



## Thèse

Présentée pour l'obtention du diplôme de

### DOCTORAT LMD

Filière: Physique

Option: Physique des Rayonnements

## THEME

**Calcul des rapports des intensités d'émission de rayons X  
des éléments de  $11 \leq Z \leq 96$  pour les raies K**

**Présenté Par  
HAMIDANI Assala**

Soutenue le : 7 Mars 2024

Devant le jury composé de :

<b>Président</b>	Bentabet Abdelouahab	Professeur	(U. Bordj Bou-Arreridj)
<b>Rapporteur</b>	Kahoul Abdelhalim	Professeur	(U. Bordj Bou-Arreridj)
<b>Co-encadreur</b>	José Pires Marques	Professeur	(U. Lisbonne, Portugal)
<b>Examineur</b>	Mansouri Abdelaziz	Professeur	(U. Setif-1)
<b>Examineur</b>	Houamer Salim	Professeur	(U. Setif-1)
<b>Examineur</b>	Bencheikh Abdelhalim	Professeur	(U. Bordj Bou-Arreridj)
<b>Invité</b>	Jorge Miguel Sampaio	Professeur	(U. Lisbonne, Portugal)

# Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier mon directeur de thèse, Monsieur Abdelhalim Kahoul, pour sa patience, sa disponibilité ainsi que son énorme soutien. Il a été à mes côtés tout au long de la thèse et a vraiment été présent pour moi. Je lui en suis très reconnaissante.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers le codirecteur de cette thèse, Monsieur José Pires Marques, ainsi qu'envers Monsieur Fernando Parente, et Monsieur Jorge Miguel Sampaio pour leur aide précieuse, non seulement durant la thèse, mais plus encore pendant mon stage à l'université de Lisbonne. L'humilité et la patience dont ils ont fait preuve envers moi, ainsi que les conseils enrichissants qu'ils m'ont octroyés ont été très précieux. Leur collaboration a été véritablement fructueuse. Par la même occasion, je tiens aussi à remercier les étudiants avec lesquels j'ai partagé le laboratoire de l'université de Lisbonne, leurs gentillesse et bienveillance m'ont beaucoup marquée.

De même, j'adresse ma reconnaissance à monsieur Abdelouahab Bentabet pour avoir accepté de présider mon jury. J'ai eu l'honneur d'avoir assisté à ses cours et d'avoir été chargée d'assurer les travaux dirigés de son module. J'ai pour lui une grande admiration. Je suis également reconnaissante à messieurs Abdelaziz Mansouri, Salim Houamer, et Abdelhalim Bencheikh qui m'ont fait le plaisir d'examiner le présent travail, j'espère ne pas les décevoir.

Je n'oublie pas de remercier mes amis pour leur soutien émotionnel et leur compréhension : Widad, Sabrina, Meriem, Sabine et Mahdia. J'ai beaucoup de chance de les avoir dans ma vie.

Enfin, mon éternelle reconnaissance va aux deux êtres les plus chers à mon cœur, mes parents, je ne leur serais jamais assez reconnaissante. Ils ont toujours été là pour moi et m'ont soutenue dans les moments les plus difficiles.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à cette thèse, je vous adresse mes plus sincères remerciements. Et je demande pardon à tous ceux que j'ai involontairement oublié de citer.

# Table des matières

<b>Introduction Générale</b>	<b>1</b>
<b>1. Principes Fondamentaux De L'interaction Rayonnement-Matière</b>	<b>3</b>
1.1 INTERACTION RAYONNEMENT MATIERE.....	3
1.1.1 PROCESSUS D'INTERACTION .....	3
A. EFFET PHOTOELECTRIQUE .....	3
B. EFFET COMPTON.....	4
C. EFFET DE CREATION DE PAIRES .....	6
D. DIFFUSION RAYLEIGH THOMSON .....	7
1.1.2 LOI D'ATTENUATION ET SECTIONS EFFICACES ATOMIQUES .....	7
1.2 PRINCIPE D'EMISSION DE RAYONS X.....	10
1.2.1 NOMBRES QUANTIQUES ET NIVEAUX ATOMIQUES .....	11
1.2.2 COUPLAGE LS ET REGLE DE SELECTION .....	11
1.2.3 NOMENCLATURE .....	12
1.2.4 TRANSITIONS RADIATIVES ET NON RADIATIVES.....	14
A. FLUORESCENCE.....	14
B. EMISSION AUGER ET COSTER-KRONIG .....	15
1.2.5 RENDEMENT DE FLUORESCENCE .....	16
1.2.6 TAUX DE TRANSITIONS .....	20
1.2.7 LARGEURS DE NIVEAUX ATOMIQUES.....	20
1.3 REFERENCES.....	22
<b>2. Bases De Données Des Rapports D'intensité Des Rayons X</b>	<b>24</b>
2.1 ÉTAT DE L'ART.....	24
2.2 BASES DE DONNEES.....	26
2.2.1 CALCULS D'INCERTITUDE.....	26
2.2.2 ÉTUDE DE TRAVAUX EXPERIMENTAU.....	27
2.2.3 ANALYSE DE DONNEES.....	28
2.3 REFERENCES.....	41
<b>3. Calcul Théorique Et Semi-Empirique</b>	<b>51</b>
3.1 CALCUL THEORIQUE .....	51
3.1.1 BASE THEORIQUE DU MODELE .....	52
3.2 CALCUL SEMI-EMPIRIQUE .....	55
3.3 DISCUSSION DES RESULTATS .....	60
3.4 REFERENCES .....	78
<b>Annexes</b>	<b>80</b>
<b>Conclusion</b>	<b>160</b>

# Liste des figures

1-1. Schéma de l'effet photoélectrique (Hupman, 2021). .....	4
1-2. Schéma de l'effet Compton (Hupman, 2021). .....	5
1-3. Production de paires et de triplets. A) Production de paires au voisinage d'un noyau pour une énergie $E_\gamma = h\nu > 2m_{ec}^2$ . B) Production de triplets au voisinage d'un électron pour une énergie $E_\gamma = h\nu > 4m_{ec}^2$ (Selmi, 2011). .....	6
1-4. Illustration du phénomène d'atténuation des photons dans la matière (Selmi, 2011). .....	8
1-5. Les différentes contributions au coefficient d'atténuation massique. Interaction de photons d'énergie allant $10^{-3}$ à 10 MeV dans le Xénon liquide (Duval, 2010). .....	9
1-6. Coefficients d'absorption massiques selon l'approximation de Gerward (Rahmani, 2002). .....	10
1-7. Correspondance entre notation spectroscopiques et couches électroniques (Woldseth, 1974). .....	14
1-8. Emission de rayonnement de fluorescence (What is X-ray Fluorescence (XRF) (horiba.com))..	14
1-9. L'énergie d'émission X en fonction du numéro atomique Z (Bearden, 1967). .....	15
1-10. Schéma illustratif des transitions non-radiatives suivantes : (a) Auger, (b) Coster–Kronig, et (c) Super Coster–Kronig (Andreo, 2017). .....	16
1-11. Rendement de fluorescence (courbe bleue en pointillés) et probabilité d'émission d'électrons Auger (courbe rouge continue) en fonction du numéro atomiques Z. (Tirée de <a href="#">Auger electron spectroscopy - Wikiwand</a> ). La fonction utilisée pour représenter le rendement de fluorescence est celle représentée dans l'équation (1 – 30).. .....	18
1-12. Variation du rendement de fluorescence pour les couches K et sous-couches $L_i$ en fonction du numéro atomique Z (Tertian, 1982). .....	19
1-13. Rendement de Coster-Kronig $f_{12}$ , $f_{13}$ et $f_{23}$ en fonction du numéro atomique Z (Tertian, 1982)..	19
2-1. Correspondance entre la notation Siegbahn et la notation IUPAC pour les transitions radiatives issues des couches K. .....	25
2-2. Distribution du nombre de valeurs expérimentales de R en fonction du numéro atomique Z. ....	29
2-3. Histogramme de données pour les rapports d'intensité expérimentaux R. Les lignes verticales indiquent le nombre annuel de rapports d'intensité publiés tels que compilés dans ce travail. ....	32
2-4. La distribution de $(K\alpha_2/K\alpha_1)_{EXP}/(K\alpha_2/K\alpha_1)_W$ pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique Z. ....	36
2-5. La distribution de $(K\beta/K\alpha)_{EXP}/(K\beta/K\alpha)_W$ pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique Z (de 1969 à 2002). .....	37
2-6. La distribution de $(K\beta/K\alpha)_{EXP}/(K\beta/K\alpha)_W$ pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique Z (de 1969 à 2002). .....	38

2-7. La distribution de $(K\beta_2/K\alpha_1)_{\text{EXP}} / (K\beta_2/K\alpha_1)_W$ pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique Z.....	39
2-8. La distribution de $(K\beta_3/K\beta_1)_{\text{EXP}} / (K\beta_3/K\beta_1)_W$ pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique Z.....	39
2-9. La distribution de $(K\beta'_2/K\alpha_1)_{\text{EXP}} / (K\beta'_2/K\alpha_1)_W$ pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique Z.....	40
2-10. La distribution de $(K\beta'_2/K\beta'_1)_{\text{EXP}} / (K\beta'_2/K\beta'_1)_W$ pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique Z.....	40
2-11. La distribution de $(K\beta'_1/K\alpha_1)_{\text{EXP}} / (K\beta'_1/K\alpha_1)_W$ pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique Z.....	41
3-1. Sortie de la version 2019_1 du code MCDGME montrant les énergies de l'élément $_{48}\text{Cd}$ pour différentes configurations électroniques à un trou, ainsi que les énergies et taux de transitions radiatives de toutes les raies issues de la couche K pour ce même élément. L'unité de mesures des énergies et des taux de transitions sont respectivement l'eV et la $\text{s}^{-1}$ .....	52
3-2. Sortie de la version 2019_1 du code montrant les différents paramètres atomiques calculés pour la transition $K\alpha_2 (K \rightarrow L2)$ de l'élément $_{48}\text{Cd}$ .....	53
3-3. Distribution de $((R)_W / (1 - (R)_W))^{\frac{1}{4}}$ en fonction du numéro atomique Z.....	57
3-4. Distribution de $(R)_{\text{EXP}} / (R)_W$ pour chaque référence de la base de données en fonction de .....	58
3-5. Comparaison de nos calculs théoriques (disques rouges) et semi-empiriques (disques noirs) avec d'autres valeurs théoriques, expérimentales, empiriques et semi-empiriques existantes dans la littérature. ....	75

# Liste des tableaux

1-1. Expressions des sections efficaces atomiques $\sigma$ et coefficients d'atténuation massiques $\mu/\rho$ selon le type de processus d'interaction (Chami, 2011). .....	8
1-2. Correspondance entre les nombres quantiques ( $n, l$ et $j$ ), sachant que $j = l \pm 1/2$ , le nombre d'occupation, les couche et sous-couches atomiques, ainsi que leurs notations spectroscopiques. ....	12
2-1. Résumé du nombre de valeurs expérimentales, nombre d'articles d'où les valeurs ont été extraites, la période des années où ces articles ont été publiés et la gamme du numéro atomique pour chaque rapport d'intensité des rayons X de la couche K sur lesquels nous avons travaillé. ....	26
2-2. Résumé des rapports d'intensité expérimentaux ayant une valeur $S$ en dehors de $[0.9-1.1]$ . Les articles dont ces données sont tirées, la gamme de $Z$ et l'intervalle $S$ sont également mentionnés. ....	35
3-1. Liste des paramètres d'ajustement, ainsi que les ordres $m$ et $n$ de chaque polynôme des deux équations (3 – 13) et (3 – 14). ....	59
3-2. Les valeurs semi-empiriques et théoriques de $K\beta/K\alpha$ comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région $11 \leq Z \leq 96$ . ....	60
3-3. Les valeurs semi-empiriques et théoriques de $K\alpha_2/K\alpha_1$ comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région $13 \leq Z \leq 99$ . ....	62
3-4. Les valeurs semi-empiriques et théoriques de $K\beta_2/K\alpha_1$ comparées aux valeurs empiriques théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région $13 \leq Z \leq 99$ . ....	64
3-5. Les valeurs semi-empiriques et théoriques de $K\beta'_1/K\alpha_1$ comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région $16 \leq Z \leq 97$ . ....	66
3-6. Les valeurs semi-empiriques et théoriques de $K\beta'_2/K\alpha_1$ comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région $32 \leq Z \leq 96$ . ....	68
3-7. Les valeurs semi-empiriques et théoriques de $K\beta'_2/K\beta'_1$ comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région $32 \leq Z \leq 96$ . ....	69
3-8. Les valeurs semi-empiriques et théoriques de $K\beta_3/K\beta_1$ comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région $18 \leq Z \leq 99$ . ....	71

# Introduction Générale

Comme cela arrive très souvent en physique, la découverte des rayons X était fortuite et inattendue. En effet, Wilhelm Conrad Roentgen, physicien allemand, effectuait tranquillement des expériences avec ses tubes cathodiques lorsqu'il fit, en 1895, l'heureuse découverte des rayons X. Le fait que ces rayons puissent pénétrer la matière plus profondément que la lumière visible a ouvert de nouvelles possibilités en médecine, notamment la possibilité de réaliser des radiographies médicales pour la première fois. Ces contributions ont valu à Roentgen le tout premier prix Nobel de physique en 1901. Dès lors, les rayons X ne sont plus seulement réservés au domaine médical, mais sont aussi très fréquemment utilisés dans la recherche scientifique en général et dans l'industrie pour explorer l'intérieur de la matière.

Les rayons X peuvent être caractérisés par plusieurs paramètres fondamentaux, tels que les sections efficaces de production de rayons X, rapports d'intensité, rendements de fluorescence et probabilités de transfert de lacunes. Ces paramètres-là jouent un rôle central dans de nombreuses applications telles que les méthodes analytiques à rayons X, la dosimétrie, la radioprotection, le traitement industriel par irradiation, la caractérisation des plasmas, et aussi afin d'évaluer les modèles théoriques et les codes qui simulent l'interaction des rayonnements avec la matière. Les rapports d'intensité font partie des paramètres atomiques fondamentaux les plus indispensables, en raison de leur importance dans l'analyse quantitative des matériaux, en plus de leur rôle crucial dans la détermination des sections efficaces d'excitation et d'ionisation à partir des spectres atomiques. Les rapports d'intensité sont également nécessaires pour calculer les sections efficaces de production de rayons X.

Motivés par l'idée d'apporter une contribution dans le domaine de l'ionisation de la couche, nous avons recueilli dans ce travail plus de 2800 valeurs concernant 7 rapports d'intensité de rayons X issus de couches K, et qui sont :  $K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$  publiées de 1969 à 2020, constituant ainsi 7 bases de données entièrement nouvelles<sup>1</sup>. De plus, après une analyse approfondie de ces données, nous avons déterminé des valeurs moyennes pondérées pour chaque élément. La moyenne pondérée rapportée avec l'erreur standard interne représente une tentative préliminaire de résumer les données élémentaires avec deux nombres. L'approche s'appuie sur des valeurs expérimentales équitablement rapportées dans les articles originaux, ce qui semble être une préoccupation évidente. De plus, dans le présent travail, nous présentons de nouvelles valeurs semi-empiriques des 7 rapports d'intensité des rayons X mentionnés ci-dessus, ainsi que de nouveaux calculs théoriques utilisant la méthode multi-configurationnelle de Dirac-Fock (MCDF) pour un certain nombre d'éléments. Le travail de cette thèse comporte trois chapitres :

1. Dans ce chapitre, nous passons d'abord en revue les différents processus d'interaction des photons avec la matière, tels que l'effet photoélectrique, l'effet Compton, l'effet de création de paires et la diffusion Rayleigh Thomson. Ensuite, nous aborderons les notions associées à

---

<sup>1</sup> Par exemple, la notation  $K\alpha_1$  indique une transition radiative de la sous-couche  $L_3$  vers la couche K, alors que  $K\beta_1$  indique une transition radiative de la sous-couche  $M_3$  vers la couche K. Plus de détails seront donnés au chapitre 1.

l'émission des rayons X, ainsi que les paramètres qui les caractérisent: rendement de fluorescence, largeurs de raies atomiques et rapports d'intensités.

2. Dans le second chapitre, après avoir fait l'état de l'art des travaux précédents le nôtre, nous présenterons les 7 nouvelles bases de données que nous avons constituées et qui comportent 2895 valeurs, dans lesquelles nous présenterons également les valeurs pondérées. Nous listerons de façon très brève les différentes sources d'excitations, échantillons, ainsi que les spectromètres qu'on a souvent vus passer dans les articles à partir desquels nous avons extrait les mesures expérimentales. Ensuite, nous effectuons l'analyse de ces données et cela en représentant la variation des nombres de données en fonction de l'année de parution du papier original, ou encore en fonction du nombre atomique  $Z$ , cela permet de tirer d'innombrables informations sur l'intérêt qu'a suscité le calcul des paramètres atomiques au cours du temps ainsi que sur le type de matériaux les plus en vogue (attrayant) ou bien les plus fréquemment utilisés pour effectuer les mesures. De même, en traçant le rapport entre les rapports d'intensité expérimentaux par rapport à la valeur moyenne pondérée correspondante pour chaque élément en fonction de  $Z$ , nous avons pu indiquer quelles mesures ne concordaient pas avec nos valeurs (montraient une grande disparité par rapport aux valeurs pondérées calculées.)
3. Le chapitre 3 est dédié à présenter le code MCDFGME et à expliquer la base sur laquelle il repose, chose nécessaire car nous l'avons utilisé pour réaliser nos calculs théoriques. Aussi, présenterons-nous le modèle semi-empirique que nous avons mis en point et la formule analytique sur laquelle il se base. A la fin du chapitre, nous comparerons les résultats obtenus à partir des deux modèles avec d'autres résultats (empiriques, semi-empiriques, expérimentaux et théoriques) disponibles dans la littérature.

Enfin, les principaux résultats de notre thèse seront résumés sous la forme d'une conclusion générale.

# Chapitre 1

## Principes Fondamentaux De L'interaction Rayonnement-Matière

La branche de la physique appelée « interaction des photons avec la matière » étudie comment les photons, tels que les rayons gamma et les rayons X, interagissent avec les atomes et les électrons qui composent la matière. Étant donné que ces interactions contribuent au développement de technologies, au diagnostic de maladies, à la protection des travailleurs contre l'exposition aux rayonnements, à la caractérisation des matériaux et aux progrès de la physique fondamentale, leur compréhension est cruciale pour de nombreuses applications. Dans ce chapitre, nous portons notre intérêt sur la compréhension des phénomènes physiques régissant les processus de l'interaction des photons avec la matière dans le but de saisir le sens physique et l'importance des paramètres que nous calculons dans ce travail et qui sont les rapports d'intensité des rayons X issus des couches K.

### 1.1 Interaction rayonnement matière

#### 1.1.1 Processus d'interaction

Le travail de cette thèse porte sur le calcul de valeurs semi-empiriques des rapports d'intensité d'émission de rayons X pour les raies K, à partir de valeurs mesurées expérimentalement. Afin de d'obtenir ces mesures, on doit tout d'abord créer une lacune au sein du cortège électronique. Plusieurs processus peuvent en être l'origine : Soit des collisions photons-atome (effet photoélectrique, Compton, et annihilation de positrons suite à la production de paires ( $e^-$ ,  $e^+$ )), ou bien des collisions particules chargées-atomes. Cependant, seul le premier cas sera abordé dans cette partie. La connaissance de ces phénomènes est cruciale pour pouvoir comprendre et interpréter les valeurs obtenues.

