3$	0	-10.0574236152
	1	0.8188444333
	2	-0.0202043566
	3	1.661063414 · 10 ⁻⁴

Tableau II.7: les équations de rapport R et des valeurs moyennes des pondérées. Recommandés pour la troisième série ($72 \leq Z \leq 79$) et leurs coefficients d'interpolations.

La Troisièmes série (72 ≤ Z ≤ 79)		
$g_2(Z)$	i	d_i
$\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{w_2} = -9.01873 + 0.25527 \cdot Z - 0.00176 \cdot Z^2$	0	-9.01873
	1	0.25527
	2	-0.00176
R_2	i	b_i
$R_2 = -715.44037 + 28.40746 \cdot Z - 0.37516 \cdot Z^2 + 0.00165 \cdot Z^3$	0	-715.44037
	1	28.40746
	2	-0.37516
	3	0.00165

Ensuite, nous utilisons les équations des tableaux (II.6, II.7), afin de déterminer les valeurs semi-empiriques du rapport d'intensité des rayons X $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)$, pour les deux séries sous la forme indiquée dans la relation suivante :

$$\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{s-emp} = \bar{R} \times g(Z) \tag{II.10}$$

➤ Pour la deuxième série $39 \leq Z \leq 47$

La figure II.5 : montre la variation des valeurs moyennes pondérées recommandées $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W$ pour les éléments ${}_{39}\text{Y}$ ${}_{47}\text{Ag}$ en fonction du numéro atomique Z . Qui a été représenté dans une courbe, à part de ces éléments ${}_{43}\text{Tc}$, ${}_{44}\text{Ru}$, ${}_{45}\text{Rh}$, ${}_{46}\text{Pd}$ qui ne sont pas mentionnés dans celui-ci. À cause d'ils n'ont pas de valeurs expérimentales. L'où on note que leurs valeurs variées entre 0.1761 et 0.1961 pour ${}_{39}\text{Y}$ et ${}_{47}\text{Ag}$).

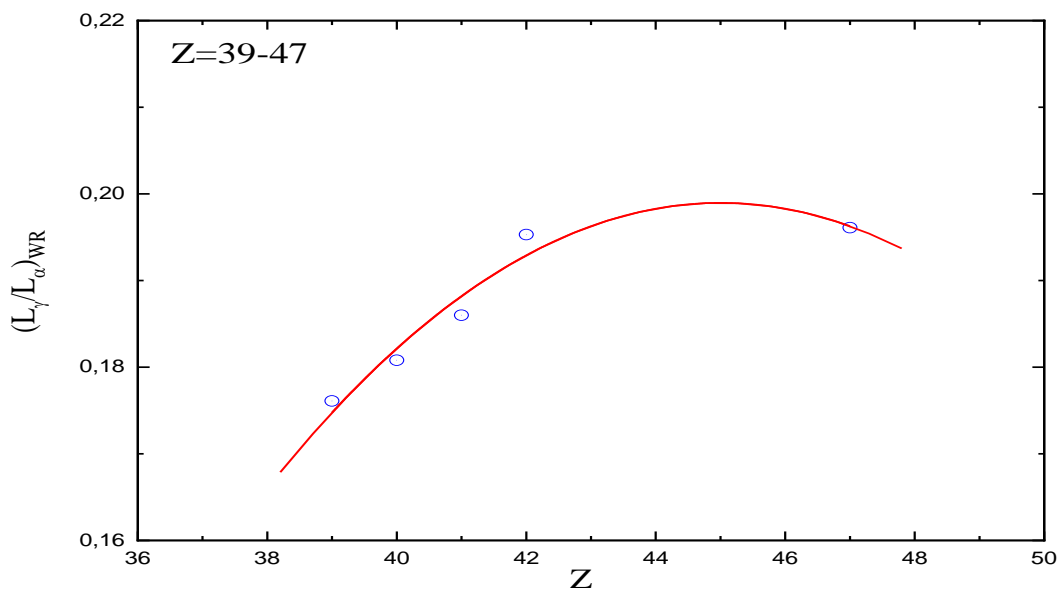


Figure II.5 : la variation des valeurs moyennes pondérées recommandé

$\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W$ en fonction du number atomique Z pour les éléments de la deuxième série $39 \leq Z \leq 47$.