##### a. Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique dont l'explication a valu à A. Einstein un prix Nobel en 1921, est l'un des procédés qui met en avant le concept de dualité onde-corpuscule, selon lequel la lumière se comporte parfois comme des particules. En effet, au cours de ce processus, un photon d'énergie  $h\nu$  est complètement absorbé par un atome, le rendant instable. De ce fait, l'atome éjecte un électron d'énergie  $T$  de son cortège électronique dans le but de revenir à son état stable. Il est évident que pour que le processus ait lieu, il faut que l'énergie du photon incident  $h\nu$  soit supérieure ou égale à l'énergie de liaison  $E_b$  de l'électron sur son orbite. En d'autres termes, en soustrayant l'énergie de liaison  $E_b$  de l'énergie du photon incident  $h\nu$ , l'énergie absorbée par l'électron éjecté peut être calculée :

$$T = h\nu - E_b \quad (1 - 1)$$

Il faut noter que l'absorption est plus probable dans le cas des électrons dans les couches internes K et L, c'est à dire les électrons les plus fortement liés. Effectivement, les électrons de ces couches sont proches du noyau, qui doit absorber une partie de la quantité de mouvement pour conserver la quantité de mouvement totale. Dans ce contexte, il convient de parler en termes de sections efficaces. Rappelons que la section efficace est le nom donné par les physiciens à la probabilité d'interaction d'une particule pour une réaction donnée de la physique nucléaire ou bien de la physique des particules. Son unité est le barn (b) ( $1\text{b} = 10^{-24}\text{cm}^2$ ). Dans notre cas, on appellera la section efficace liée à l'effet photoélectrique :  $\sigma_{\text{PE}}$ . Cette dernière augmente rapidement avec le numéro atomique  $Z$  de l'atome cible et diminue considérablement avec l'énergie du photon incident :

$$\sigma_{\text{PE}} \propto Z^4 E^{-3} \quad (1 - 2)$$

Donc les matériaux lourds et les photons faiblement énergétiques ont une grande probabilité d'interaction photoélectrique. Après que l'électron ait été éjecté de l'atome, il se produit un réarrangement du cortège électronique : Un des électrons de la couche externe va occuper le site vacant laissé par l'électron éjecté. Il s'ensuit une libération d'un photon de fluorescence d'énergie égale à la différence entre les deux niveaux d'énergie. Ce photon peut être recapturé par l'atome lui-même, provoquant l'émission d'un électron périphérique appelé électron d'Auger (figure 1-1). Cette émission survient plus fréquemment dans le cas d'atomes légers. La fluorescence ainsi que l'émission Auger seront discutées plus en détail dans les section suivantes (a. Fluorescence et b. Emission Auger et Coster-Kronig)

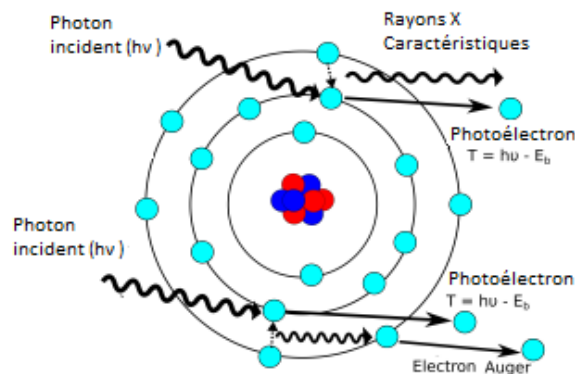


Figure 1-1. Schéma de l'effet photoélectrique (Hupman, 2021).

### b. Effet Compton

La diffusion Compton, également appelée diffusion inélastique<sup>2</sup> ou diffusion incohérente<sup>3</sup>, se produit lorsqu'un photon incident d'énergie  $h\nu$  interagit avec un électron considéré comme libre : son énergie de liaison est négligeable devant l'énergie des photons incidents. Durant ce processus, le photon est diffusé selon l'angle  $\theta$  par rapport à la direction du photon incident avec une énergie  $h\nu'$  qui dépend de  $h\nu$  et de  $Z$  (le nombre d'électrons du milieu qu'il traverse) (figure 1-2). L'énergie du photon diffusé peut s'écrire :

$$h\nu' = h\nu \frac{1}{1 + \varepsilon (1 - \cos \theta)} \quad (1 - 3)$$

<sup>2</sup> La diffusion Compton est dite inélastique en raison de la perte d'énergie de la part du photon incident.

<sup>3</sup> Elle est appelée diffusion incohérente car il n'y a pas de relation claire entre la phase du photon incident et celle du photon diffusé (Chami, 2011).

où  $h\nu$  est l'énergie du photon incident et  $\varepsilon = h\nu/m_e c^2$ . Notez que l'expression (1 – 3) n'est valable que lorsque l'électron est supposé libre (l'énergie du photon incident dépasse largement l'énergie de liaison de l'électron). Dans le cas contraire, cette expression n'est plus valable et il faudrait tenir compte du fait que les électrons sont liés à l'atome.

Parallèlement, l'électron recule d'un angle  $\phi$  par rapport à la direction du photon incident et possède une énergie cinétique de :

$$T = h\nu \frac{\varepsilon (1 - \cos \theta)}{1 + \varepsilon (1 - \cos \theta)} \quad (1 - 4)$$

Il est clair que lorsque l'énergie du photon incident  $h\nu$  augmente, l'énergie emportée par l'électron Compton devient plus grande par rapport à celle du photon diffusé, en restant évidemment toujours inférieure à celle du photon incident.

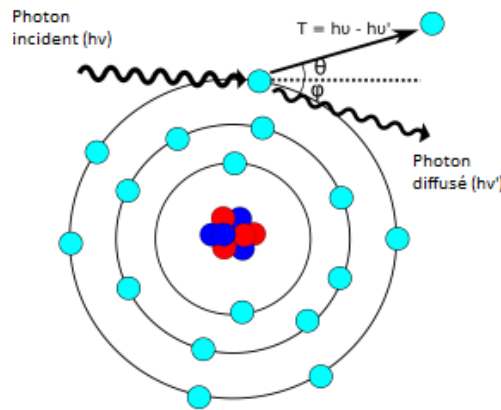


Figure 1-2. Schéma de l'effet Compton (Hupman, 2021).

Comparé à la direction du photon incident, l'électron est toujours expulsé vers l'avant, son énergie sera maximale lorsque  $\theta = \pi$  :

$$T = h\nu / \left( 1 + \frac{m_e c^2}{2h\nu} \right) \quad (1 - 5)$$

Tandis qu'à cet angle-là, les photons sont rétrodiffusés (émis vers l'arrière) avec une énergie minimale égale à :

$$h\nu'^{\text{retro}} = h\nu - T_{\text{max}} = \frac{h\nu}{1 + 2\varepsilon} \quad (1 - 6)$$

$$h\nu'^{\text{retro}} = h\nu \frac{m_e c^2}{m_e c^2 + 2h\nu} \quad (1 - 7)$$

Il est important de noter que l'angle de diffusion joue également un rôle dans l'intensité des photons diffusés. Cette dernière est minimale pour un angle compris entre  $90^\circ$  et  $100^\circ$  (Woldseth, 1973). En prenant en compte ceci, la géométrie des spectromètres installés peut être optimisée, améliorant ainsi la sensibilité dans les analyses par fluorescence X. Les angles de diffusion de l'électron et du photon sont reliés par la relation suivante :

$$\text{ctg } \phi = (1 + \varepsilon) \text{tg } \frac{\theta}{2} \quad (1 - 7)$$

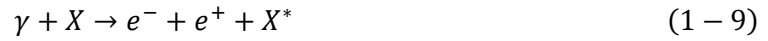
Pour de hautes énergies, la section efficace atomique de diffusion Compton varie comme suit :

$$\sigma_c \propto \frac{Z}{E} \quad (1 - 8)$$

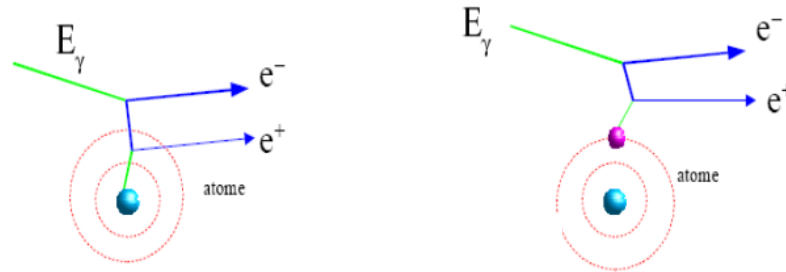
Ainsi, l'effet Compton est prépondérant dans des matériaux ayant des numéros atomiques  $Z$  élevés.

### c. Effet de création de paires

Au cours de ce processus, un photon se convertit en une paire électron-positron ( $e^-$ ,  $e^+$ ). Dans la voie d'entrée se trouve un photon de masse nulle, alors que dans celle de sortie les deux particules ont une masse bien définie  $m_e$  ; c'est pour cela que ce phénomène est aussi appelé matérialisation. Cependant, les lois de conservation d'énergie et d'impulsion montrent que la création de paires ne peut se produire dans le vide. En effet, la présence d'une troisième particule, dont le recul permet l'absorption de la quantité de mouvement donc sa conservation, est nécessaire pour que la matérialisation ait lieu. La troisième particule peut être soit un électron, soit un noyau atomique. Dans ce dernier cas, le photon doit avoir une énergie supérieure au double de l'énergie de masse au repos de l'électron ( $h\nu > 1022 \text{ keV}$ ) pour que sa matérialisation soit possible au voisinage du noyau.

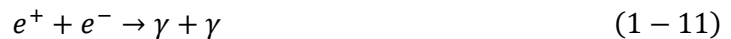


où  $X$  et  $X^*$  indiquent l'état fondamental et excité d'un noyau lourd, respectivement. Si la 3<sup>ème</sup> particule est un électron, l'énergie du photon doit dépasser 2044 keV (figure 1-3). On appelle cette dernière matérialisation formation de triplet, due à la présence de trois particules légères (deux électrons et un positron) dans la voie de sortie.



**Figure 1-3.** Production de paires et de triplets. A) Production de paires au voisinage d'un noyau pour une énergie  $E_\gamma = h\nu > 2m_e c^2$ . B) Production de triplets au voisinage d'un électron pour  $E_\gamma = h\nu > 4m_e c^2$  (Selmi, 2011).

Les durées de vie moyennes des positrons générés lors de la création de paires sont extrêmement brèves, car cela se produit dans des matériaux riches en électrons. En effet, le positron créé s'unit immédiatement avec l'électron le plus proche pour former deux photons de 511 keV émis dans des directions opposées. Ce processus est appelé Annihilation.



La section efficace de production de paires  $\sigma_{\text{paires}}$  et de triplets  $\sigma_{\text{triplets}}$  ne varie que faiblement avec l'énergie, tandis que sa variation avec le numéro atomique  $Z$  est importante :

$$\sigma_{\text{paires}} \propto Z^2 \quad (1 - 12)$$

$$\sigma_{\text{triplets}} \propto Z \quad (1 - 13)$$

D'ailleurs la production de paires et de triplets est prépondérante dans la gamme d'énergie  $h\nu \gg 2m_e c^2$  et  $h\nu \gg 4m_e c^2$ , respectivement.

#### d. Diffusion Rayleigh Thomson

La diffusion Rayleigh, a lieu lorsqu'un photon de longueur d'onde dépassant largement la taille de l'atome cible est diffusé élastiquement par un électron fortement lié. Ainsi, cet atome n'est ni ionisé ni excité. La longueur d'onde du photon diffusé par Rayleigh est presque identique à celle du photon incident, ce qui indique que très peu d'énergie est transférée tout au long de ce processus. On parle alors de diffusion élastique. Cependant, la direction du photon diffusé est aléatoire par rapport à celle du photon incident. Néanmoins, il existe une relation bien définie entre leurs deux phases. C'est pour cette raison que cette diffusion est dite cohérente. La diffusion Rayleigh est similaire à la diffusion Thomson à la différence près que dans cette dernière les électrons sont supposés libres et au repos. D'ailleurs, les diffusions Thomson et Rayleigh sont souvent appelées collectivement diffusion Rayleigh-Thomson. La section efficace atomique de cette dernière  $\sigma_{RT}$  varie en  $Z^2$  pour des énergies de photon  $h\nu \ll 10$  keV :

$$\sigma_{RT} \propto Z^2 \quad (1 - 14)$$

Dans le cas où l'énergie du photon  $h\nu \gg 10$  keV la section efficace varie de cette manière :

$$\sigma_{RT} \propto \frac{Z^2}{E^2} \quad (1 - 15)$$

### 1.1.2 Loi d'atténuation et sections efficaces atomiques

Chaque photon dans le faisceau qui traverse la matière peut subir l'une des nombreuses interactions dont nous avons parlé précédemment (l'Effet photoélectrique, l'Effet Compton, la Diffusion Rayleigh Thomson et l'Effet de création de paires). Cependant, leur effet global sur un faisceau de photons et le matériau qu'il traverse peut-être caractérisé par quelques relations simples. Par ailleurs, il est important de noter qu'un photon qui n'a interagi avec aucune autre particule ne perd pas d'énergie et fait toujours partie du faisceau. Donc, contrairement à un faisceau de particules massives, l'intensité du faisceau diminue à mesure qu'il traverse le matériau car les photons en interaction disparaissent du faisceau. Pour cette raison, au lieu de parler de ralentissement ou de parcours de photon dans la matière, nous utilisons le terme «libre parcours moyen<sup>4</sup>». Notez que dans la section précédente nous avons mentionné les sections efficaces de chaque processus. En effet, celles-ci sont très importantes pour l'estimation de l'atténuation des photons à travers la matière. L'atténuation d'un faisceau de rayonnement mono-énergétique d'intensité  $I_0$  peut être mesurée en plaçant un matériau d'épaisseur  $x$  entre ce faisceau et un détecteur, puis en mesurant l'intensité résiduelle  $I(x)$ .

L'intensité du faisceau  $I$  est égale au nombre de photons incidents par unité de surface et par unité de temps multiplié par l'énergie de chaque photon. Il est possible d'écrire la probabilité  $P$  d'absorption ou bien de diffusion des photons en fonction de la section efficace, et cela en considérant une épaisseur de matériau suffisamment mince :

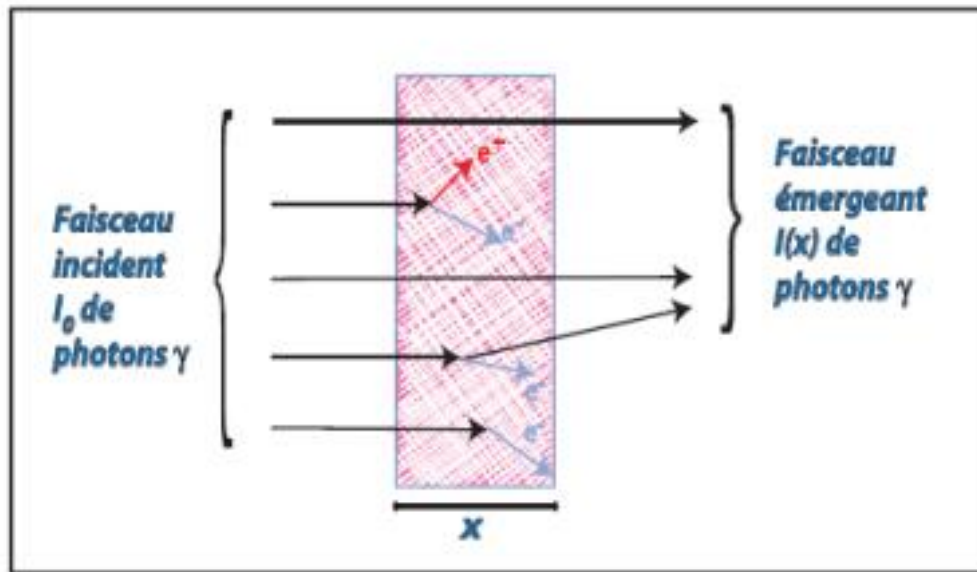
$$P = -\frac{dI}{I} = \sigma n dx \quad (1 - 16)$$

où :

- $\sigma$  est la section efficace totale d'absorption ou de diffusion d'un atome du matériau.
- $n$  est le nombre d'atomes cibles par unité de volume, donné par  $n = \rho N_A / A$ .
- $N_A$ ,  $\rho$ , et  $A$  étant: le nombre d'Avogadro, la densité atomique, et la masse atomique du matériau, respectivement.

---

<sup>4</sup> Le libre parcours moyen représente la distance moyenne que parcourt un photon avant sa première interaction.



**Figure 1-4.** Illustration du phénomène d'atténuation des photons dans la matière (Selmi, 2011).

On nomme le terme  $\mu = \sigma n$  coefficient d'atténuation linéique, son unité est le  $\text{cm}^{-1}$ . L'intégration de la relation ci-dessus donne la loi d'atténuation du faisceau de photons :

$$I(x) = I_0 e^{-\sigma n x} = I_0 e^{-\mu x} \quad (1 - 17)$$

Le coefficient d'atténuation linéique permet de déterminer si le faisceau de photons s'atténue de manière rapide ou lente lorsqu'il traverse un matériau quelconque. Toutefois, ce coefficient dépend de trois paramètres: l'énergie des photons  $h\nu$ , le type et la densité du matériau, ce qui n'est pas très commode pour la tabulation. C'est pourquoi, l'utilisation de coefficient d'atténuation massique est largement préférable :

$$\mu_m = \frac{\mu_t}{\rho} \quad (1 - 18)$$

Son unité est le  $\text{cm}^2/\text{g}$ . De plus, il est possible de définir, pour chaque type d'interactions mentionnées, un coefficient d'atténuation particulier. En effet, rappelons que les coefficients d'atténuation massique sont reliés aux sections efficaces atomiques par la relation :

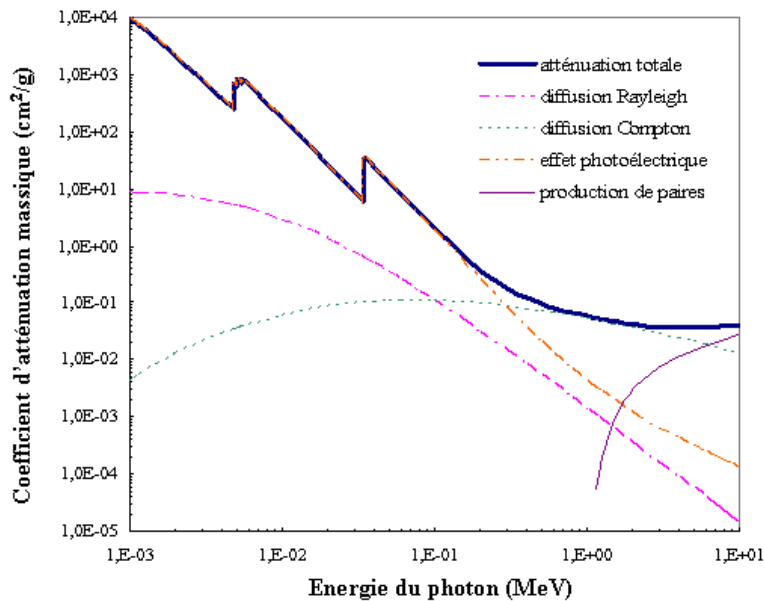
$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\sigma N_A}{A} \quad (1 - 19)$$

En tenant compte du fait que pour la plupart des éléments stables:  $A \approx 2Z$ , les coefficients d'atténuation massique, ainsi que les sections efficaces atomiques peuvent être résumés dans le tableau 1-1, en fonction des différents processus abordés précédemment. On peut remarquer que le coefficient d'atténuation massique lié à la diffusion incohérente ne dépend pas du numéro atomique  $Z$ , donc ce coefficient est indépendant du matériau choisi.

Il est intéressant de représenter l'évolution du coefficient d'atténuation massique en fonction de l'énergie pour les différents processus mentionnés, afin d'observer la contribution de chaque effet (figure 1-5). L'élément utilisé dans la figure est le plomb.

**Tableau 1-1.** Expressions des sections efficaces atomiques  $\sigma$  et coefficients d'atténuation massiques  $\mu/\rho$  selon le type de processus d'interaction (Chami, 2011).

Processus d'interaction rayonnement-matière		Section efficace atomique $\sigma$	Coefficient d'atténuation massique $\mu/\rho$
Elastiques	Rayleigh-Thomson (Cohérente)	$\propto Z^2$ ( $E < 10$ keV)	$\propto Z$ ( $E < 10$ keV)
		$\propto \frac{Z^2}{E^2}$ ( $E > 10$ keV)	$\propto \frac{Z}{E^2}$ ( $E > 10$ keV)
Inélastiques	Effet photoélectrique (Entre les seuilles)	$\propto Z^4/E^3$ (Entre les seuilles)	$\propto Z^3/E^3$ (Entre les seuilles)
	Diffusion Compton (Incohérente)	$\propto \frac{Z}{E}$ ( $E > E_K$ )	$\propto \frac{1}{E}$ ( $E > E_K$ )
	Création de paires (matérialisation au voisinage d'un noyau)	$\propto Z^2$ ( $E > 2m_0c^2$ )	$\propto Z$ ( $E > 2m_0c^2$ )
	Création de paires (matérialisation au voisinage d'un électron)	$\propto Z$ ( $E > 4m_0c^2$ )	$\propto \text{Const.}$ ( $E > 4m_0c^2$ )



**Figure 1-5.** Les différentes contributions au coefficient d'atténuation massique. Interaction de photons d'énergie allant  $10^{-3}$  à  $10$  MeV dans le Xénon liquide (Duval, 2010).