La figure II.6 : montre la variation du rapport $R = \frac{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{exp}}{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W}$, pour les éléments ${}_{39}\text{Y}$ et ${}_{47}\text{Ag}$ en fonction du numéro atomique z . Qui a été représenté dans une courbe, à part de ces éléments ${}_{43}\text{Tc}$, ${}_{44}\text{Ru}$, ${}_{45}\text{Rh}$, ${}_{46}\text{Pd}$ qui ne sont pas mentionnés dans celui-ci. À cause d'ils n'ont pas de valeurs expérimentales. L'où noter que leurs valeurs changent entre 1 (${}_{39}\text{Y}$ et ${}_{40}\text{Zr}$) et 1.19 (${}_{47}\text{Ag}$)

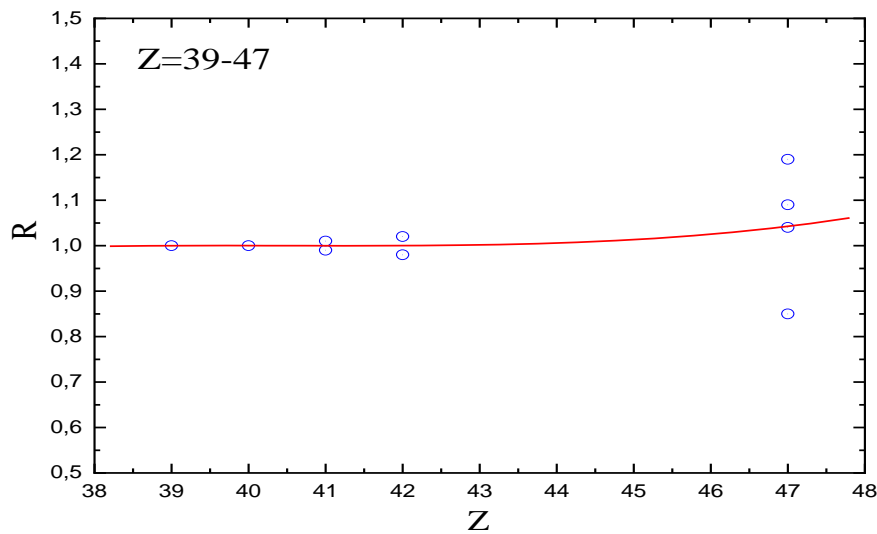


Figure II.6 : La variation du rapport $R = \frac{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{exp}}{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W}$ en fonction du nombre atomique Z pour les éléments de la deuxième série $39 \leq Z \leq 47$.

➤ Pour la troisième série $72 \leq Z \leq 79$

La figure II.7 : montre la variation des valeurs moyennes pondérées recommandées $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W$ pour les éléments ${}_{72}\text{Hf}$ ${}_{79}\text{Au}$, en fonction du numéro atomique z . Qui a été affichée dans une courbe, sa zone de variation est limitée entre 0.1531 et 0.2307 pour les éléments de ${}_{77}\text{Ir}$ et ${}_{74}\text{W}$ respectivement.

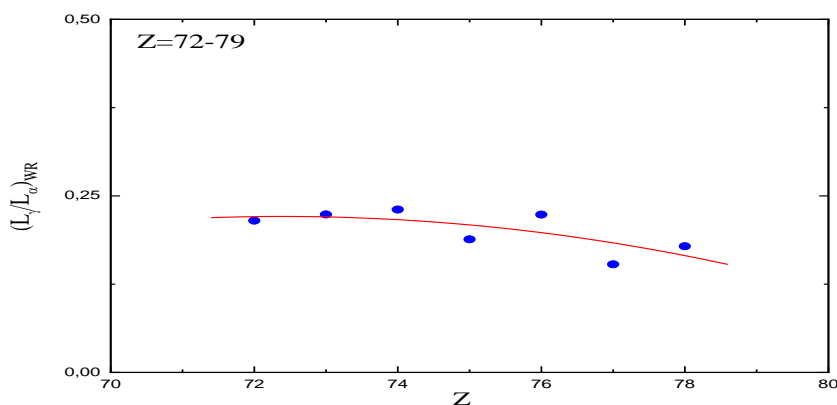


Figure II.7 : la variation des valeurs moyennes pondérées recommandé $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W$ en fonction du nombre atomique Z pour les éléments de la troisième série $72 \leq Z \leq 79$.

La figure II.8 : montre la variation du rapport $R = \frac{(L\gamma/L\alpha)_{exp}}{(L\gamma/L\alpha)_W}$ pour les éléments ${}_{72}\text{Hf}$ ${}_{79}\text{Au}$ en fonction du numéro atomique Z . Qui a été affichée dans une courbe, sa zone de variation est limitée de $1.55{}_{75}\text{Re}$ à $0.66{}_{74}\text{W}$. Avec des éléments atomiques d'une valeur de 1.

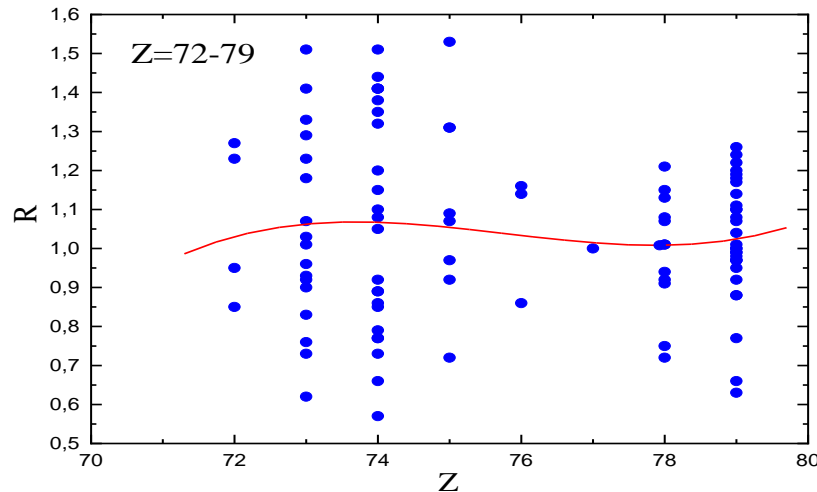


Figure II.8: La variation du rapport $R = \frac{(L\gamma/L\alpha)_{exp}}{(L\gamma/L\alpha)_W}$ en fonction du nombre atomique Z pour les éléments de la troisième série $72 \leq Z \leq 79$.

II.6. Discussion et comparaison des résultats

Après avoir calculé les valeurs semi-empiriques pour les éléments de transition de deuxième et troisième série, ($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$), et le mettre dans le **Tableau II.8** pour comparer avec des valeurs expérimentales et empiriques des autres auteurs (**Meddah, 2021, Shatendra et al., 1983, Al-Salah and Salah, 1999, Kaçal et al., 2011**) et tracez les courbes de comparaison qui sont illustrées dans **La Figure II.9**, nous commençons à discuter de ces résultats.

Avant tout, on remarque que nous avons combiné les deux séries dans un seul graphe, dans lequel on a utilisé cette relation de la différence relative (RD) pour connaître la valeur d'auteur la plus appropriée

$$RD(\%) = \left| \frac{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{exp} - \left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{s-emp}}{\left(\frac{L\gamma}{L\alpha} \right)_{s-emp}} \right| \times 100 \quad (\text{II.11})$$

En ce qui concerne la courbe de la deuxième série, ont constaté que les valeurs expérimentales de (Shatendra et al., 1983), sont la plus compatible avec nos calculer semi-empirique où (**RD**) varier entre [0.14% , 2.33 %], pour $_{47}\text{Ag}$ et $_{41}\text{Nb}$ on peut dire que la comparaison est bien, quant aux valeurs empiriques de (Meddah, 2021) sont moins compatibles puisque le (**RD**) oscille entre [4.46% - 8.57%], pour $_{39}\text{Y}$, $_{45}\text{Rh}$, donc il est facile de dire que la courbe de (Shatendra et al., 1983) est le plus symétrique avec notre courbe, puis la courbe de (Meddah, 2021). Alors les résultats de comparaisons avec la deuxième série sont très bons.

En égard de la troisième série ($72 \leq Z \leq 49$), les valeurs de RD indiqué que les valeurs empiriques de (Meddah, 2021) sont quelque peu différent, car le pourcentage de comptabilité allant de 8% ($_{75}\text{Re}$, $_{77}\text{Ir}$) à 13% ($_{74}\text{W}$) jusqu'à 36% pour ($_{79}\text{Au}$). Ensuite les valeurs expérimentales de (Al-Salah and Salah, 1999), ont donné des valeurs cohérentes 0.12% $_{78}\text{Pt}$ et 9% ($_{79}\text{Au}$) et des valeurs incompatibles 19% pour ($_{74}\text{W}$) en raison de ratios de RD(%), puis la courbe de (Kaçal et al., 2011) on note que le RD s'équivaut de 8.4% à 20.36% pour le ($_{73}\text{Ta}$) et ($_{79}\text{Au}$), sauf ($_{76}\text{Os}$) égal 2.1%, alors après prise en compte les résultats obtenus (de la figure et tableau) nous pouvons dire que parmi la comparaison avec les trois auteurs, la courbe la plus harmonieuse avec notre courbe des résultats semi-empirique est de Al-Salah and Salah, 1999, al., Kaçal et al., 2011 , Meddah, 2021 respectivement. Alors, les résultats de comparaisons avec la troisième série sont acceptables.