A partir de la figure 1-5, on remarque que pour l'effet photoélectrique, le coefficient d'absorption présente des discontinuités (seuils d'absorption) pour les rayonnements d'énergie qui correspondent aux énergies de liaison des électrons sur les différentes couches atomiques, car si l'énergie des photons est inférieure à l'énergie de liaison des électrons l'effet photoélectrique ne peut avoir lieu. Il est également intéressant de représenter la variation du coefficient d'atténuation massique  $\mu/\rho$  en fonction du numéro atomique  $Z$ , comme indiqué sur la figure 1-6. Le coefficient  $\mu/\rho$  a été évalué selon l'approximation de Gerward pour des énergies incidentes de 5.9, 22.6, et 59.6 keV (Rahmani, 2002). Les remarques suivantes peuvent en être déduites :

- Pour une énergie donnée, l'absorption augmente avec le numéro atomique  $Z$  de l'élément. Si les éléments lourds sont particulièrement absorbants, les éléments légers quant à eux ne le sont pas. C'est pour cela que le plomb ( $Z=82$ ) est fréquemment utilisé comme protection contre les rayons X.
- Pour un numéro atomique  $Z$ , l'absorption diminue fortement avec l'énergie des photons. Par conséquent, les photons de grandes énergies sont plus pénétrants que ceux avec de faibles énergies. C'est pourquoi dans la radiologie il ne faut pas dépasser les 150 keV, car au-delà de cette énergie les photons deviennent trop pénétrants, les os deviennent aussi transparents que les tissus mous et les contrastes disparaissent.

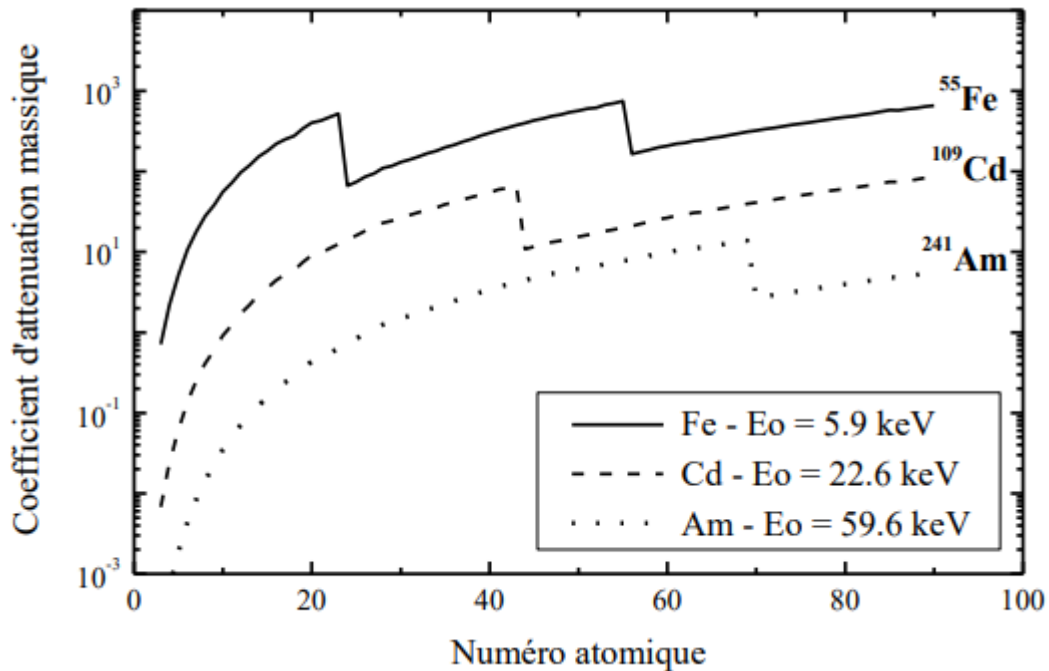


Figure 1-6. Coefficients d'absorption massiques selon l'approximation de Gerward (Rahmani, 2002).

## 1.2 Principe d'émission de rayons X

Comme il a été dit dans le début de ce chapitre, il existe plusieurs processus qui conduisent à la création de lacunes dans les couches ou sous-couches internes d'un atome. Certains de ces processus ont été expliqués en détail dans les sections précédentes : collisions photon-atome (Effet photoélectrique, Effet Compton et Effet de création de paires ( $e^-$ ,  $e^+$ )). Alors que d'autres n'ont pas été abordés dans cette thèse : collisions inélastiques de particules chargées, ionisation par impact d'électrons, capture d'électrons, et conversion interne. La lacune peut apparaître soit dans la couche externe de l'atome, soit dans l'une de ses couches internes, en fonction du type et de l'énergie de l'interaction ainsi que du numéro atomique de l'atome cible. Lorsqu'une telle lacune est créée, disons dans la sous-couche  $i$  d'une couche principale  $x$ , l'atome est laissé dans un état excité. Afin de libérer l'énergie d'excitation, un électron se déplace d'une couche/sous-couche atomique supérieure à une couche/sous-couche inférieure pour combler la lacune. Les transitions radiatives et non radiatives sont les deux manières par lesquelles la différence d'énergie de liaison entre la couche/sous-couche initiale et finale est libérée. Les photons (rayons X de fluorescence) sont émis lors des transitions radiatives, tandis que les électrons Auger, Coster-Kronig ou super Coster-Kronig sont émis lors des transitions non radiatives. Les rayons X de fluorescence faisant l'objet principal de ce chapitre, nous nous devons alors d'en parler plus en détails. Il convient donc de faire un rappel

sur les nombres quantiques, les règles de sélection les régissant et la nomenclature des rayons X, avant d'aborder les transitions radiatives et non radiatives et les paramètres qui les caractérisent.

### 1.2.1 Nombres quantiques et niveaux atomiques

La position et l'énergie de l'électron dans un atome sont décrites par un ensemble de quatre nombres quantiques. Une fonction d'onde qui satisfait l'équation de Schrödinger peut être utilisée pour exprimer la combinaison de tous les nombres quantiques de tous les électrons d'un atome. Le principe d'exclusion de Pauli stipule que deux électrons dans le même atome ne peuvent pas partager la même combinaison de quatre nombres quantiques, ce qui signifie que chaque électron dans un atome possède un ensemble unique de nombres quantiques. Ces nombres quantiques sont : le nombre quantique principal ( $n$ ), le nombre quantique secondaire (ou azimutal) ( $l$ ), le nombre quantique magnétique ( $m_l$ ) et le nombre quantique du spin électronique ( $m_s$ ). Le nombre quantique principal,  $n$ , fait référence à la taille de l'orbite et au niveau d'énergie dans lequel un électron est placé. Le nombre de sous-couches, ou  $l$ , décrit la forme de l'orbite. Le nombre quantique magnétique,  $m_l$ , distingue les [orbitales atomiques](#) au sein des [sous-couches électroniques](#), et  $m_s$  fait référence au spin de l'électron, qui peut être vers le haut ou vers le bas.

#### *Règles régissant les combinaisons autorisées de nombres quantiques*

- Les trois nombres quantiques ( $n$ ,  $l$  et  $m_l$ ) qui décrivent une orbitale sont des entiers : 0, 1, 2, 3, etc., tandis que les valeurs possibles du nombre quantique de spin électronique  $m_s$  sont  $+1/2$  et  $-1/2$ .
- Le nombre quantique principal ( $n$ ) ne peut pas être nul. Les valeurs autorisées de  $n$  sont donc 1, 2, 3, 4, etc.
- Le nombre quantique azimutal ( $l$ ) peut être n'importe quel nombre entier entre 0 et  $n - 1$ . Si  $n = 3$ , par exemple,  $l$  peut être 0, 1 ou 2.
- Le nombre quantique magnétique ( $m_l$ ) peut être n'importe quel nombre entier entre  $-l$  et  $+l$ . Si  $l = 2$ ,  $m_l$  peut être soit -2, -1, 0, +1 ou +2.

### 1.2.2 Couplage LS et règle de sélection

Les quatre nombres quantiques  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  et  $m_s$  déterminent l'état des électrons atomiques dans le cas où il n'y a pas d'interaction entre les moments cinétiques orbital et de spin. Sauf qu'en réalité, ces deux moments (orbital et de spin) sont bien couplés, ce qui donne, pour chaque électron, l'état quantique du vecteur couplé  $\vec{j} = \vec{l} + \vec{s}$ , qui est déterminé par les nombres quantiques  $j$  et  $m_j$  avec

$$j = |l \pm s| = \left| l \pm \frac{1}{2} \right| \text{ et } -j < m_j < +j \quad (1 - 20)$$

Donc, en tenant compte du couplage spin-orbite, l'état des électrons est déterminé par les quatre nombres quantiques,  $n, l, j$  et  $m_j$ . Les principales transitions autorisées pour les raies X, dites «normales», sont déterminées par les règles de sélection suivantes :  $\Delta l = +1, -1$  et  $\Delta j = 0, +1, -1$ . Celles-ci sont basées sur les règles de sélection des dipolaires électriques. D'autres transitions peuvent avoir lieu selon les règles de sélection quadripolaires électriques et des dipolaires magnétiques, mais l'intensité de ces transitions est nettement moins importante que celle des transitions résultant des règles de sélection dipolaires électriques. Plus de détails seront donnés dans la section «1.2.3 Nomenclature». La probabilité d'observer une transition est définie par le taux de transition. A ce sujet, Scofield (1974) et Salem (1974) ont créé des tables qui rassemblent les valeurs théoriques et expérimentales des taux de pratiquement toutes les transitions possibles au sein de chaque atome du tableau périodique. La

probabilité pour qu'il y ait une transition radiative (émission de fluorescence X), au lieu d'une transition non radiative (Auger ou bien Coster-Kronig), est exprimée par le rendement de fluorescence. Dans les sections qui suivent nous expliquerons qu'est-ce qu'une transition radiative, non radiative ainsi que les rendements de fluorescence, Auger et de Coster-Kronig. En spectroscopie des rayons X, on identifie l'état d'un atome en se référant à la notation  $nlj$  qui est généralement utilisée en physique nucléaire, telle que  $1s_{1/2}$ ,  $2s_{1/2}$ ,  $2p_{1/2}$ , etc. En outre, on désigne les couches atomiques par les lettres K, L, M, etc. Toutefois, une résolution plus élevée révèle la division de ces couches atomiques, par exemple la couche K a l'état le plus lié, donc  $1s_{1/2}$ , et ne se divise pas. En revanche la couche se trouvant au-dessus (L) se divise en trois sous-niveaux, nommés  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  conformes aux états  $2s_{1/2}$ ,  $2p_{1/2}$  et  $2p_{3/2}$ . La couche qui suit (M) se divise en 5 sous-couches  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$ , et  $M_5$  qui correspondent aux cinq états  $3s_{1/2}$ ,  $3p_{1/2}$ ,  $3d_{3/2}$ ,  $3d_{5/2}$  et ainsi de suite. Le tableau 1-2 répertorie la correspondance entre les nombres quantiques ( $n, l$  et  $j$ ), où  $j = l \pm 1/2$ , et les différentes couche et sous-couches atomiques, ainsi que leurs notations spectroscopiques. Le nombre d'occupation  $2j + 1$  est également mentionné.<sup>5</sup>

**Tableau 1-2.** Correspondance entre les nombres quantiques ( $n, l$  et  $j$ ), sachant que  $j = l \pm 1/2$ , le nombre d'occupation, les couche et sous-couches atomiques, ainsi que leurs notations spectroscopiques.

Couche	Sous-couche	$n$	$l$	$j$	$2j + 1$	Notation spectroscopique
K	K	1	0	1/2	2	$1s_{1/2}$
L	$L_1$	2	0	1/2	2	$2s_{1/2}$
	$L_2$	2	1	1/2	2	$2p_{1/2}$
	$L_3$	2	1	3/2	4	$2p_{3/2}$
M	$M_1$	3	0	1/2	2	$3s_{1/2}$
	$M_2$	3	1	1/2	2	$3p_{1/2}$
	$M_3$	3	1	3/2	4	$3p_{3/2}$
	$M_4$	3	2	3/2	4	$3d_{3/2}$
	$M_5$	3	2	5/2	6	$3d_{5/2}$
N	$N_1$	4	0	1/2	2	$4s_{1/2}$
	$N_2$	4	1	1/2	2	$4p_{1/2}$
	$N_3$	4	1	3/2	4	$4p_{3/2}$
	$N_4$	4	2	3/2	4	$4d_{3/2}$
	$N_5$	4	2	5/2	6	$4d_{5/2}$
	$N_6$	4	3	5/2	6	$4f_{5/2}$
	$N_7$	4	3	7/2	8	$4f_{7/2}$

### 1.2.3 Nomenclature

Les raies X ont deux systèmes de nomenclature distincts utilisés aujourd'hui ; l'un est historique et provient du scientifique suédois M. Siegbahn (par exemple,  $K\alpha_1$ ), et l'autre est systématique et est conseillé par l'Union de chimie pure et appliquée IUPAC (par exemple,  $K-L_3$ ). Dans le système IUPAC, les lettres correspondant aux couches/sous couches qui contiennent les lacunes initiales et finales sont écrites explicitement, séparées par un trait d'union, par exemple,  $K-L_3$  indique une transition radiative à partir de la sous-couche  $L_3$  jusqu'à la couche K, et  $K-M_1-M_3$  indique une transition non radiative mettant en jeu la couche K et les deux sous-couches  $M_1$  et  $M_3$ . Alors que dans la notation de Siegbahn, la désignation des raies X se fait par la lettre correspondant à la couche/sous-couche contenant la lacune initiale suivie d'une lettre grecque et, dans certains cas, d'un indice et d'un exposant numériques, par

<sup>5</sup> Le nombre d'occupation  $2j + 1$  indique le nombre maximal d'électrons pouvant tenir dans une sous-couche.

exemple,  $K\beta_4^{II}$  (pour  $K-N_4$ ). Cette dernière nomenclature a été développée uniquement pour les transitions radiatives et c'est celle que nous utiliserons dans ce travail. Les "transitions permises" sont mentionnées dans la figure 1-7, et toute autre transition est dite "transition interdite" car elle n'est pas autorisée par les règles de sélection données dans la section précédente, où  $\Delta l = \pm 1$  et  $\Delta j = 0, \pm 1$ . Une transition  $M_1 (2s_{1/2}) - L_1 (3s_{1/2})$  nuit à la première condition, alors qu'une transition  $M_5-L_2$  nuit à la seconde. Les "transitions permises" sont les transitions radiatives les plus probables pendant la phase de relaxation. Cependant, les soi-disant "transitions interdites" ne sont pas réellement "interdites", mais plutôt extrêmement improbables, sauf dans les cas où les transitions dipolaires électriques ne peuvent pas avoir lieu. Par exemple, une transition radiative  $K-L_1$  est interdite par le critère de sélection  $\Delta l = \pm 1$ . Mais en raison de multipôles plus élevés, la probabilité de transition radiative  $K-L_1$  existe toujours et contribue aux lacunes de la couche L.

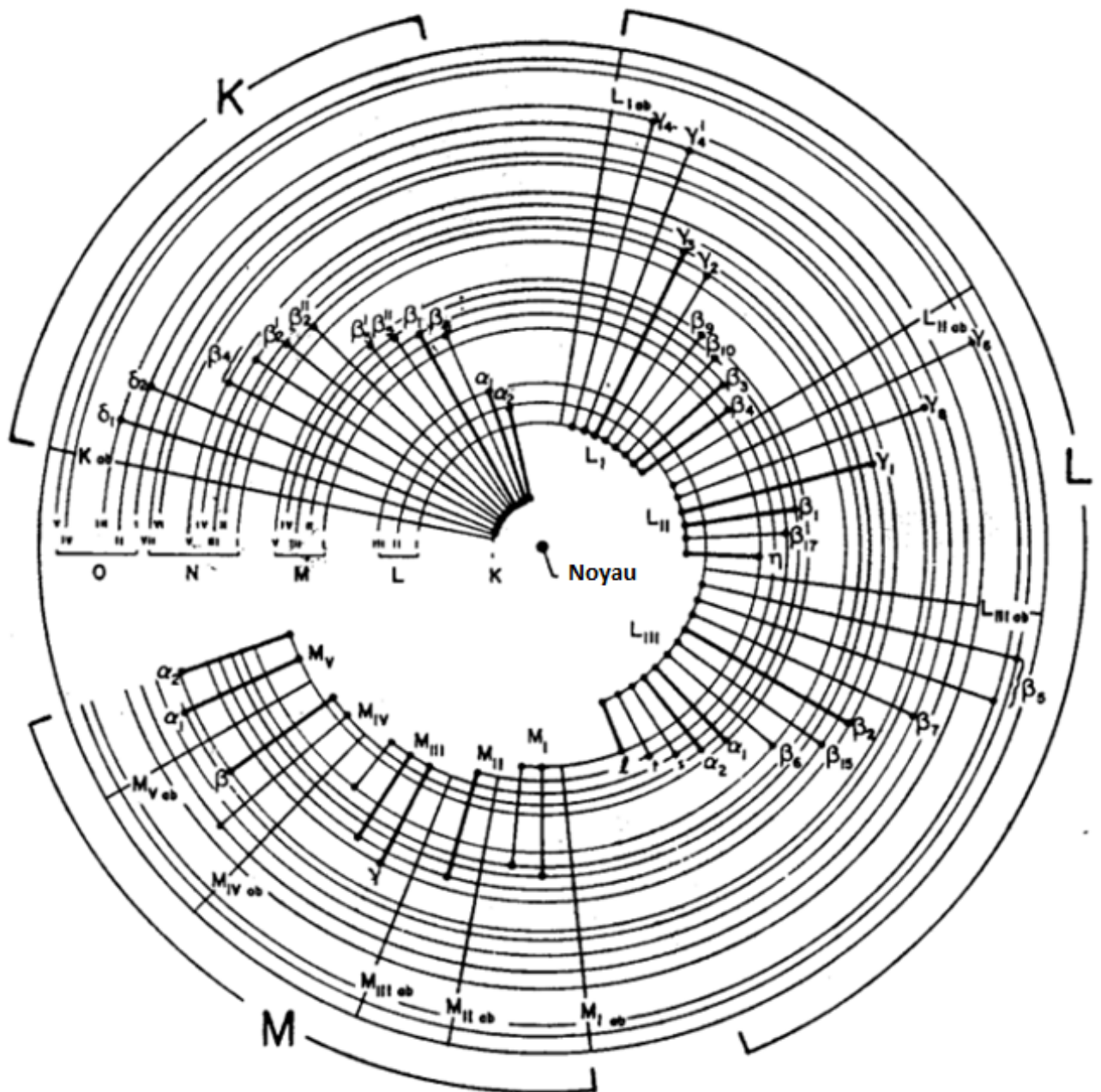


Figure 1-7. Correspondance entre notation spectroscopiques et couches électroniques (Woldseth, 1974).