Les résultats utilisés dans la comparaison sont présentés et résumés dans le tableau II.8 et La figure II.9.

Tableau II.8 : Les résultats semi -empiriques des rapports d'intensités $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{s-emp}$ pour la deuxième et la troisième ($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$), comparées aux valeurs empiriques (Meddah, 2021) et expérimentales (Shatendra et al., 1983, Al-Salah and Salah, 1999, Kaçal et al., 2011) d'autres auteurs.

Z- élément	Ce travail	Autres travaux			
		emp.	exp.		
	s-emp	(Meddah, 2021)	(Shatendra et al., 1983)	(Al-Salah and Salah, 1999)	(Kaçal et al., 2011)
Z=39. Y	0.1748	0.1670	0.1761	--	--
Z=40, Zr	0.1822	0.1708	0.1808	--	--
Z=41, Nb	0.1882	0.1742	0.1838	--	--
Z=42, Mo	0.1929 0.1966	0.1772 0.1799	0.1919 --	-- --	-- --
Z=43, Tc	0.1994	0.1823	--	--	--
Z=44, Ru	0.2016	0.1844	--	--	--
Z=45, Rh	0.2033	0.1862	--	--	--
Z=46, Pd	0.2046	0.1877	0.2049	--	--
Z=47, Ag					
Z=72, Hf	0.2195	0.1929	--	--	--
Z=73, Ta	0.2262	0.1932	--	--	0.207
Z=74, W	0.223	0.1937	--	0.1787	0.199
Z=75, Re	0.2124	0.1943	--	--	--
Z=76, Os	0.1972	0.1950	--	--	0.193
Z=77, Ir	0.1798	0.1959	--	--	--
Z=78, Pt	0.1621	0.1968	--	0.1623	0.181
Z=79, Au	0.1454	0.1979	--	0.1587	0.175

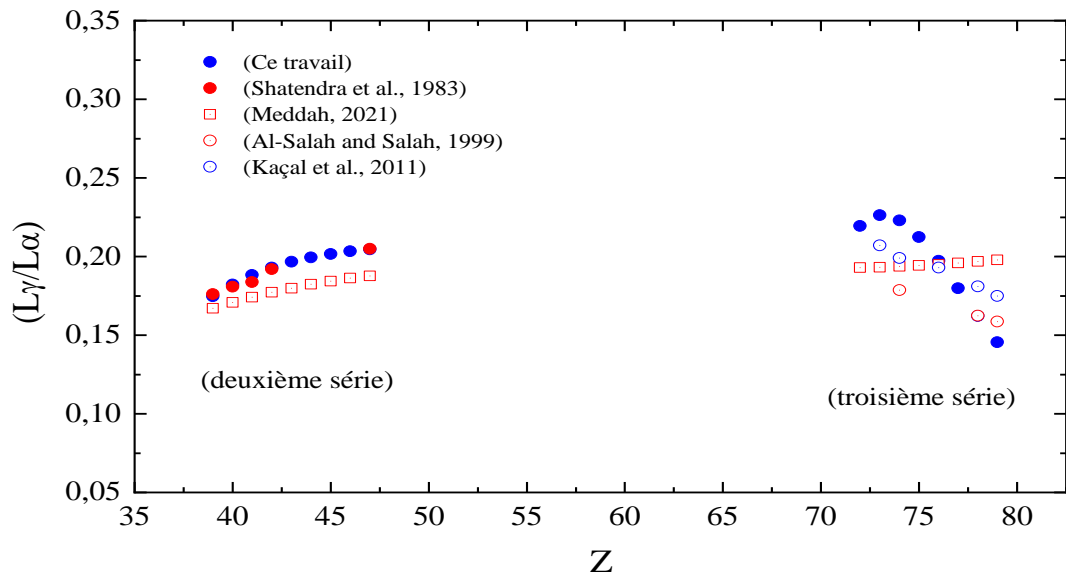


Figure II.9 : Les résultats semi-empiriques des rapports d'intensités $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_{s-emp}$ pour la deuxième et la troisième ($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$), comparées aux valeurs empiriques (Meddah, 2021) et expérimentales (Shatendra et al., 1983, Al-Salah and Salah, 1999, Kaçal et al., 2011) d'autres auteurs en fonction du nombre atomique Z .

II.7. Références Bibliographiques

- Ajay Sharma, Raj Mittal Singla. Vacancy alignment in atomic inner: Theory and Experiment aspects, Lap Lambert Academic Publishing, (2010).
- Aksoy, C., Tirasoglu, E., Cengiz, E., Apaydin, G., Saydam, M., Aylıkci, V., Aylıkci N.K. . Chemical effects on the L-shell X-ray fluorescence parameters of Ta and W. compounds J. Elect. Spectrosc. Relat. Phenom. 184 (2012) 556–560.
- Alqadi, M.K, Alsenjlawi, Y., Alzoubi, F.Y. Measurement of L X-Ray relative intensities for selected heavy elements. Radiat. Phys. Chem.87 (2013) 31–34.
- Al-Saleh K.A., Saleh N.S. L X-ray fluorescence cross-sections of heavy elements excited by 16.04, 16.90 and 17.78 keV photons Radiat. Phys. Chem.54 (1999) 117–124.
- Aylıkci V, Tirasoglu E, Apaydin G, Kaya N, Cengiz E. Chemical effect on the K and L shell intensity ratios of Hf compounds. Phys. Scr. 76 (2007) 31–3.
- Baydaş E., Söğüt Ó., Büyükkasap E., Şahin Y. L X-ray intensity ratios of some elements in the region of $56 \leq Z \leq 83$. J. Radioanal. Nucl. Chem. Vol. 247, No 3 (2001) 487-489.
- Boukelkoul M., Propriétés magnéto-optiques des couches ultraminces et des slabs à base de métaux de transition. Mémoire de Doctorat, Université Sétif 1, 29/06/2013.
- Cengiz E., Tiras-oglu E., Aylıkci V., Apaydin G. The investigations on K and L X-ray fluorescence parameters of gold compounds . Radiat. Phys. Chem.79 (2010) 809–815.
- Cengiz, E., Tirasoglu, E., Aylıkci, V., Apaydin, G.. The investigations on K and L X-ray fluorescence parameters of gold compounds. Radiat. Phys. Chem.79 (2010) 809–815.
- Dhal B.B., Padhi H.C. Relative L-shell X-ray intensities of Pt, Pb and Bi following ionization by 59.54 keV y-rays Nucl. Instrum. Methods B 94 (1994) 373-376.
- Doğan M., Cengiz E., Nas A., Tıraşoğlu E., Kantekin H., Aylıkci V. L shell X-ray fluorescence parameters of Pb in phthalocyanine complexes App. Radiat. Isot.104 (2015) 43–48.
- Dogan O., Simsek O., Turgut U., Ertugrul M.. L X-ray intensity ratios in heavy elements at 59.5 and 122 keV photons. J. Radioanal. Nucl. Chem., Vol. 232, No 1-2 (1998) 143-146.
- Durdu B.G., Kucukonder A. Variation of the L X-ray fluorescence cross-sections, intensity ratios and fluorescence yields of Sm and Eu in halogen compounds Radiat. Phys. Chem.81 (2012) 135–142.
- Gangadharayya Hiremath B., Santosh Mirjia, Hosamania M.M., Badigera N.M., Tiwarib M.K., Study the effect of crystal structure on radiative vacancy transfer probabilities from L3 to Mi, Ni and Oi subshells.

Garg M. L., Singh Jasbir, Verma H R, Singh Nirmal, Mangal S P C, Trehan P. N. Relative intensity measurements of L-shell x-rays for Ta, Au, Pb and Bi in the energy range 17-60 keV J. Phys. B: At. Mol. Phys. 17 (1984) 577-584.

Gargi M. L., Mehtat D., Verma H. R., Singht N., Mangal P. C., Trehan P. N., Measurement of L x-ray fluorescence cross sections and relative intensities for Ho, Er and Yb in the energy range 11-41 keV J. Phys. B: At. Mol. Phys. 19 (1986) 1615-1622.

Hajivaliei M., Puri S., Garg M.L., Mehta D., Kumar A., Chamoli S.K., Avasthi D.K., Mandal A., Nandi T.K., Singh K.P., Sing Nirmal, Govil I.M.. K and L X-ray production cross sections and intensity ratios of rare-earth elements for proton impact in the energy range 20–25MeV . Nucl. Instrum. Methods B 160 (2000) 203–215.