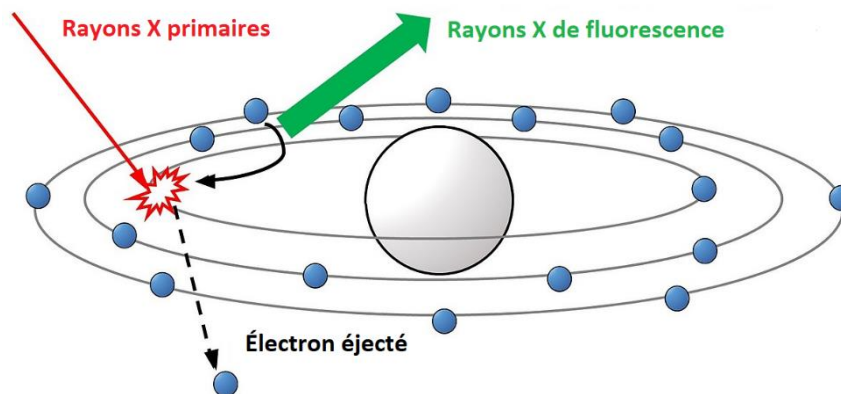
## 1.2.4 Transitions radiatives et non radiatives

### a. Fluorescence

Dans le cas d'une transition radiative, un électron transite d'une sous-couche supérieure  $j$  vers une sous-couche inférieure  $i$  afin de combler la lacune créée. On peut dire, de façon équivalente, qu'un trou dans la couche  $i$  transite vers la couche  $j$ . L'énergie du photon émis est donnée par :

$$E_{\gamma} = E_j - E_i \quad (1 - 21)$$

où  $E_i$  et  $E_j$  sont les énergies de liaison des sous-couches  $i$  et  $j$ , respectivement. Les photons émis sont appelés rayons X caractéristiques ou bien rayons X de fluorescence (figure 1-8).



**Figure 1-8.** Emission de rayons X de fluorescence (tirée de [What is X-ray Fluorescence \(XRF\) \(horiba.com\)](http://horiba.com)).

Le spectre de rayons X se présente comme la superposition de ces raies «caractéristiques» et d'un fond continu «non caractéristique» constitué de rayonnements dans le même domaine d'énergie (~ 0,5 à 100 keV) généralement dus à l'accélération/freinage de particules chargées. La raison pour laquelle les rayons X caractéristiques sont ainsi nommés est que leurs énergies sont bien définies, tout comme les énergies de liaison des électrons dans les différentes orbites d'un atome. Ainsi, ces raies caractéristiques établissent une signature fidèle de l'élément. En plus du fait que les énergies des rayons X caractéristiques diffèrent d'un élément à l'autre, elles augmentent avec le numéro atomique  $Z$  de l'atome émetteur comme le montre la figure 1-9. En effet, la loi de Moseley stipule que la variation d'énergie des rayons X émis lorsqu'un un électron transite d'une couche supérieure de nombre quantique principal  $n_2$  vers une couche inférieure de nombre quantique principal  $n_1$ , est la suivante : (Moseley, 1913 ; Whitaker, 1999)<sup>6</sup>

$$E = R_y(Z - s)^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1 - 22)$$

où  $R_y$  est la constante de Rydberg, tandis que  $s$  est la constante d'écran. De nombreuses tables contenant des mesures d'énergies des rayons X caractéristiques de différents éléments du tableau périodique ont été publiées. Il convient de noter qu'il est fréquent qu'un nombre de transitions radiatives provoquent l'émission de rayons X caractéristiques d'énergie presque identiques. Il est donc habituel d'employer une notation qui couvre plusieurs transitions car leurs raies spectrales mesurées ne peuvent être distinguées. Par exemple la raie  $K\beta_2$  en notation Siegbahn qui correspond à la raie  $K-N_{2,3}$  en notation IUPAC englobe les deux transitions  $K-N_2$  et  $K-N_3$ .

<sup>6</sup> En 1999, Whitaker a modifié la loi de Moseley, qui a été publiée pour la première fois en 1914, afin d'y appliquer le modèle de Bohr et créer la soi-disant relation Bohr-Moseley.

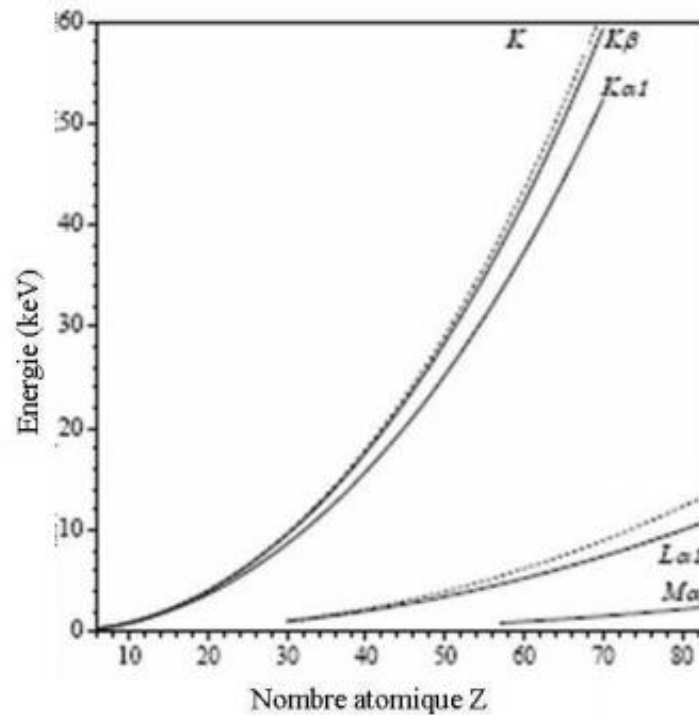


Figure 1-9. L'énergie d'émission X en fonction du numéro atomique Z (Bearden, 1967).

### b. Emission Auger et Coster-Kronig

Pour une transition  $i-j-k$  non radiative, une lacune dans la couche (ou sous-couche)  $i$  est remplie par un électron d'une couche (ou sous-couche) supérieure  $j$  et simultanément, un électron d'une couche (ou sous-couche)  $k$  est émis avec une énergie:

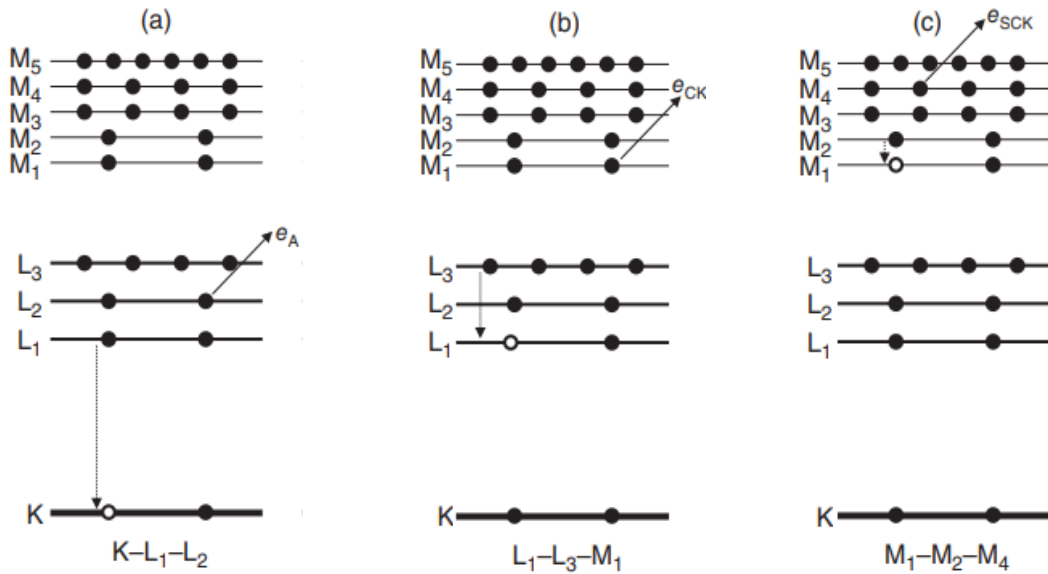
$$E_a = E_i - (E_j + E_k) \quad (1 - 23)$$

où  $E_i$ ,  $E_j$ ,  $E_k$  sont les énergies de liaison des sous-couches  $i$ ,  $j$ , et  $k$ , respectivement. Les transitions non radiatives peuvent être classées en transitions Auger, Coster-Kronig et Super Coster-Kronig selon les sous-couches impliquées :

- La transition est dite transition Auger lorsque les sous couches  $j$  et  $k$  se trouvent dans des couches différentes de celle où la lacune initiale a été créée (la sous-couche  $i$ ). La figure 1-10 (a) illustre la transition  $K-L_1-L_2$  qui est une transition Auger : La lacune créée dans la couche K est comblée par un électron de la sous-couche  $L_1$ , tandis qu'un électron  $e_A$  de la sous-couche  $L_2$  est émis. La transition Auger est dite « transition inter-couches »

- La transition est dite transition «Coster-Kronig» lorsque les sous-couches  $i$  et  $j$  appartiennent à la même couche. La figure 1-10 (b) illustre la transition  $L_1-L_3-M_1$  qui est une transition Coster-Kronig: La lacune créée dans la sous-couche  $L_1$  est comblée par un électron d'une sous-couche ( $L_3$ ) supérieure de la même couche. Cela est suivi par l'émission d'un électron  $e_{ck}$  d'une couche supérieure (M). La transition Coster-Kronig est dite « transition intra-couches »

- La transition est dite transition «Super Coster-Kronig» lorsque les trois sous-couches impliquées  $i$ ,  $j$  et  $k$  appartiennent à la même couche. La figure 1-10 (c) illustre la transition  $M_1-M_2-M_4$  qui est une transition Super Coster-Kronig: La lacune initiale, l'électron qui comble cette lacune ainsi que l'électron émis  $e_{sck}$  appartiennent tous à la même couche. La transition est aussi dite «transition intra-couches»



**Figure 1-10.** Schéma illustratif des transitions non-radiatives suivantes : (a) Auger, (b) Coster-Kronig, et (c) Super Coster-Kronig (Andreo, 2017).

La fluorescence et l'émission Auger sont deux phénomènes en compétition. La figure 1-11 illustre comment le numéro atomique  $Z$  influence la probabilité pour que la transition électronique se déroule selon l'une des deux voies. La probabilité d'émission des rayons X de fluorescence est déterminée à travers une quantité qu'on appelle le rendement de fluorescence, tandis que la probabilité d'émission d'électrons Auger est définie à travers le rendement Auger. Nous parlerons dans la section suivante plus en détails de ces rendements et des relations qui les définissent. A partir de la figure 1-11 nous constatons que l'effet Auger est beaucoup plus probable que la fluorescence X pour des éléments avec un faible numéro atomique. Pour la couche K, les deux courbes se rejoignent à  $Z = 32$  qui est le numéro atomique du germanium. Notez que l'émission Auger (Aussi valable pour l'émission de Coster-Kronig ou bien Super Coster-Kronig) engendre une lacune supplémentaire dans l'ion, ce qui signifie que ses transitions entraînent la production de deux lacunes électroniques, contrairement à l'émission radiative dont les transitions ne génèrent qu'une seule lacune au sein de l'atome.

### 1.2.5 Rendement de fluorescence

Pour rappel, lorsqu'une lacune est créée (disons dans une sous-couche  $i$  d'une couche  $S$ ), l'atome dès lors excité, peut libérer de l'énergie selon deux voies principales : radiatives (émission de fluorescence) et non-radiatives (Auger et Coster-Kronig). La seule différence entre l'émission Auger et Coster-Kronig est que dans cette dernière la lacune initiale est comblée par un électron provenant d'une orbitale (sous-couche) de même nombre quantique principal  $n$ , alors que dans l'effet Auger l'électron qui comble la lacune initiale a pour origine une couche de nombre quantique principal  $n'$  différent de  $n$  ( $n' > n$ ). Ces trois voies principales de désexcitation peuvent être mesurées par les rendements suivants :

1. Rendement de fluorescence,  $\omega_i^S$ , qui est la probabilité qu'une lacune dans la couche  $S$  soit remplie via une transition radiative à partir de l'une des couches extérieures.
2. Rendement Auger  $a_i^S$ , qui est la probabilité qu'une lacune dans la couche  $S$  soit remplie via un processus Auger à partir de l'une des couches extérieures.
3. Le rendement de Coster-Kronig,  $f_{ij}^S$ , qui est la probabilité qu'une lacune soit déplacée de la sous-couche  $i$  vers la sous-couche  $j$  au sein de la couche principale  $S$ , avec éjection d'un électron d'une couche externe.

Par conséquent, en prenant pour exemple la couche L ( $S=L$ ) qui est composée de 3 sous-couches  $L_1$ ,  $L_2$ , et  $L_3$ , nous obtenons 9 rendements de fluorescences :

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	Rendement de fluorescence
$a_1$	$a_2$	$a_3$	Rendement Auger
$f_{12}, f_{13}$	$f_{23}$		Rendement Coster-Kronig

Evidemment, ces rendements sont reliés par la relation suivante :

$$\omega_i + a_i + \sum_{j>i} f_{ij} = 1 \quad (1 - 25)$$

Cette équation peut être écrite séparément pour chaque sous-couche :

$$\omega_3 + a_3 = 1 \quad (1 - 26)$$

$$\omega_2 + a_2 + f_{23} = 1 \quad (1 - 27)$$

$$\omega_1 + a_1 + f_{12} + f_{13} = 1 \quad (1 - 28)$$

En se référant à la définition mentionnée en haut, mais ne tenant pas compte de la division des couches en sous-couches, le rendement de fluorescence peut être exprimé par la relation suivante :

$$\omega_s = \frac{N_x}{N_x + N_A} \quad (1 - 29)$$

$N_x$  et  $N_A$  étant respectivement les nombres de rayons X et d'électrons Auger émis lors du processus de désexcitation d'un atome. Notez qu'il est possible de calculer le rendement de fluorescence pour les couches K et L en utilisant une expression polynomiale d'ordre 3 en Z (Cohen, 1987)<sup>7</sup> :

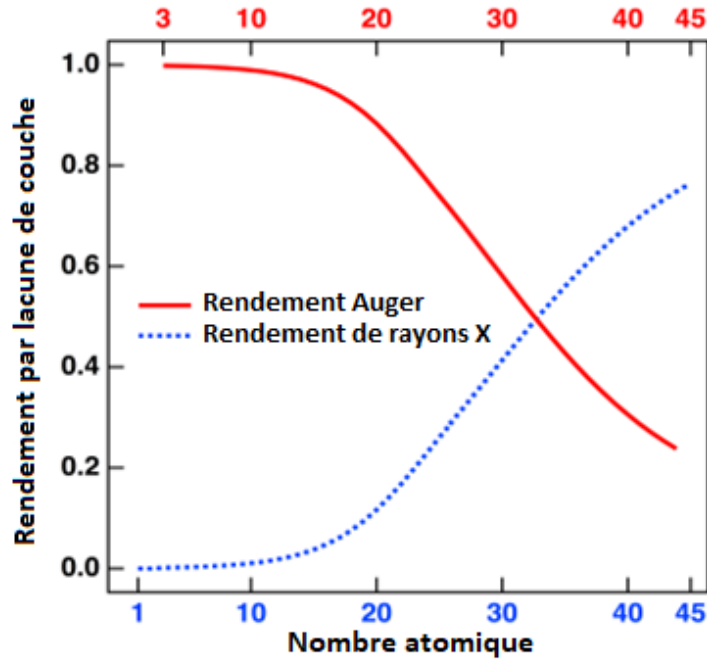
$$\left| \frac{\omega_{s'}}{1 - \omega_{s'}} \right|^{\frac{1}{4}} = \sum_{i=0}^3 a_i Z^i \quad (1 - 30)$$

Rappelons que dans la figure 1-11 il a été montré que par opposition au rendement Auger, le rendement de fluorescence augmentait avec le numéro atomique Z. La figure 1-12 indique que pour un élément donné, cette augmentation pour la couche K est supérieure à celle pour les sous-couches  $L_i$ . Le rendement de fluorescence peut également être défini en fonction des sections efficaces. En effet, pour les couches K, on a :

$$\omega_K = \frac{\sigma_K^X}{\sigma_K^I} \quad (1 - 31)$$

où  $\sigma_K^X$  et  $\sigma_K^I$  sont la section efficace de production de photons émis et la section efficace d'ionisation, respectivement.

<sup>7</sup> Le calcul semi-empirique des rendements de fluorescence sera abordé plus en détail dans la section (3.2 Calcul Semi-empirique)



**Figure 1-11.** Rendement de fluorescence (courbe bleue en pointillés) et probabilité d'émission d'électrons Auger (courbe rouge continue) en fonction du numéro atomiques  $Z$  (Tirée de [Auger electron spectroscopy - Wikiwand](#)). La fonction utilisée pour représenter le rendement de fluorescence est celle représentée dans l'équation (1 – 30).

Toutefois, on sait que les couches supérieures à la couche K sont composées de plusieurs sous couches. De plus, il est probable que des transitions de Coster-Kronig se produisent. Ce qui rend la définition du rendement de fluorescence plus compliquée. Considérons le cas où il n'y a pas de transitions de Coster-Kronig, le rendement de fluorescence de la sous-couche  $i$  de la couche  $S$ , sera donc écrit comme suit :

$$\omega_{Si} = \frac{\sigma_{Si}^X}{\sigma_{Si}^I} \quad (1 - 32)$$

Pour obtenir le rendement total  $\omega_S$  de la couche  $S$ , il suffit de faire la somme de cette manière :

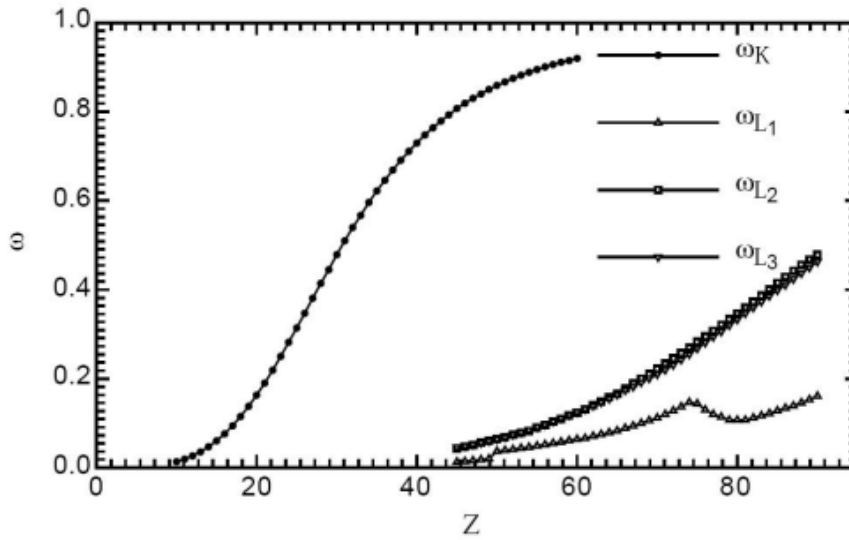
$$\omega_S = \sum_{i=1}^K N_{Si} \omega_{Si} \quad (1 - 33)$$

Ici  $N_{Si}$  représente la section efficace d'ionisation relative de la sous-couche  $i$  appartenant à la couche  $S$ , et est défini par :

$$N_{Si} = \frac{\sigma_{Si}^I}{\sum_i \sigma_{Si}^I} \quad (1 - 34)$$

Evidemment, la somme de  $N_{Si}$  est égale à 1. Maintenant, incluons les transitions Coster-Kronig. Il faut noter que ces transitions transfèrent les lacunes d'une sous-couche à une autre moins énergétique, modifiant ainsi la distribution des sous-couches ionisées. Dans ce cas-là, le rendement de fluorescence est défini par :

$$\omega_S = \sum_{i=1}^K V_{Si} \omega_{Si} \quad (1 - 35)$$



**Figure 1-12.** Variation du rendement de fluorescence pour les couches K et sous-couches  $L_i$  en fonction du numéro atomique  $Z$  (Tertian, 1982).