Han I., Sahin M., Demir L. Angular variations of K and L X-ray fluorescence cross sections for some lanthanides. Can. J. Phys. Vol 86 (2008) 361-367.

Kacal M.R., Durak R., Akman F., Turhan M.F., Han I. Measurement of L subshell fluorescence cross sections and intensity ratios of heavy elements at 22.6 keV. Radiat. Phys. Chem.80 (2011) 692–700.

Karabulut, A. Gurol. Measurements of L XRF fluorescence cross-sections and relative intensity ratios for some elements in the atomic range $72 \leq Z \leq 92$. Nucl. Instrum. Methods B 244 (2006) 303–306.

Krishnananda, Santosh Mirji, Badiger N.M., Tiwari M.K.. Measurement of the radiative L₃-M vacancy transfer probabilities of some 4f elements and compounds using Indus-2 synchrotron radiation Chem. Phys. Lett.658 (2016) 192–196.

Küçükönder, Durdu B. G., Sö&üt Ö., Büyükkasap E.. L X-ray production cross sections, average L shell fluorescence yield and intensity ratios in heavy elements. J. Radioan. Nucl. Chem., Vol. 260, No. 1 (2004) 89–97.

Kumar Anil, Puri Sanjiv. Chemical effects on the L₃ sub-shell X-ray relative intensities for some compounds of Hg Radiat. Phys. Chem.80 (2011) 1166–1171.

Kumar Anil, Puri Sanjiv. L₃ sub-shell x-ray relative intensities for some compounds of ⁶⁶Dy at 22.6 and 59.54 keV incident photon energies. Radiat. Phys. Chem.81 (2012) 735–739.

Lamamra A et Baddari M., Étude théorique de la stabilité de complexes de nickel, cuivre, platine et fer à ligand base de schiff substitué on position ortho. Mémoire de master, université Mohamed Khider de Biskra (2020–2021).

M. Doğan, E. Cengiz, E.Tıraşoğlu, H. Kantekin, V.Aylıkçı, L shell X-ray fluorescence parameters of Pb in phthalocyanine complexes. Applied Radiation and Isotopes.104 (2015) 43– 48.

Meddah S., Etude des paramètres atomiques intrinsèques pour l'émission des rayons X : Rapport de l'intensité de la raie L. Mémoire de master, université Mohamed El Bachir Elibrahimi-de Bordj Bou-Arréridj (2021).

Mehmet Ertugrul The vacancy transfer probability dependence on relative L X-ray intensities in the atomic range $57 \leq Z \leq 92$ at 59.5 keV Nucl. Instrum. Methods B 111(1996) 229-233.

Mohan Harsh, Singh Panjit S, Singh D, Verma H R and Khurana C S. Proton-induced L x-ray production cross sections and intensity ratios for Gd and Tb in the energy range 250-400 keV J. Phys. B: At. Mol. Phys. 20 (1987) 5355-5362.

Ouannassi F., Etude théorique des complexes dimères des métaux de transition avec des ponts d'allyle, de cyclopentadiényle; Structure électronique et modes de coordination. Mémoire de master, université de Larbi ben M'hidi (oum el bouaghi), 11/06/2018.

Öz E., Baydas E., Erturul M., Sahin Y. Measurement of L shell X-ray fluorescence intensity ratios for some elements in the atomic number range of $66 \leq Z \leq 90$ by photoionization of consecutive L-subshells. J. Radioan. Nucl. Chem., Vol. 260, No. 1 (2004) 75-79.

Porikli Sevil. Influence of the chemical environment changes on the line shape and intensity ratio values for La, Ce and Pr L lines spectra. Chem. Phys. Lett. 508 (2011) 165-170.

Porikli Sevil. Chemical shift and intensity ratio values of dyspersium, holmium and erbium L X-ray emission lines Radiat. Phys. Chem. 81 (2012) 113-117.

Raghavaiah V., Venkateswara N. Rao, Bhuloka Reddy S., Satyanarayana G., Sree Krishna Murty G., Chandrasekhar Rao M. V. S. and Sastry D. L. La/L β and Ld/L γ X-Ray Intensity Ratios for Elements in the Range $Z = 55-80$. X-Ray Spectrom., VOL. 19 (1990) 23-26.

Rao D. V., Cesareo R., Gigante G. E. L x-ray fluorescence cross sections, fluorescence yields and intensity ratios for Au and Pb at excitation energies 21.56, 31.64 and 34.17 keV. Radiat. Phys. Chem. 46 (1995) 17-22.

Rao V. L x-ray Fluorescence cross sections and intensity ratios in some high-Z elements excited by 23.62- and 24.68-keV photons. Phys. Rev. A, 47, (1993) 1087-1093.

Rao V. and Gigante G. E. L-Shell X-Ray Intensity Ratios for Au and Pb at Excitation Energies 36.82, 43.95, 48.60, 50.20 and 53.50 keV. Phys. Scrip., Vol. 47, 1993 765-768.

Rıdvan Durak Yüksel Özdemir. Measurement of L α /L, L α /L β and L α /L γ X-ray intensity ratios for elements in the atomic range $57 \leq Z \leq 92$ using radioisotope X-ray fluorescence. Phys. Lett. A 284 (2001) 43-48.

Saidi A., L'évolution de l'élasticité dans les métaux de transition. Mémoire de Magister, université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen (.../07/2010).

Saleh N. S., Al-Saleh K. A., Abu El-Haija A. J., Halim N. A. And Khalifeh J. M. Photon-induced L-Shell x-Ray Intensity Ratio for Elements with $73 \leq Z \leq 83$ in the Energy Range $17 \leq E \leq 47$ keV. Int. J. Radial. Appl. Instrum. Part A. Vol. 39, No. 12, (1988) 1213-1217.

Sevil Porikli Durdağı Chemical environment change analysis on L X-ray emission spectra of some lanthanide compounds. Microch. J. 130 (2017) 27-32.

Shatendra K, Allawadhi K L and Sood B S. Energy dependence of photon-induced L-shell x-ray intensity ratios in some high-Z elements J. Phys. B: At. Mol. Phys. 16 (1983) 4313-4322.

Shatendra Kumar, Mittal R, Allawadhi K L and Sood B S. Measurement of relative intensities of L-shell x-rays in some high-Z elements J. Phys. B: At. Mol. Phys. 15 (1982) 3377-3383.

Singh Surinder, Garg M L, Mehtat Devinder, Verma H R, Singh Nirmal, Mangal P C and Trehant P N. Measurements of photon-induced L x-ray fluorescence cross sections and relative intensities for Ba, Ce and Nd at 15.2, 17.8, 22.6 and 25.8 keV J. Phys. B: At. Mol. Phys. 20 (1987b) 941-947.

Singh Surinder, Mehtat Devinder, La Gargt Mohan, Kumar Sudhir, Nirmal Singh, P C Mangal S and P N Trehant Measurement of photon-induced L x-ray fluorescence cross sections and relative intensities for Tm, Lu, Th and U in the energy range 15-60 keV. J. Phys. B: At. Mol. Phys. 20 (1987c) 3325-3333.

Singh Surinder, Mehtat Devinder, La Gargt Mohan, Sudhir Kumar, Singh Nirmal, Mangal P C and Trehant P N. Measurement of L x-ray fluorescence cross sections and relative intensities for elements $56 \leq Z \leq 66$ in the energy range 11-41 keV J. Phys. B: At. Mol. Phys. 20 (1987a) 5345-5353.

Sree Krishna Murthy G., Chandrasekhar Rao M. V. S., Raghavaiah C. V., Bhuloka Reddy S., Satyanarayana G., Sastry D. L. Measurement of the LP to L α intensity ratio through a selective excitation of L_{III}, subshell in elements of $Z \geq 70$. Phys. Rev. A 39 (1989) 1541-1545.

Tirasoglu, E., Cevik U. Ertugral, C. B., Apaydin, G., Ertugrul, M., and Kobya, A.I. Chemical effects on L α , L β , L γ , L δ , and L η X-ray production cross-sections and L γ /L α X-ray intensity ratios of Hg, Pb and Bi compounds at 59.54 keV. Eur. Phys. J. D 26, (2003) 231-236.

Turgut U., Ertugrul M. L X-ray intensity ratios for elements in the range $74 \leq Z \leq 92$ at 31.635 keV Nucl. Instrum. Methods B 222 (2004) 432-436.

Verma H R, Pal Dharminder, Garg M L and Trehant P N . Photon-induced L-shell x-ray intensity ratios for ⁴W and ⁸⁰H using the energy range $17 \leq E \leq 47$ keV J. Phys. B: At. Mol. Phys. 18 (1985) 1133-1138.

Yalçın P., Porikli S., Kurucu Y., Sahin Y. Measurement of relative L X-ray intensity ratio following radioactive decay and photoionization. Phys. Lett. B 663 (2008) 186-190.