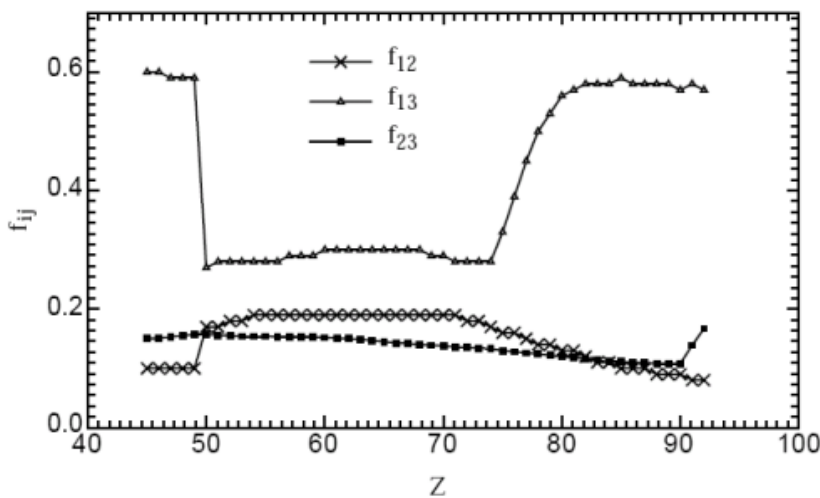
$V_{Si}$  étant les sections efficaces d'ionisation relatives de la sous-couche  $i$  de la couche  $S$ , en tenant compte des ionisations issues des transitions de Coster-Kronig.

$$V_{S1} = N_{S1} \quad (1 - 36)$$

$$V_{S2} = N_{S2} + f_{12}^S N_{S1} \quad (1 - 37)$$

$$V_{S3} = N_{S3} + f_{23}^S N_{S2} + (f_{13}^S + f_{12}^S + f_{23}^S) N_{S1} \quad (1 - 38)$$

Pour rappel,  $f_{ij}^S$  est le rendement de Coster-Kronig. Nous l'avons défini comme étant la probabilité qu'une lacune soit déplacée de la sous-couche  $i$  vers la sous-couche  $j$ . La figure 1-13 montre que, pour des éléments avec un numéro atomique inférieur à 50, la probabilité pour déplacer une lacune de la sous-couche  $L_1$  vers la sous-couche  $L_3$  ( $f_{13}$ ) est nettement supérieure à celle pour déplacer une lacune de la sous-couche  $L_2$  vers la sous-couche  $L_3$  ( $f_{23}$ ), ou bien de la sous-couche  $L_1$  vers la sous-couche  $L_2$  ( $f_{12}$ ). Cette dernière étant la moins importante. Pour  $50 < Z < 74$ ,  $f_{13}$  chute de façon considérable, mais reste tout de même supérieure à  $f_{12}$  et  $f_{23}$ . Cette dernière devenant la plus basse dans cette gamme de numéro atomique. Finalement pour  $Z > 74$ ,  $f_{12}$  augmente de nouveau jusqu'à atteindre un seuil à 82.



**Figure 1-13.** Rendement de Coster-Kronig  $f_{12}$ ,  $f_{13}$  et  $f_{23}$  en fonction du numéro atomique  $Z$  (Tertian, 1982).

### 1.2.6 Taux de transitions

Le taux de transition  $W_{ij}$  entre les niveaux  $i$  et  $f$ , avec énergies  $E_i$  et  $E_f$ , respectivement, est défini comme la probabilité par unité de temps d'observer une transition directe de  $i$  à  $f$ . Il peut être divisé en taux de transitions radiatives  $W_{ij}^R$  et non radiatives  $W_{ij}^{NR}$ :

$$W_{ij} = W_{ij}^R + W_{ij}^{NR} \quad (1 - 39)$$

D'autres paramètres atomiques fondamentaux peuvent être obtenus, dont le rendement de fluorescence  $\omega$ . En effet, pour une configuration atomique A à un trou,  $\omega$  peut être exprimé comme suit (Guerra, 2021) :

$$\omega_A = \frac{\sum_{if} g_i W_{if}^R}{\sum_{if} g_i (W_{if}^R + W_{if}^{NR})} \quad (1 - 40)$$

où la somme en  $i$  se fait sur tous les niveaux initiaux appartenant à la configuration A, tandis que la somme en  $f$  se fait sur tous les niveaux atomiques finaux possibles. Rappelons qu'en l'absence de champs extérieurs, les énergies de ces états sont dégénérées dans le moment magnétique total, c.-à-d. qu'il existe  $2J_i + 1$  états d'énergies identiques. Ainsi, dans l'équation (1 - 40) le terme  $g_i = 2J_i + 1$  indique la dégénérescence du niveau initial.

### 1.2.7 Largeurs de niveaux atomiques

Les états excités d'un atome ont une durée de vie finie  $\tau$ , donc, de manière équivalente, ces états n'ont pas une énergie bien définie. On parle alors de largeur du niveau atomique  $\Gamma_i$ . Elle est donnée par la somme de toutes les probabilités de transitions autorisées de ce niveau vers tous les niveaux d'énergie inférieure, à la fois par l'émission d'un photon (radiatif)  $W_{if}^R$ , et par l'émission d'un électron (non-radiatif)  $W_{if'}^{NR}$ , multiplié par  $\hbar$  (Ito, 2016)

$$\Gamma_i = \hbar \left( \sum_{f'} W_{if'}^R + \sum_{k'} W_{ik'}^{NR} \right) \quad (1 - 41)$$

où l'indice  $f'$  représente tous les niveaux à un trou vers lesquels le niveau initial  $i$  peut se désintégrer radiativement, et l'indice  $k'$  représente tous les niveaux à deux trous vers lesquels le niveau  $i$  peut se désintégrer via une émission non-radiative. La largeur d'une transition quelconque ne dépend pas uniquement du taux de transition du niveau  $i$  jusqu'au niveau  $f$ , mais également de toutes les voies de désintégration possibles que l'atome peut subir, à la fois du niveau initial et du niveau final. Par conséquent, nous pouvons dire que la largeur d'une transition est égale à la somme des largeurs de ses niveaux initial et final (Guerra, 2021) :

$$\Gamma_{if} = \Gamma_i + \Gamma_f \quad (1 - 42)$$

Une "ligne" de rayons X ou en d'autres termes une "raie", telle que  $K\alpha_1, K\alpha_2, K\beta_1 \dots$  est typiquement constituée d'un multiplet de lignes issues de niveaux de structure fine. Donc afin de calculer la largeur de ligne, il faudrait faire la somme de l'équation (1 - 42) pour tous les niveaux initial et final  $i$  et  $f$ , respectivement, dans le collecteur de lignes de rayons X.

$$\Gamma_{A-B} = \frac{\sum_{if} g_i \Gamma_{if}}{\sum_i g_i} \quad (1 - 43)$$

Les sommes se font sur les niveaux initiaux  $i$  appartenant à la configuration à un trou A et sur les niveaux finaux  $f$  appartenant à la configuration à un trou B. Par exemple, la largeur de transition du multiplet  $K\alpha_1$  est obtenue en faisant la somme des niveaux K et  $L_3$ . Gardons à l'esprit que K représente tous les niveaux de structure fine qui proviennent d'une configuration contenant un trou dans la couche K. Il en va de même pour la sous-couche  $L_3$ . L'intensité de chaque transition individuelle est obtenue par l'expression (Guerra, 2021) :

$$I_{if} = N_i \frac{g_i}{g} \frac{W_{if}^R}{\sum_f W_{if}^R + \sum_k W_{ik}^{NR}} \quad (1 - 44)$$

où  $N_i$  est un facteur d'échelle qui représente le taux de formation des ions au niveau  $i$  par unité de volume, supposé ici égal pour tous les niveaux. La somme des multiplicités de tous les niveaux possibles dans la sous-couche que contient le niveau  $i$  est décrite par le facteur  $g$ .  $W_{if}^R$  représente le taux radiatif d'une transition du niveau  $i$  à un trou au niveau  $f$  à un trou, tandis que  $W_{ik}^{NR}$  correspond à un taux de transition non-radiative entre le niveau  $i$  à un trou et le niveau  $k$  à deux trous. Le rapport de deux intensités de raie appartenant à la même configuration initiale, tel que le rapport  $K\beta/K\alpha$ , ne dépend que des taux de transition radiative, et peut s'écrire :

$$\frac{I_{A-B}}{I_{A-C}} = \frac{\sum_{if} g_i W_{if}^R}{\sum_{if'} g_i W_{if'}^R} \quad (1 - 45)$$

où la somme en  $f$  se fait sur tous les niveaux appartenant à la configuration à un trou B et la somme en  $f'$  est sur tous les niveaux appartenant à la configuration à un trou C. Dans l'équation (1 - 44), le terme  $g_i/g$  représente la probabilité qu'un ion donné reste au niveau  $i$  après ionisation, en supposant que tous les états sont équiprobables. Cette approximation n'est valable que si les sections efficaces pour la création des trous sont similaires. Notez que si l'on compare des pics qui proviennent des mêmes niveaux, ce facteur est le même pour les deux. En considérant toutes les transitions composant les raies  $K\alpha$  et  $K\beta$ , le rapport  $K\beta/K\alpha$  peut être exprimé comme suit <sup>8</sup>:

$$\left(\frac{K\beta}{K\alpha}\right) = \frac{\sum_i(2J_i + 1) [\sum_{j_3} W_{ij_3}^R (KM_3) + \sum_{j_4} W_{ij_4}^R (KM_2) + \sum_{j_5} W_{ij_5}^R (KM_{45}) + \sum_{j_6} W_{ij_6}^R (KN_{23}) + \sum_{j_7} W_{ij_7}^R (KN_{45})]}{\sum_i(2J_i + 1) [\sum_{j_1} W_{ij_1}^R (KL_3) + \sum_{j_2} W_{ij_2}^R (KL_2)]} \quad (1 - 46)$$

De même pour les autres rapports sur lesquels nous avons travaillé :  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$

$$\left(\frac{K\alpha_2}{K\alpha_1}\right) = \frac{\sum_i(2J_i + 1) \sum_{j_2} W_{ij_2}^R (KL_2)}{\sum_i(2J_i + 1) \sum_{j_1} W_{ij_1}^R (KL_3)} \quad (1 - 47)$$

$$\left(\frac{K\beta'_1}{K\alpha_1}\right) = \frac{\sum_i(2J_i + 1) [\sum_{j_2} W_{ij_2}^R (KM_3) + \sum_{j_3} W_{ij_3}^R (KM_2) + \sum_{j_4} W_{ij_4}^R (KM_{45})]}{\sum_i(2J_i + 1) \sum_{j_1} W_{ij_1}^R (KL_3)} \quad (1 - 48)$$

$$\left(\frac{K\beta_2}{K\alpha_1}\right) = \frac{\sum_i(2J_i + 1) [\sum_{j_2} W_{ij_2}^R (KN_{23}) + \sum_{j_3} W_{ij_3}^R (KN_{23})]}{\sum_i(2J_i + 1) \sum_{j_1} W_{ij_1}^R (KL_3)} \quad (1 - 49)$$

<sup>8</sup> Pour simplifier, nous allons utiliser ici la notation  $\left(\frac{K\beta}{K\alpha}\right) \equiv \left(\frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}}\right)$

$$\left(\frac{K\beta'_2}{K\alpha_1}\right) = \frac{\sum_i(2J_i + 1)[\sum_{j_2} W_{ij_2}^R(\text{KN}_{23}) + \sum_{j_3} W_{ij_3}^R(\text{KN}_{45})]}{\sum_i(2J_i + 1) \sum_{j_1} W_{ij_1}^R(\text{KL}_3)} \quad (1 - 50)$$

$$\left(\frac{K\beta'_2}{K\beta'_1}\right) = \frac{\sum_i(2J_i + 1)[\sum_{j_4} W_{ij_4}^R(\text{KN}_{23}) + \sum_{j_5} W_{ij_5}^R(\text{KN}_{45})]}{\sum_i(2J_i + 1)[\sum_{j_1} W_{ij_1}^R(\text{KM}_3) + \sum_{j_2} W_{ij_2}^R(\text{KM}_2) + \sum_{j_3} W_{ij_3}^R(\text{KM}_{45})]} \quad (1 - 51)$$

$$\left(\frac{K\beta_3}{K\beta_1}\right) = \frac{\sum_i(2J_i + 1) \sum_{j_2} W_{ij_2}^R(\text{KM}_2)}{\sum_i(2J_i + 1) \sum_{j_1} W_{ij_1}^R(\text{KM}_3)} \quad (1 - 52)$$

Il convient de mentionner, qu'il est possible de calculer les sections efficaces de production des rayons X  $\sigma_{K\alpha}^X$  et  $\sigma_{K\beta}^X$  à partir du rapport  $K\beta/K\alpha$  et du rendement de fluorescence de la couche K,  $\omega_K$  :

$$\sigma_{K\alpha}^X = \frac{1}{1 + \left(\frac{K\beta}{K\alpha}\right)} \omega_K \sigma_K^I \quad (1 - 53)$$

$$\sigma_{K\beta}^X = \frac{1}{1 + \left(\frac{K\beta}{K\alpha}\right)^{-1}} \omega_K \sigma_K^I \quad (1 - 54)$$

où  $\sigma_K^I$  représente la section efficace d'ionisation de la couche K. Pour rappel, les sections efficaces  $\sigma_K^X$  et  $\sigma_K^I$  sont définies comme étant la probabilité d'émission de rayons X et la probabilité d'ionisation de la couche K lors de l'interaction d'une particule avec le cortège électronique, respectivement. Elles ont une dimension de surface et sont exprimées en barn ( $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ ). Dans ce travail, les rapports  $R$  ont été déterminés de deux manières différentes, la première a été de les extraire directement des articles qui les mesuraient expérimentalement afin de les utiliser pour effectuer les calculs semi-empiriques (les détails du calcul seront donnés dans le chapitre suivant). Tandis que la deuxième manière a consisté à les calculer théoriquement à l'aide des relations allant de (1 - 46) jusqu'à (1 - 52), où les taux de transition  $W_{ij}$  ont été calculés par José Pires Marques et Jorge Miguel Sampaio à partir du code MCDFGME basé sur la méthode de calcul Multi-configurationnelle de Dirac-Fock.

### 1.3 Références

- Andreo, P., Burns, D. T., Nahum, A. E., Seuntjens, J., & Attix, F. H. (2017). JWS.
- Bearden, J. A. (1967). Rev. Mod. Phys. 39(1), 78.
- Chami, A. C. (2011). (Cours, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene)
- Cohen, D. D., & Clayton, E. (1987). Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At. 22(1-3), 59-63.
- Duval, S. (2010). (Thèse de doctorat, Université de Nantes).
- Guerra, M., Sampaio, J. M., Vília, G. R., Godinho, C. A., Pinheiro, D., Amaro, P., ... & Santos, J. P. (2021). Atoms, 9(1), 8.
- Hupman, M. A. (2021).
- Ito, Y., Tochio, T., Ohashi, H., Yamashita, M., Fukushima, S., Polasik, M., ... & Parente, F. (2016). Phys. Rev. A 94(4), 042506.
- Moseley, H. G. J. (1913). XCIII. Lond. Edinb. Dublin philos. mag. j. sci. 26(156), 1024-1034.

Rahmani, A. (2002). (Thèse de doctorat, Université Moulay Ismail).

Salem, S. I., Panossian, S. L., & Krause, R. A. (1974). *At. Data Nucl. Data Tables* 14(2), 91-109.

Scofield, J. H. (1974). *At. Data Nucl. Data Tables* 14, 121.

Selmi, A. (2011). (Mémoire de Master, Faculté des sciences de Tunis)

Tertian, R., & Claisse, F. (1982).

Whitaker, M. A. B. (1999). *Eur. J. Phys.* 20(3), 213.

Woldseth, R. (1973). KeveX Corporation.

# Chapitre 2

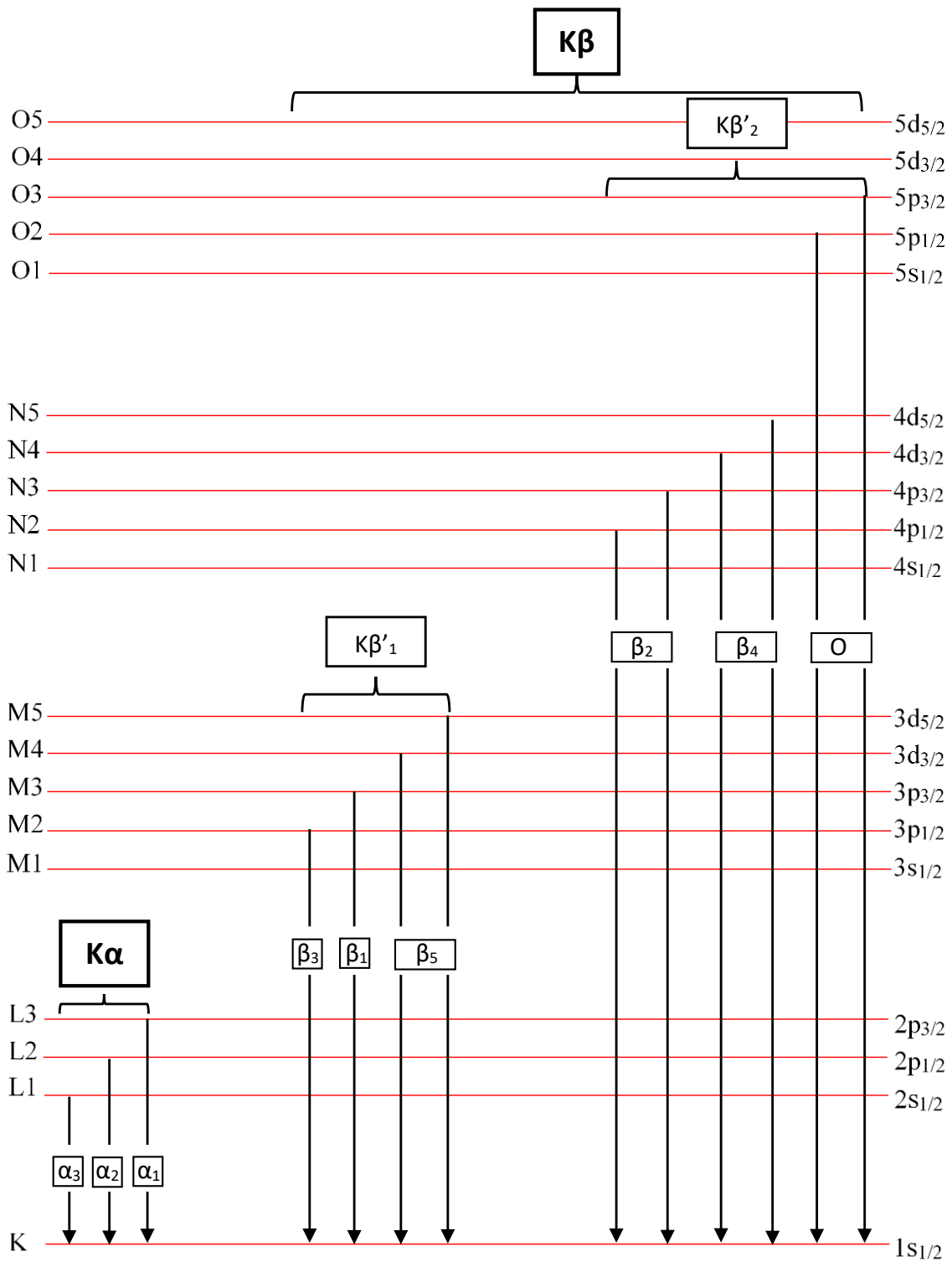
## Bases De Données Des Rapports D'intensité Des Rayons X

Jusqu'à présent, les chercheurs ont utilisé de nombreuses procédures et une grande variété de conditions expérimentales pour étudier les rapports d'intensité de rayons X issus de couches K. En effet, la littérature compte plus d'un millier de mesures. Par conséquent, la constitution d'une base de données qui inclue ces mesures, ainsi que les valeurs d'intensité moyennes pondérées les plus fiables possibles, fournit aux chercheurs une référence infaillible sur laquelle fonder leurs comparaisons. De plus, une analyse approfondie est nécessaire afin d'extraire des informations précieuses et essentielles de cette immense quantité de données.