Zidi A., Calcul du rapport d'intensité d'émission des rayons X ($K\beta/K\alpha$) des éléments lourds. Mémoire de master, université Mohamed El Bachir El ibrahimi-de Bordj Bou-Arréridj (2021).

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons calculé les valeurs semi-empiriques des rapports intensités d'émission des rayons X $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)$ pour les éléments de transition (2^{ème} et 3^{ème} série) ($39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$), basé sur 112 valeurs expérimentales.

Ensuite nous avons calculé le l'écart type (z_i) et Le z-score moyen (\bar{z}), afin de déterminer des valeurs plus pratiques nous avons choisi une gamme [-4,4] qui est dépend des valeurs de (z_i). Pour recalculer les valeurs moyennes pondérées recommandé $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W$ et leurs incertitudes $\Delta\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)_W$ et les valeurs du rapporte R C'est après avoir supprimé les valeurs qui n'appartiennent pas à la gamme proposée, a l'aide de logiciel Excel.

Puis, on a calculé les valeurs semi-empirique et nous présenter dans des tableaux et des graphiques en utilisant le programme origine avec une méthode mathématique simple, appelée moindre carrée.

Plus tard, nous comparons les résultats obtenus avec des valeurs expérimentales et empiriques d'autres auteurs.

Enfin, les résultats de la comparaison sont :

➤ Pour la deuxième série, des éléments de transition $39 \leq Z \leq 47$, étaient très compatibles,

bien qu'il n'y ait pas de valeurs expérimentales pour certains de ces éléments $_{43}\text{Tc}$ $_{44}\text{Ru}$

$_{45}\text{Rh}$ $_{46}\text{Pd}$, parce qu'il est difficile d'obtenir.

➤ Pour la troisième série des éléments de transition $72 \leq Z \leq 79$, qui ont des valeurs

expérimentales $_{72}\text{Hf}$, $_{73}\text{Ta}$, $_{74}\text{W}$, $_{75}\text{Re}$, $_{76}\text{Os}$, $_{77}\text{Ir}$, $_{78}\text{Pt}$, $_{79}\text{Au}$, car la plupart d'enter eux sont des métaux disponibles, les résultats de la comparaison étaient acceptables avec certains résultats et moyens avec d'autres.

Résumé

Dans ce travail, nous avons utilisé la base de données des valeurs expérimentales du rapport d'intensité $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)$, pour les éléments de transition des (2èmes et 3èmes séries) $39 \leq Z \leq 47$ et $72 \leq Z \leq 79$. Pour calcul les valeurs semi-empiriques du rapport d'intensité d'émission des rayons X. Selon la méthode des moindres carrés. Puis nous avons comparé les valeurs obtenues avec des valeurs d'autres auteurs. Dont où nos résultats étaient plus cohérents avec la deuxième série et moyenne avec la troisième série.

Mots-clés : $L\gamma$, $L\alpha$, rapport d'intensité de l'émission des rayons X, calcul semi-empirique, valeurs moyennes pondérées.

Abstract

In this work, we used the database of experimental values of the intensity ratio $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)$, for the transition elements of the (2nd and 3rd series) $39 \leq Z \leq 47$ and $72 \leq Z \leq 79$. To calculate the semi-empirical X-ray emission intensity ratios. Using the least square method. Then we compared the values obtained with values from other authors. Where our results were more consistent with the second series and average with the third series.

Keywords : $L\gamma$, $L\alpha$, intensity ratios or X ray emission, semi-empirical calculation, valeurs moyennes pondérées.

المخلص

في هذا العمل، استخدمنا قاعدة بيانات القيم التجريبية لنسبة الشدة $\left(\frac{L\gamma}{L\alpha}\right)$ ، للعناصر الانتقالية (السلسلة الثانية والثالثة) $39 \leq Z \leq 47$ ، $72 \leq Z \leq 79$ لحساب نسب شدة انبعاثات الأشعة السينية شبه التجريبية. باستخدام طريقة المربعات الصغيرة. ثم قارنا القيم المتحصل مع قيم مؤلفين آخرين. حيث كانت نتائجننا أكثر توافقاً مع السلسلة الثانية ومتوسطة مع السلسلة الثالثة.

الكلمات الرئيسية: $L\gamma$ ، $L\alpha$ ، نسبة كثافة انبعاث الأشعة السينية ، الحساب شبه التجريبي ، القيم المتوسطة الموزونة