### 2.1 État de l'art

Les transitions radiatives sont classées conformément aux notations de Siegbahn ou bien de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC) (Voir section 1.2.3 Nomenclature). La figure 2-1 indique la correspondance entre les notations de configuration électronique Siegbahn, IUPAC et nLj pour les raies K. Contrairement aux transitions radiatives, où l'énergie est libérée sous forme de photons, les transitions non radiatives s'accompagnent d'une émission d'électrons, conduisant ainsi à la formation d'une lacune supplémentaire (Voir section 1.2.4 Transitions radiatives et non radiatives). Nelson et al. (1970) ont publié un tableau des « meilleurs » rapports de taux d'émission de rayons X issus des couches K ( $K\beta/K\alpha$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta_1/K\alpha_1$ ,  $(K\beta_1+K\beta_3)/K\alpha_1$ ,  $K\beta_3/K\beta_1$ , et  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ). Leurs valeurs ont été obtenues en traçant des courbes « lisses » des données expérimentales représentées par rapport au numéro atomique  $20 \leq Z \leq 100$ . Salem et al. (1974) ont utilisé des ajustements de moindres carrés sur des valeurs expérimentales tracées en fonction du numéro atomique Z, obtenant ainsi les valeurs « les plus probables » des rapports d'émission de rayons X issus des couches K ( $K\beta/K\alpha$ ,  $K\beta_3/K\beta_1$ ,  $K\beta_5/K\alpha_1$ ,  $K\beta_4/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta_1/K\alpha_1$ ,  $K\alpha_3/K\alpha_1$ , and  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ) pour les éléments  $12 \leq Z \leq 100$ . La même année, Scofield (1974) a effectué un calcul relativiste Hartree–Slater des taux d'émission de rayons X issus de couches K ( $K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta_3/K\beta_1$ ,  $K\beta_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\alpha_3/K\alpha_1$ ,  $K\beta_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\beta_1$  and  $K\beta_5/K\beta_1$ ) pour les éléments avec  $Z = 5$  à 104. Khan and Karimi (1980) ont passé en revue les rapports d'intensité expérimentaux  $K\beta/K\alpha$  obtenus à partir de l'ionisation par protons, deutérons, héliums, oxygènes, électrons, photons et conversion interne. Dans leur travail (parfois appelé revue des données de 1974), ils ont rassemblé toutes les données disponibles publiées de 1972 à 1975 pour les éléments appartenant à la région  $12 \leq Z \leq 63$  (214 valeurs ont été regroupées dans leur tableau). Siber et al. (1992) ont collecté des rapports expérimentaux et théoriques de taux de transition radiative ( $K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\alpha_3/K\alpha_1$  and  $K\beta_1/K\alpha_1$ ) dans une représentation graphique en fonction du numéro atomique Z. Kahoul et al. (2014) ont étudié les valeurs mesurées du rapport d'intensité  $K\beta/K\alpha$  publiées dans la période de 1980 à 2011, pour des éléments dans la gamme  $16 \leq Z \leq 92$  (41 articles et 369 valeurs). Enfin, en 2020 Daoudi et al.

(2020) ont présenté une compilation substantielle des rapports d'intensité  $K\beta/K\alpha$  mesurés pour les éléments avec  $11 \leq Z \leq 96$ , publiés de 1969 à 2018 (127 articles et 1118 valeurs).



**Figure 2-1.** Correspondance entre la notation Siegbahn et la notation IUPAC pour les transitions radiatives issues des couches K.

## 2.2 Bases de données

De nombreuses études expérimentales ont été faites sur le rapport  $K\beta/K\alpha$ . En effet, dans ce travail nous avons regroupé 1004 nouvelles valeurs que nous avons ajoutées à une précédente base de données (Daoudi, 2020) qui comportait déjà 1118 valeurs, constituant ainsi une nouvelle base de données de 2122 valeurs. En revanche, moins d'expériences concernant les autres rapports d'intensité ( $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$ ) sont disponibles dans la littérature. Néanmoins, nous avons pu rassembler 773 valeurs pour ces 6 rapports, conduisant à la création de 7 nouvelles bases de données avec 2895 valeurs au total. Les détails concernant les 7 rapports d'intensité sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 2-1.** Résumé du nombre de valeurs expérimentales, nombre d'articles d'où les valeurs ont été extraites, la période des années où ces articles ont été publiés et la gamme du numéro atomique pour chaque rapport d'intensité des rayons X de la couche K sur lesquels nous avons travaillé.

Rapport	$\frac{K\beta}{K\alpha}$	$\frac{K\alpha_2}{K\alpha_1}$	$\frac{K\beta'_1}{K\alpha_1}$	$\frac{K\beta_2}{K\alpha_1}$	$\frac{K\beta'_2}{K\alpha_1}$	$\frac{K\beta'_2}{K\beta'_1}$	$\frac{K\beta_3}{K\beta_1}$
Z	11-96	13-99	24-96	30-94	40-96	40-92	39-99
Année	1969-2023	1969-2020	1970-2017	1971-2014	1970-2017	1970-2002	1970-2020
Valeurs	2122	357	126	89	82	70	49
Papiers	196	50	25	09	16	13	08

### 2.2.1 Calculs d'incertitudes

Pour plus de commodité, nous désignerons chaque rapport des 7 rapports suivants :  $K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$  par la lettre  $R$ . Les données compilées dans ce travail (annexe 2) peuvent être résumées en cinq catégories :

1) Les rapports d'intensité des rayons X sont donnés et leurs incertitudes correspondantes (écart type  $\Delta R$ ) sont rapportées en pourcentage ( $p\%$ ) dans le texte (Hansen et al., 1970b ; Salem et al., 1972 ; Slivinsky and Ebert, 1972b ; Wilson et al., 1977 ; Möser, 1985 ; Braziewicz et al., 1986 ; Campbell et al., 1986 ; Mehta et al., 1986 ; Coelho et al., 1989 ; LaBrecque and Rosales, 1990 ; Stoev and Dlouhy, 1993 ; Hajivaliei et al., 2000 ; Ximeng et al., 2001 ; Ximeng et al., 2003 ; Cengiz et al., 2008 ; Cengiz et al., 2010b ; Han and Demir, 2010b ; Cengiz et al., 2011 ; Onder et al., 2013 ; Kaçal et al., 2015 ; Özdemir et al., 2016 ; et Singh et al., 2018). Dans ce cas, l'écart type (absolu)  $\Delta R$  est calculé :

$$\Delta R = 0.01 \times (p\%) \times R \quad (2 - 1)$$

2) Les rapports d'intensité  $1/R$  et leurs incertitudes correspondantes  $\Delta(1/R)$  sont donnés dans le texte (Richard et al., 1970 ; Mistry and Quarles, 1971a ; Mistry and Quarles, 1971b ; Bissinger et al., 1972 ; Mohler and Cothorn, 1973 ; Lear and Gray, 1973 ; Criswell and Gray, 1974 ; Berényi et al., 1978 ; et Keith and Loomis, 1978). Auquel cas le rapport  $R$  se calcule comme suit :

$$R = \frac{1}{1/R} \quad (2 - 2)$$

Et l'écart type associé sur le rapport  $\Delta R$  se calcule à l'aide de cette formule :

$$\Delta(R) = \Delta\left(\frac{1}{1/R}\right) = \frac{\Delta(1/R)}{(1/R)^2} \quad (2 - 3)$$

3) Les rapports d'intensité  $1/R$  sont donnés par les auteurs mais leurs incertitudes correspondantes sont mentionnées en pourcentage ( $p\%$ ) dans le texte (Slivinsky and Ebert, 1969 ; Close et al., 1973 ; et Tawara et al., 1975). Ainsi, l'écart type sur le rapport  $\Delta R$  est calculé à l'aide de l'équation (2 – 3) :

$$\Delta(R) = \frac{0.01 \times (p\%) \times (1/R)}{(1/R)^2} = 0.01 \times (p\%) \times R \quad (2 - 4)$$

4) Le rapport  $K\beta/K\alpha$  étant composé de plusieurs raies partielles, nous avons souvent dû additionner leurs intensités pour obtenir la valeur de  $K\beta/K\alpha$ . En effet, dans le cas où les intensités partielles et leurs incertitudes correspondantes sont données de cette manière :  $K\beta_i \pm \Delta(K\beta_i)$  pour  $i = 1$  à 5 et  $K\alpha_j \pm \Delta(K\alpha_j)$  pour  $j = 1$  à 2 (de Pinho, 1971 ; McCrary et al., 1971; Schmidt-Ott and Fink, 1972; Mehta et al., 1987a; Chand et al., 1988; Chand et al., 1989; Dasmahapatra and Mukherjee, 1995; et Hatzistergos and Lifshi, 2006),  $K\beta/K\alpha$  est calculé comme suit :

$$\frac{K\beta}{K\alpha} = \frac{\sum_i^5 K\beta_i}{\sum_j^2 K\alpha_j} \quad (2 - 5)$$

L'écart type sur le rapport est estimé en fonction de la propagation de la variance par l'expression suivante :

$$\Delta\left(\frac{K\beta}{K\alpha}\right) = \frac{K\beta}{K\alpha} \times \sqrt{\left(\frac{\Delta(K\beta)}{K\beta}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(K\alpha)}{K\alpha}\right)^2} \quad (2 - 6)$$

$$= \frac{K\beta}{K\alpha} \times \sqrt{\frac{\sum_i^5 ((\Delta(K\beta_i))^2)}{(\sum K\beta_i)^2} + \frac{\sum_j^2 ((\Delta(K\alpha_j))^2)}{(\sum K\alpha_j)^2}} \quad (2 - 7)$$

5) En ce qui concerne le reste des articles passés en revue, les incertitudes (écarts-types)  $\Delta R$  des rapports d'intensité sont mentionnées directement dans le texte et peuvent être immédiatement adoptées.

### 2.2.2 Étude de travaux expérimentaux

Dans l'annexe 1, nous présentons une étude approfondie des mesures des rapports d'intensité sur lesquels nous avons travaillé, et qui ont été réalisées avec une variété de méthodes expérimentales et dans diverses conditions. L'annexe 1 contient une liste des paramètres atomiques pour les éléments de  $_{11}\text{Na}$  à  $_{99}\text{Es}$  et les références d'où ils ont été obtenus, ainsi que les sources d'excitation utilisées, les échantillons cibles impliqués et les spectromètres à rayons X.

Concernant les sources d'excitation, elles peuvent être soit des particules chargées, soit des photons. Parmi les particules chargées, on trouve des faisceaux de protons avec différentes énergies, des particules alpha, des deutérons et des électrons. Pour les sources de photons, les rayons  $\gamma$  de 59.5 keV émis par une source radioactive de  $^{241}\text{Am}$  sont souvent utilisés (lorsque cela est énergétiquement possible), mais les rayons  $\gamma$  de 122 keV provenant d'une source radioactive de  $^{57}\text{Co}$  et les rayons X de 22.69 keV provenant d'une source radioactive de  $^{109}\text{Cd}$  sont aussi des choix très populaires. De nombreuses autres sources radioactives peuvent également être retrouvées. En ce qui concerne les échantillons cibles, il peut s'agir d'éléments purs, d'alliages ou de composés. On peut trouver ces cibles sous forme d'échantillons de poudre, de feuilles, de pastilles ou bien de disques circulaires. En ce qui concerne la mesure des rayons X émis, une variété de détecteurs sont utilisés, les plus largement employés étant les semi-conducteurs monocristallins, tels que les détecteurs Si(Li) ou bien Ge(Li), avec des résolutions qui varient selon le fabricant et le modèle. Les spectromètres Ge(Li) ont ensuite été remplacés par des détecteurs au germanium de haute pureté (HPGe) avec une bien meilleure résolution.

Plus récemment, nous avons constaté que le détecteur Ultra-LEGe est devenu très en vogue, car il offre une correction d'atténuation réduite.

Il convient de noter que certains des auteurs cités dans cette annexe (de Pinho, 1971; McCrary et al., 1971; Mehta et al., 1986; Mehta et al., 1987a; Mehta et al., 1987b; Chand et al., 1988; Chand et al., 1989; Stoev and Dlouhy, 1993; Dasmahapatra and Mukherjee, 1995; Castellano et al., 2002; Perino et al., 2002; Hatzistergos and Lifshi, 2006; et Gójska et al., 2020) n'ont pas calculé eux-mêmes les rapports d'intensité. Néanmoins, nous avons pu déterminer les valeurs des paramètres atomiques souhaités à partir d'autres résultats mentionnés dans leurs travaux.

### 2.2.3 Analyse de données

Les valeurs des rapports d'intensité collectées ont été recueillies à partir des articles cités et sont présentées dans un format à quatre chiffres ainsi que les erreurs de mesure associées. L'annexe 2 résume la base de données compilée de ces rapports d'intensité pour les éléments avec  $11 \leq Z \leq 99$ , ainsi que les références d'où ils ont été obtenus et les valeurs moyennes pondérées. Il est à noter que les valeurs expérimentales citées rapportées sans incertitudes ont été exclues du calcul des valeurs moyennes pondérées  $(R)_W$ . La formule utilisée pour calculer les valeurs moyennes pondérées dans le présent travail est :

$$(R)_W \pm \varepsilon = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{(\Delta(R)_{EXP-i})^2}} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{(R)_{EXP-i}}{(\Delta(R)_{EXP-i})^2} \pm \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{(\Delta(R)_{EXP-i})^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2-8)$$

Dans l'équation (2-8),  $(R)_{EXP-i}$  représente la  $i^{ème}$  valeur expérimentale,  $\Delta(R)_{EXP-i}$  est l'incertitude assignée (écart-type) à la  $i^{ème}$  valeur expérimentale, et  $N$  indique le nombre de points expérimentaux pour l'élément. L'estimation de l'erreur globale obtenue à l'aide de l'équation ci-dessus est l'écart-type interne et repose sur l'estimation raisonnable des incertitudes expérimentales.

La figure 2-2 donne la distribution du nombre de points expérimentaux en fonction du numéro atomique cible  $Z$  pour les rapports d'intensité suivants :  $R = K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$ , respectivement. Le nombre élevé de données collectées, ainsi que la diversité des méthodes et conditions expérimentales utilisées, entraînent une dispersion importante des données expérimentales pour certains éléments. Cependant, il convient de présenter des observations générales. En ce qui concerne le rapport  $K\beta/K\alpha$  nous constatons que :

- Le nombre de données expérimentales disponibles étant 2122. Par conséquent  $K\beta/K\alpha$  est le rapport qui contient le plus de données.
- À l'exception de quelques exemples sans données ( $^{84}\text{Po}$ ,  $^{85}\text{At}$ ,  $^{87}\text{Fr}$ ,  $^{89}\text{Np}$ ,  $^{91}\text{Am}$ ,  $^{93}\text{Np}$  et  $^{95}\text{Am}$ ), tous les éléments de  $^{11}\text{Na}$  à  $^{96}\text{Cm}$  sont couverts. En d'autres termes, 91.9% des valeurs de  $^{11}\text{Na}$  à  $^{96}\text{Cm}$  sont rapportés.
- Pour certains éléments il n'y a qu'une seule valeur expérimentale disponible ( $^{61}\text{Pm}$  et  $^{88}\text{Ra}$ ), et pour d'autres éléments seulement deux valeurs sont disponibles ( $^{11}\text{Na}$ ,  $^{12}\text{Mg}$ ,  $^{13}\text{Al}$ ,  $^{18}\text{Ar}$ ,  $^{94}\text{Pu}$  et  $^{96}\text{Cm}$ ).
- Les métaux et les éléments à faible  $Z$  représentent la plupart des mesures. Neuf éléments avec  $22 \leq Z \leq 30$  représentent 37.9 % du nombre total de valeurs expérimentales. Le nickel ( $^{28}\text{Ni}$ ) et le cuivre ( $^{29}\text{Cu}$ ) sont les matériaux les plus fréquemment mesurés ; ces deux éléments représentent à eux seuls 11.5 % de toutes les valeurs des données (avec respectivement 117 et 126 valeurs expérimentales).

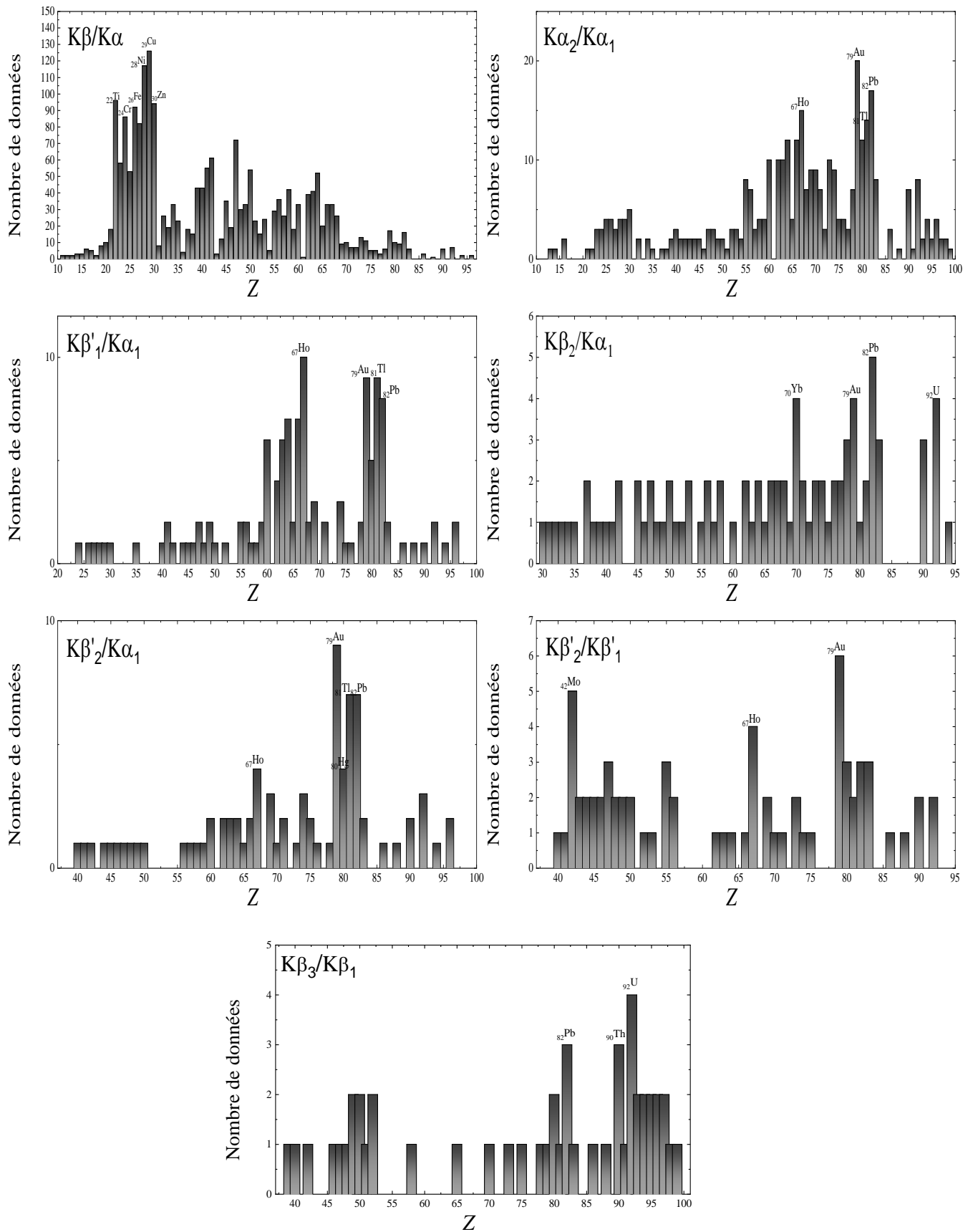


Figure 2-2. Distribution du nombre de valeurs expérimentales de R en fonction du numéro atomique Z.

- Les lanthanides ( $57 \leq Z \leq 71$ ) sont globalement bien rapportés avec entre sept et cinquante valeurs expérimentales par élément sauf pour le  ${}_{61}\text{Pm}$  pour lequel il n'y a qu'une seule valeur.
- Il est correct de conclure que les valeurs du rapport d'intensité  $K\beta/K\alpha$  pour le reste des éléments sont assez bien couvertes.

En ce qui concerne le rapport  $K\alpha_2/K\alpha_1$  nous constatons que :

- 357 mesures expérimentales sont disponibles, ainsi  $K\alpha_2/K\alpha_1$  est le 2<sup>ème</sup> rapport avec le plus de données.
- Sur 87 éléments allant de l' ${}_{13}\text{Al}$  jusqu'au  ${}_{99}\text{Es}$ , 74 sont reportés (85%). Les éléments sans données étant le  ${}_{15}\text{P}$ ,  ${}_{17}\text{Cl}$ ,  ${}_{18}\text{Ar}$ ,  ${}_{19}\text{K}$ ,  ${}_{20}\text{Ca}$ ,  ${}_{31}\text{Ga}$ ,  ${}_{33}\text{As}$ ,  ${}_{36}\text{Kr}$ ,  ${}_{61}\text{Pm}$ ,  ${}_{84}\text{Po}$ ,  ${}_{85}\text{At}$ ,  ${}_{87}\text{Fr}$  et le  ${}_{89}\text{Ac}$ .
- Seuls 15 % des éléments rapportés contiennent des valeurs supérieures à 10.
- Contrairement au  $K\beta/K\alpha$  où les éléments à faible  $Z$  ( $22 \leq Z \leq 30$ ) étant ceux avec le plus de valeurs, pour le  $K\alpha_2/K\alpha_1$  ce sont plutôt les éléments à  $Z$  élevé ( $55 \leq Z \leq 83$ ) qui ont une majorité de valeurs. Cela ressort clairement de la figure 2-2. Les éléments ayant la plus grande proportion de valeurs étant : le  ${}_{79}\text{Au}$  (20 valeurs),  ${}_{82}\text{Pb}$  (17 valeurs),  ${}_{67}\text{Ho}$  (15 valeurs), et le  ${}_{81}\text{Tl}$  (14 valeurs). L'ensemble des valeurs de ces 4 éléments représentent 18.5% de toutes les valeurs reportées des éléments entre l' ${}_{13}\text{Al}$  et l' ${}_{99}\text{Es}$ .
- Tout comme le  $K\beta/K\alpha$ , les lanthanides ( $57 \leq Z \leq 71$ ) sont généralement bien couverts, avec trois à quinze valeurs expérimentales par élément (À l'exception du  ${}_{61}\text{Pm}$ , qui n'a aucune valeur expérimentale enregistrée)

En ce qui concerne le rapport  $K\beta'_1/K\alpha_1$  nous constatons que :

- Avec 126 mesures expérimentales disponibles,  $K\beta'_1/K\alpha_1$  est le 3<sup>ème</sup> rapport avec le plus de données.
- La représentation des valeurs commence à partir de  $Z = 25$ . Les mesures pour les nombres atomiques inférieurs sont quasi introuvables.
- La tendance des résultats montre que le nombre de données augmente avec le numéro atomique  $Z$ . La région  $60 \leq Z \leq 82$  étant la plus riche en données. Cependant, une baisse importante de mesures est observée pour  $68 \leq Z \leq 78$ .
- De même que pour le  $K\alpha_2/K\alpha_1$ , les éléments les plus souvent mesurés sont : le  ${}_{67}\text{Ho}$  (10 valeurs),  ${}_{79}\text{Au}$  (09 valeurs),  ${}_{81}\text{Tl}$  (09 valeurs) et  ${}_{82}\text{Pb}$  (08 valeurs).
- 52.1% des éléments allant du  ${}_{24}\text{Cr}$  au  ${}_{96}\text{Cm}$  ont été rapportés (25 éléments), soit plus de la moitié, ce qui est un pourcentage raisonnable. Les éléments sans données étant les éléments avec les numéros atomiques suivants :  $Z = 25, 31-34, 36-39, 43, 51, 53, 54, 61, 70, 72, 73, 77, 84, 85, 87, 89, 91, 93$  et  $95$ .

En ce qui concerne le rapport  $K\beta_2/K\alpha_1$  nous constatons que :

- $K\beta_2/K\alpha_1$  vient en 4<sup>ème</sup> position en termes de nombre de données, avec 89 mesures expérimentales collectées.
- Les valeurs sont représentées à partir de  $Z = 30$ . Les mesures pour des numéros atomiques inférieurs sont extrêmement difficiles à obtenir.
- 78.5% des éléments allant du  ${}_{30}\text{Zn}$  au  ${}_{94}\text{Pu}$  ont été rapportés (51 éléments). Aucune donnée n'a été trouvée pour les éléments avec  $Z = 36, 43, 44, 54, 59, 61, 84-89, 91$  et  $93$ .
- A l'exception de  ${}_{70}\text{Yb}$  pour lequel 4 données sont disponibles, tous les éléments dont le numéro atomique est compris entre  $Z = 30$  et  $Z = 77$  ne contiennent qu'une ou deux valeurs.
- A partir de  $Z = 78$  jusqu'à  $Z = 92$  le nombre de mesures par élément devient plus important, notamment pour les éléments  ${}_{79}\text{Au}$  (4 valeurs),  ${}_{82}\text{Pb}$  (5 valeurs) et  ${}_{92}\text{U}$  (4 valeurs). Toutefois, on observe une absence totale de données dans la région  $84 \leq Z \leq 89$ .

En ce qui concerne le rapport  $K\beta'_2/K\alpha_1$  nous constatons que :

- Avec 82 mesures expérimentales disponibles,  $K\beta'_2/K\alpha_1$  vient en 5<sup>ème</sup> position en termes de nombre de données
- Les mesures pour des numéros atomiques inférieurs à 40 sont introuvables, c'est pourquoi la représentation des données ne commence qu'à partir de ce numéro atomique.
- 70.2% des éléments allant du  $_{40}\text{Zr}$  au  $_{96}\text{Cm}$  ont été rapportés (40 éléments). Les éléments sans données étant les éléments avec les numéros atomiques suivants :  $Z = 43, 51-55, 61, 68, 72, 77, 84, 85, 87, 89, 91, 93$  et  $95$ .
- De même que pour le  $K\alpha_2/K\alpha_1$  et  $K\beta'_1/K\alpha_1$ , les éléments ayant le plus grand nombre de valeurs sont : le  $_{79}\text{Au}$  (09 valeurs),  $_{82}\text{Pb}$  (07 valeurs),  $_{81}\text{Tl}$  (07 valeurs) et le  $_{67}\text{Ho}$  (04 valeurs). Ainsi, la région la plus riche en données est  $67 \leq Z \leq 82$ , avec une forte baisse de valeurs entre  $Z = 68$  et  $Z = 78$ .
- En dehors de la région  $67 \leq Z \leq 82$ , le nombre de mesures par éléments ne dépasse pas 02 valeurs, à l'exception de  $_{92}\text{U}$  pour lequel 3 valeurs ont été collectées.

En ce qui concerne le rapport  $K\beta'_2/K\beta'_1$  nous constatons que :

- $K\beta'_2/K\beta'_1$  est l'avant-dernier rapport en nombre de valeurs, il occupe donc la 6<sup>ème</sup> position avec 70 mesures.
- Au même titre que le  $K\beta'_2/K\alpha_1$ , les mesures pour des numéros atomiques inférieurs à 40 n'existent pas. Par conséquent, la représentation des données ne commence qu'à partir de ce numéro atomique.
- Sur 53 éléments allant du  $_{40}\text{Zr}$  jusqu'à l' $_{92}\text{U}$ , 35 sont reportés (66%). Les éléments dépourvus de données sont les éléments avec  $Z = 51, 54, 57-61, 65, 68, 72, 76-78, 84, 85, 87, 89$  et  $91$ .
- Contrairement aux autres rapports, nous ne distinguons pas de régions de numéros atomiques particulièrement riches en valeurs. Par contre quelques régions comme  $57 \leq Z \leq 61$  et  $76 \leq Z \leq 78$  sont complètement dépourvues de données.
- Les éléments avec le plus de données sont répartis tout au long de la représentation graphique et sont le :  $_{42}\text{Mo}$  (5 valeurs),  $_{67}\text{Ho}$  (4 valeurs) et  $_{79}\text{Au}$  (6 valeurs). A part ces 3 éléments, aucun autre ne dépasse 3 valeurs.

En ce qui concerne le rapport  $K\beta_3/K\beta_1$  nous constatons que :

- Avec seulement 40 mesures expérimentales disponibles,  $K\beta_3/K\beta_1$  vient en dernière position en termes de nombre de données
- Là aussi, la représentation des données ne commence qu'à partir de  $Z = 39$ , car il n'existe pas de données expérimentales pour des éléments avec des numéros atomiques inférieurs.
- 54.1% des éléments allant du  $_{39}\text{Y}$  à  $_{99}\text{Es}$  ont été rapportés (33 éléments), soit plus de la moitié, ce qui est un pourcentage acceptable. Les éléments n'ayant aucune valeur sont les éléments avec les numéros atomiques :  $Z = 41, 43-45, 53-57, 59-64, 66-69, 71, 72, 74, 76, 77, 84, 85, 87$  et  $89$ .
- La tendance des résultats montre que le nombre de données devient plus important lorsque le numéro atomique  $Z$  augmente. La région  $80 \leq Z \leq 92$  étant la plus importante en termes de nombre de données. Les éléments avec le plus de données sont le :  $_{82}\text{Pb}$  (3 valeurs),  $_{90}\text{Th}$  (3 valeurs) et  $_{92}\text{U}$  (4 valeurs). Néanmoins, une baisse importante de mesures est observée dans la région  $83 \leq Z \leq 88$ .
- Beaucoup de régions sont sans données :  $43 \leq Z \leq 45, 53 \leq Z \leq 57, 59 \leq Z \leq 64$  et  $66 \leq Z \leq 69$ . De plus, en dehors des 3 éléments :  $_{82}\text{Pb}, _{90}\text{Th}$  et  $_{92}\text{U}$ , aucun autre ne dépasse 2 valeurs.

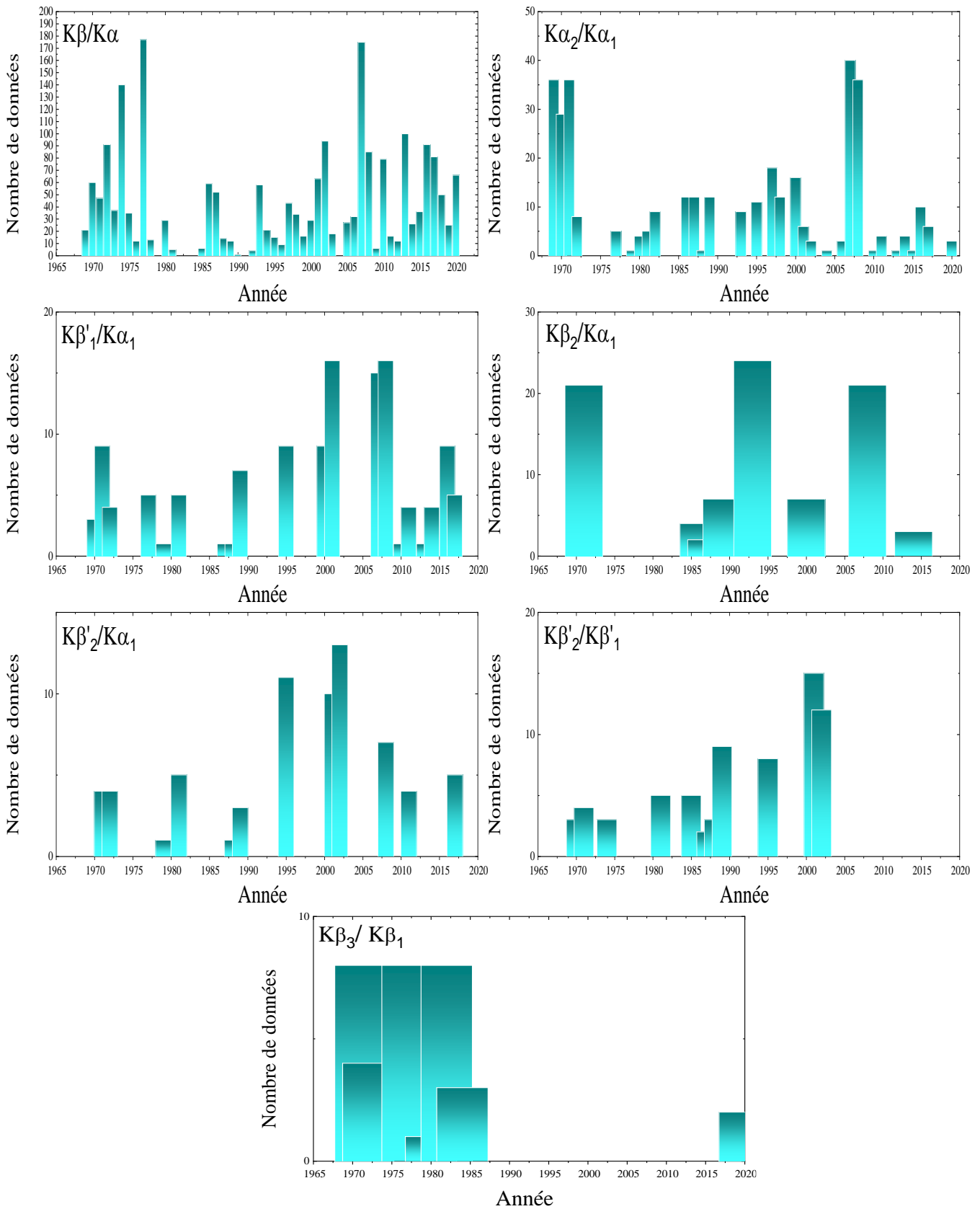


Figure 2-3. Histogramme de données pour les rapports d'intensité expérimentaux  $R$ . Les lignes verticales indiquent le nombre annuel de rapports d'intensité publiés tels que compilés dans ce travail.

La figure 2-3 montre des histogrammes représentant le nombre de valeurs expérimentales rapportées en fonction de l'année de publication de l'ouvrage original des rapports d'intensités suivants :  $R = K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$ , respectivement. En ce qui concerne le rapport  $K\beta/K\alpha$  nous observons que :

- Le nombre moyen de mesures expérimentales du rapport d'intensité  $K\beta/K\alpha$  par an au cours de la première décennie après 1969 était de 57.5 valeurs, où 64.5 % du nombre total de valeurs publiées durant cette période a été effectué dans les années 1972, 1974 et 1977. Le nombre de données était à son maximum (177 valeurs) en 1977, la plupart de ces valeurs sont celles de Wilson et al. (1977) (168 valeurs). Cependant, aucune donnée n'a été publiée en 1979.
- De 1980 à 2000, le nombre total de données qui a été publié était de 407 (avec une moyenne de 19.4 par an), ce qui est un nombre relativement faible par rapport à la période précédente. De plus, aucune valeur n'a été publiée en 1982-1984 et 1991.
- Néanmoins, tout au long des deux dernières décennies, une augmentation significative du nombre de mesures a été observée (environ 52% de toutes les valeurs publiées). Cette augmentation a atteint un pic (175 valeurs) en 2007, principalement grâce aux travaux d'Ertuğral et al. (2007) (59 valeurs).

En ce qui concerne le rapport  $K\alpha_2/K\alpha_1$  nous observons que :

- Durant la 1<sup>ère</sup> décennie (1969-1979) le nombre de valeurs par an est de 10.5 valeurs. Sachant que 101 valeurs (soit 87.8% du nombre total de mesures réalisées durant cette décennie) ont été publiées au cours des trois premières années de cette période : 1969 (36 valeurs), 1970 (29 valeurs) et 1971 (36 valeurs). En grande partie grâce aux travaux de : Nelson and Saunders (1969) (36 valeurs) ; Salem and Wimmer (1970) (22 valeurs) ; McCrary et al. (1971) (25 valeurs) et à de Pinho et al. (1971) (09 valeurs). Pour le reste des années de cette décennie, une baisse considérable de données est observée, suivie d'une absence totale de valeurs pendant la période 1973-1976 et l'année 1978.
- Durant la période allant de 1980 jusqu'à l'an 2000, le nombre de valeurs publiées par an est de 5.8 valeurs. De nombreuses années n'ont été témoins d'aucune mesure : 1983-1985, 1990-1992, 1994, 1996 et 1999. Le plus grand nombre de valeurs publiées a eu lieu au cours de l'année 1997 (18 valeurs). Ces mesures ont été faites par Ertuğral et al. (1997) (13 valeurs) et Hölzer et al. (1997) (5 valeurs).
- De 2001 à 2020, le nombre de valeurs par an reste plus ou moins constant (5.9 valeurs). Cependant, on remarque que la majorité des valeurs publiées durant cette période l'ont été durant les deux années 2007 et 2008 avec respectivement 40 et 36 valeurs. Le mérite en revient à Yalçın (2007) (24 valeurs) ; Demir and Sahin (2007) (15 valeurs) ; Gürol (2008) (15 valeurs) et Apaydin et al. (2008b) (21 valeurs).

En ce qui concerne le rapport  $K\beta'_1/K\alpha_1$  nous observons que :

- Les dix premières années (1969-1979) avaient en moyenne 2 valeurs par an. L'année la plus fructueuse en termes de données a été 1971 avec 9 mesures effectuées par de Pinho et al. (1971) (soit 40.9% du nombre total de mesures réalisées durant cette période). Outre la baisse importante des mesures pour les années restantes de cette décennie, aucune valeur n'a été publiée au cours des années 1973-1976 et 1978.
- Une légère diminution est apparue au cours de la période 1980-2000, où le nombre moyen de valeurs rapportées par an est de 1.5 valeurs. De nombreuses périodes, dont 1980, 1982-1986, 1990-1994, ainsi que 1996-1999, n'ont vu aucune mesure effectuée.

- De 2001 à 2020, le nombre moyen de valeurs par an est passé à 3.5 valeurs. La majorité des valeurs ont été publiées au cours des trois années suivantes : 2001, 2007 et 2008, avec respectivement 16, 15 et 16 valeurs. Il convient d'en attribuer le crédit à Campbell (2001) (10 valeurs) ; Ximeng et al. (2001) (6 valeurs) ; Demir and Şahin (2007) (15 valeurs) ainsi qu'à Gürol (2008) (15 valeurs). Il faut mentionner qu'aucune valeur n'a été publiée durant les années : 2002-2006, 2009, 2012, 2015 et 2018-2020.

En ce qui concerne le rapport  $K\beta_2/K\alpha_1$  nous observons que :

- La 1<sup>ère</sup> décennie (1969-1979) a vu une absence totale de données expérimentales à l'exception de l'année 1971 où 21 mesures ont été effectuées par McCrary et al. (1971).
- Durant la période allant de 1980 jusqu'à l'an 2000, le nombre de valeurs publiées par an est passé de 1.9 à 2.1 valeurs. De nombreuses années n'ont été témoins d'aucune mesure : 1981-1985 ; 1988 ; 1990-1992 et 1994-1999. Le plus grand nombre de valeurs publiées a eu lieu au cours de l'année 1993 (24 valeurs), le mérite revient à Stoev and Dlouhy (1993).
- De 2001 à 2020, le nombre de valeurs par an a diminué à 1.2. Ceci est dû au fait que toutes les valeurs publiées durant cette période ne l'ont été que durant les deux années 2008 et 2014 avec respectivement 21 et 03 valeurs, et cela exclusivement grâce au travail d'Apaydin et al. (2008b) et d'Anand et al. (2014).

En ce qui concerne le rapport  $K\beta'_2/K\alpha_1$  nous observons que :

- Les dix premières années (1969-1979) avaient en moyenne 0.8 valeur par an. Les deux années les plus fructueuses en termes de données furent : 1971 et 1972 avec 04 mesures chacune, réalisées par de Pinho et al. (1971) et Schmidt-Ott et al. (1972).
- Une légère amélioration est apparue au cours de la période 1980-2000, où le nombre moyen de valeurs rapportées par an est estimé à 1.0 valeur. Au total, 11 valeurs ont été publiées en 1995, ce qui représente le nombre le plus élevé de cette tranche d'années. Le mérite revient entièrement à Dasmahapatra and Mukherjee (1995). De nombreuses périodes, dont 1980, 1982-1985, 1990-1993, 1996, 1997 et 1999 n'ont vu aucune mesure effectuée.
- De 2001 à 2020, le nombre moyen de valeurs par an est passé à 2.0. La majorité de ces valeurs ont été publiées au cours des deux premières années de cette période : 2001 et 2002 avec respectivement 10 et 13 valeurs. Ces mesures ont été effectuées par Campbell (2001) ainsi que par Ertugrul and Simsek (2002). A noter qu'aucune valeur n'a été publiée au cours des années 2003-2006, 2009, 2010, 2012-2016 et 2018-2020.

En ce qui concerne le rapport  $K\beta'_2/K\beta'_1$  nous observons que :

- A l'exception de 10 mesures réalisées au cours des années 1970, 1971 et 1974 respectivement par Middleman et al. (1970) (03 valeurs) ; de Pinho et al. (1971) (04 valeurs) et par Dhal and Padhi (1974) (03 valeurs), la première décennie (1969-1979) a connu un manque important de données expérimentales.
- La moyenne annuelle de publication des valeurs est passée de 0.9 à 1.5 entre les années 1980 et les années 2000, une nette amélioration en ressort clairement de la figure 2-3. Toutefois, de nombreuses années, dont 1982-1984, 1986, 1990-1994 et 1996-2000, n'ont vu aucune mesure. L'année 1989 a vu le plus de valeurs publiées (09 valeurs), et le mérite en revient à Martins et al. (1989) et à Chand et al. (1989) qui ont publié respectivement 05 et 04 valeurs.
- Le nombre de valeurs par an a diminué à 1.4 entre 2001 et 2020. En effet, toutes les valeurs publiées dans ce laps de temps ne l'ont été que dans les deux premières années de cette période, soit 2001 et 2002. Cela a été rendu possible grâce aux travaux de Campbell (2001) (10 valeurs) ;

Ximeng et al. (2001) (05 valeurs) ainsi que par Ertugrul and Simsek (2002) (12 valeurs). Les années qui ont suivi ont été marquées par une absence totale de valeurs.

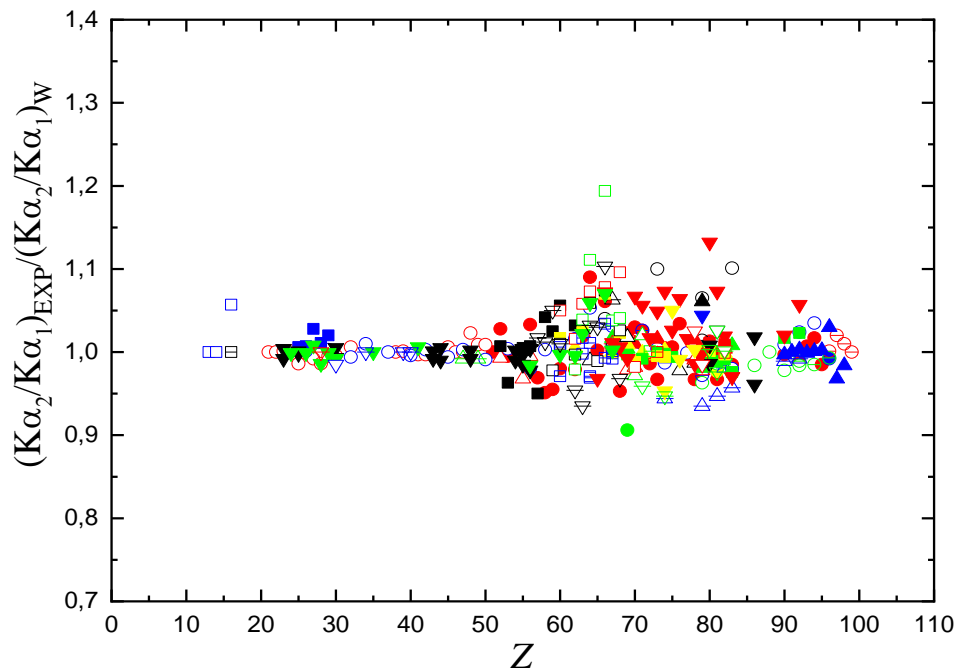
En ce qui concerne le rapport  $K\beta_3/K\beta_1$  nous observons que :

- Les dix premières années (1969-1979) avaient une moyenne annuelle de 1.8 valeurs. Les deux années avec la production maximale de données étaient 1971 et 1977. Cela a été réalisé par de Pinho et al. (1971) et Ramos et al. (1977), qui ont tous deux publiés 08 valeurs chacun.
- Dans les années 1980 à 2020, il y a eu une régression remarquable en termes de nombre de données, avec une moyenne estimée à 0.3 valeurs publiées par an. La plupart d'entre elles pour cette gamme d'années ont été publiées en 1982 par Barreau and Borner (1982), avec un total de 8 valeurs. Après la publication de 3 mesures en 1984 par Maxwell et Campbell (1984), une période de 15 ans s'en est suivie ne voyant aucune donnée publiée, jusqu'en 2020 où Ito et al. (2020) ont en publié 2.

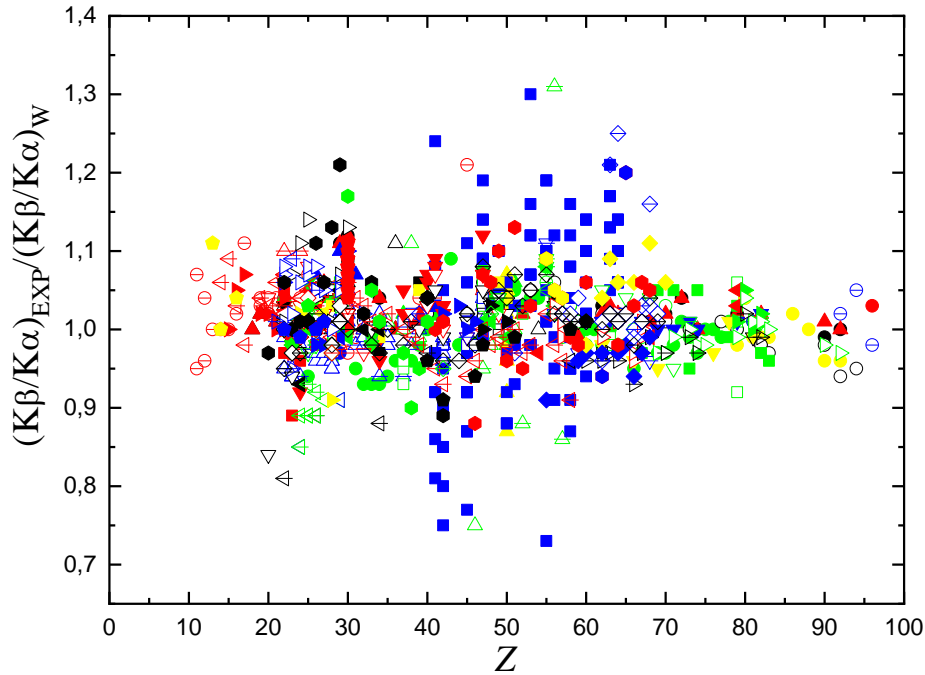
**Tableau 2-2.** Résumé des rapports d'intensité expérimentaux ayant une valeur  $S$  en dehors de l'intervalle [0.9-1.1]. Les articles dont ces données sont tirées, la gamme de  $Z$  et l'intervalle  $S$  sont également mentionnés.

Rapport	Articles	Z	Intervalle S
$K\beta/K\alpha$	(Khelil and Gray, 1975)	56	A l'intérieur de [0.6–1.4]
	(Baydaş et al., 2003)	28	
	(Salem et al., 1972)	45	
	(Criswell and Gray, 1974)	46	A l'intérieur de [0.7–1.3]
	(Wilson et al., 1977)	41,42,45,53,55 et 63	
	(Ximeng et al., 2001)	63 et 64	
	(Castellano et al., 2002)	29	
	(Baydaş et al., 2003)	22-27 et 29	
	(Şahin et al., 2005)	17	
	(Han et al., 2008)	66 et 67	
	(Porikli and Kurucu, 2008b)	24	
	(Porikli and Kurucu, 2011a)	24	
	(Demir and Şahin, 2013)	25	
	$K\alpha_2/K\alpha_1$	(Ximeng et al., 2001)	
(Apaydin et al., 2008b)		80	
$K\beta'_1/K\alpha_1$	(Durak and Özdemir, 2000)	68	A l'intérieur de [0.8–1.2]
	(Ximeng et al., 2001)	62,63, et 64 67	A l'intérieur de [0.7–1.3]
$K\beta_2/K\alpha_1$	(Mccrary et al., 1971)	42,45,67,73,77, 82 et 90 47	A l'intérieur de [0.8–1.2] A l'intérieur de [0.7–1.3]
	(Campbell et al., 1986)	92	A l'intérieur de [0.7–1.3]
	(Saleh et al., 1989)	82	A l'intérieur de [0.8–1.2]
	(Stoev and Dlouhy, 1993)	47 58	A l'intérieur de [0.7–1.3]
		42 45	
	(Hajivaliei et al., 2000)	66 et 68	A l'intérieur de [0.8–1.2]
		70	A l'intérieur de [0.7–1.3]
	(Apaydin et al., 2008b)	90 et 92	A l'intérieur de [0.8–1.2]
(Anand et al., 2014)	78		
$K\beta'_2/K\alpha_1$	(de Pinho et al., 1971)	92	A l'intérieur de [0.7–1.3]
		90	A l'intérieur de [0.8–1.2]
$K\beta'_2/K\beta'_1$	(Ximeng et al., 2001)	90 et 92	
		67	A l'intérieur de [0.7–1.3]
		92	A l'intérieur de [0.8–1.2]
(Ertugrul and Simsek, 2002)	92		
$K\beta_3/K\beta_1$	(Barreau and Borner, 1982)	93 et 95	A l'intérieur de [0.8–1.2]

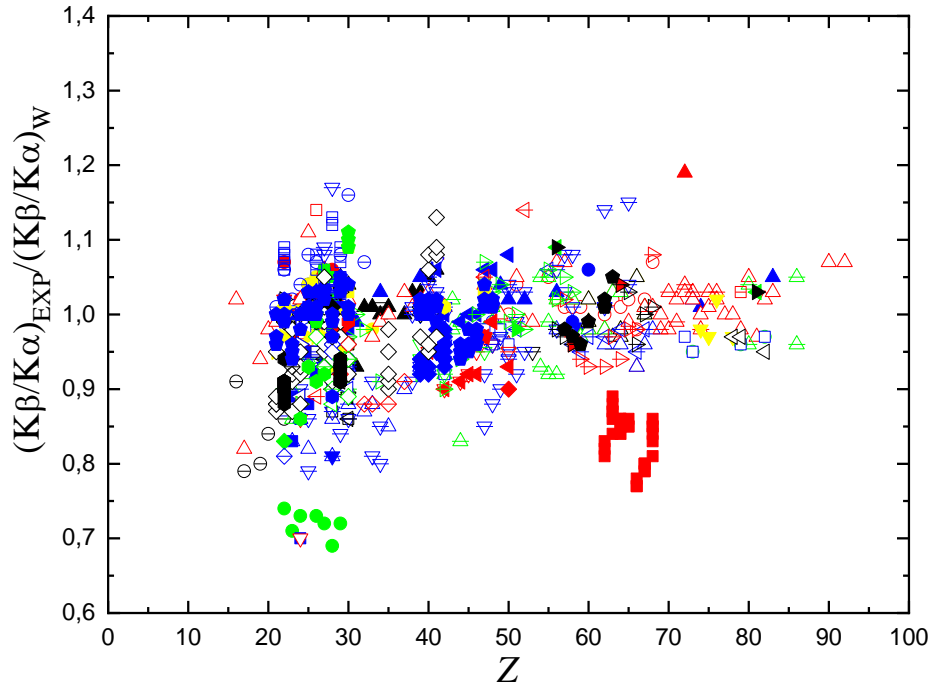
Après avoir utilisé l'équation (2 – 8) pour calculer la valeur moyenne pondérée  $(R)_W$  pour tous les éléments (dernière colonne des tableaux de l'annexe 2), nous avons calculé le rapport des rapports d'intensité expérimentaux  $(R)_{EXP}$  par rapport à la valeur moyenne pondérée correspondante pour chaque élément :  $S = (R)_{EXP} / (R)_W$ , nous avons ensuite tracé le rapport  $S$  par rapport au numéro atomique  $Z$ , comme le montrent les figures allant de 2-4 à 2-11. Il est à noter que certaines valeurs de  $(R)_{EXP}$  montrent une disparité étonnamment grande par rapport aux valeurs pondérées. Ces valeurs, les articles dont elles ont été extraites, la région de  $Z$ , ainsi que l'intervalle  $S$  auquel elles appartiennent, sont résumés dans le tableau 2-2. Cette grande dispersion absolue est en partie due au nombre considérable de valeurs expérimentales publiées pour ces éléments. Cependant, il est clair que la majorité des valeurs du rapport  $S$  sont proches de 1 (entre 0.9 et 1.1), compte tenu des performances de la spectroscopie X à haute résolution. A noter que nous n'avons pas mentionné dans ce tableau les valeurs de  $S$  appartenant à l'intervalle [0.8–1.2] pour le rapport  $K\beta/K\alpha$ . En effet, en raison du grand nombre de valeurs qui y existent, il est difficile de toutes les citer.



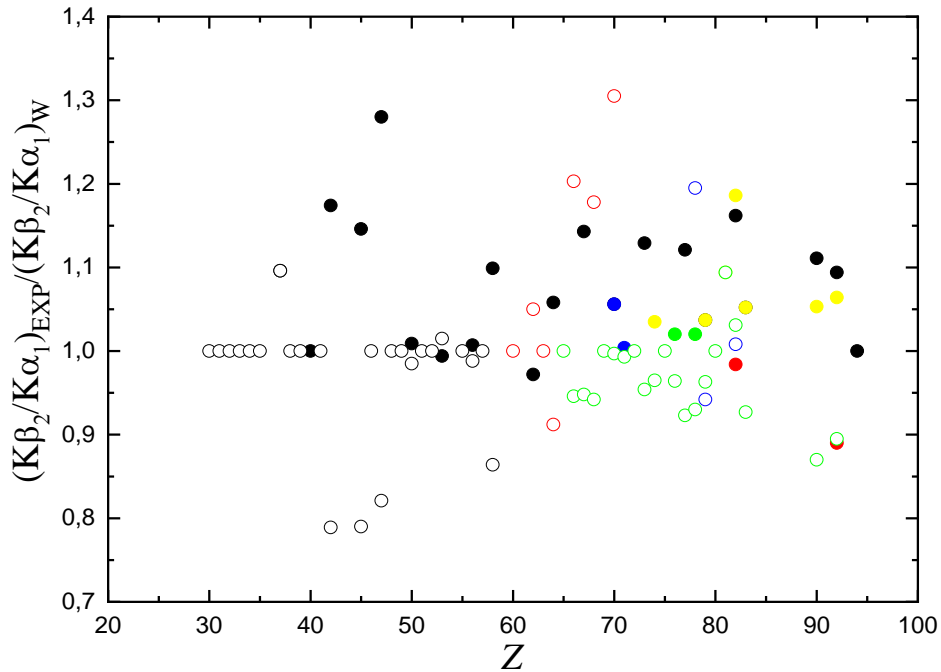
**Figure 2-4.** La distribution de  $(K\alpha_2/K\alpha_1)_{EXP} / (K\alpha_2/K\alpha_1)_W$  pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique  $Z$ . ● : (Nelson and Saunders, 1969) ; ● : (Boehm, 1970) ; ● : (Hansen et al., 1970a) ; ● : (Hansen et al., 1970b) ; ○ : (Middleman et al. 1970) ; ○ : (Salem and Wimmer, 1970) ; ○ : (de Pinho., 1971) ; ○ : (McCrary et al., 1971) ; ⊖ : (Mistry and Quarles, 1971a) ; ⊖ : (Dittner and Bemis, 1972) ; ⊖ : (Schmidt-Ott et al., 1972) ; ⊖ : (Deconnick and Longree, 1977) ; ▲ : (Helmer and Gehrke, 1979) ; ▲ : (Campbell and Schulte, 1980) ; ▲ : (Dost et al., 1981) ; ▲ : (Barreau and Borner, 1982) ; ▲ : (Kasagi, 1986) ; ▲ : (Mehta et al., 1986) ; ▲ : (Marques et al, 1987) ; ▲ : (Mehta et al., 1987a) ; ▲ : (Mehta et al., 1987b) ; ▲ : (Chand et al ., 1988) ; ▲ : (Chand et al ., 1989) ; ▲ : (Martins et al., 1989) ; ▲ : (Saleh et ., 1989) ; ■ : (Stoev and Dlouhy., 1994) ; ■ : (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) ; ■ : (Ertugrul et al., 1995) ; ■ : (Holzer et al., 1997) ; ■ : (Durak and Ozdemir, 1998) ; □ : (Durak and Ozdemir, 2000) ; □ : (Hajivaliei et al., 2000) ; □ : (Ximeng et al., 2001) ; □ : (Perino et al., 2002) ; □ : (Kavčič et al., 2004) ; □ : (Bennal and Badiger., 2006) ; □ : (Aylikci et al., 2007) ; □ : (Demir and Sahin, 2007) ; ▼ : (Yalçın, 2007) ; ▼ : (Apaydin et al., 2008b) ; ▼ : (Gürol, 2008) ; ▼ : (Cengiz et al., 2010) ; ▼ : (Cengiz et al., 2011) ; ▼ : (Sreevidya et al., 2013) ; ▼ : (Anand et al., 2014) ; ▼ : (Sreevidya et al., 2014) ; ▼ : (Ito et al., 2015) ; ▼ : (Akman, 2016) ; ▼ : (Ménesguen et al., 2017) ; ▼ : (Sakar et al., 2017) ; ▼ : (Ito et al., 2020).



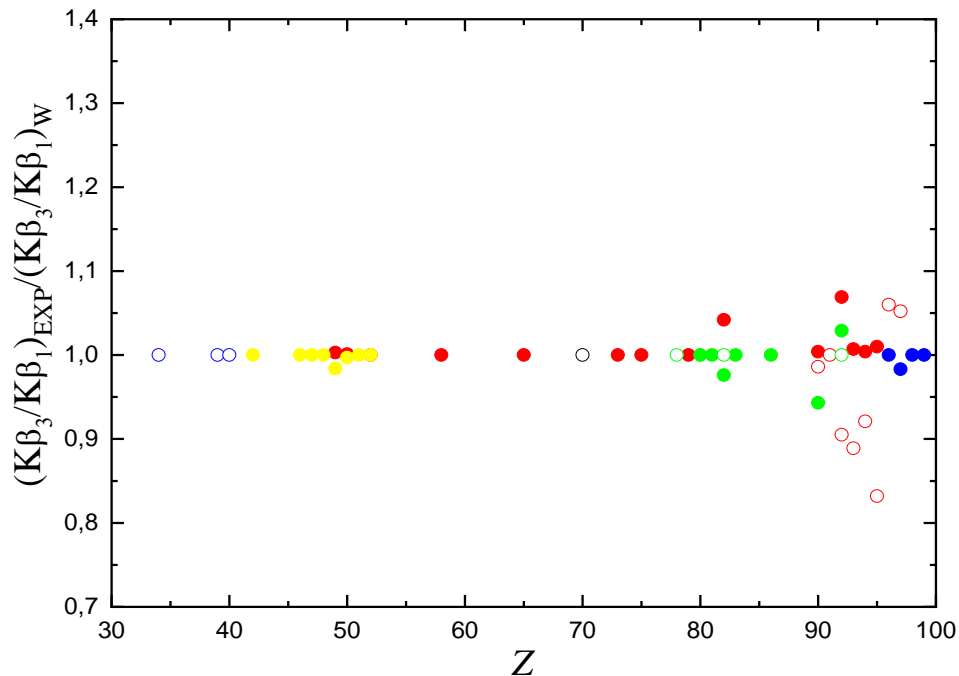
**Figure 2-5.** La distribution de  $(K\beta/K\alpha)_{EXP} / (K\beta/K\alpha)_W$  pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique  $Z$  (de 1969 à 2002). ●: (Slivinsky and Ebert, 1969) ; ●: (Hansen et al., 1970a) ; ●: (Hansen et al., 1970b) ; ●: (Richard et al., 1970) ; ●: (de Pinho, 1971) ; ○: (McCrary et al., 1971) ; ○: (Mistry and Quarles, 1971a) ; ○: (Mistry and Quarles, 1971b) ; ⊖: (Bissinger et al., 1972) ; ⊖: (Salem et al., 1972) ; ⊖: (Schmidt-Ott and Fink, 1972) ; ⊖: (Schmidt-Ott et al., 1972) ; ▲: (Slivinsky and Ebert, 1972a) ; ▲: (Slivinsky and Ebert, 1972b) ; ▲: (Close et al., 1973) ; ▲: (Lear and Gray, 1973) ; ▲: (Mohler and Cothorn, 1973) ; ▲: (Winters et al., 1973) ; ▲: (Akselsson and Johansson, 1974) ; ▲: (Criswell and Gray, 1974) ; ▲: (Li and Watson, 1974) ; ▲: (Smith et al., 1974) ; ▲: (Bodart et al., 1975) ; ▲: (Khelil and Gray, 1975) ; ▲: (McDaniel et al., 1975) ; ▲: (Tawara et al., 1975) ; ▲: (Paić and Pečar, 1976) ; ▲: (Deconninck and Longree, 1977) ; ▲: (Wilson et al., 1977) ; ▲: (Berényi et al., 1978) ; ▲: (Keith and Loomis, 1978) ; ▲: (Marques et al., 1978) ; ▲: (Kamal et al., 1980) ; ▲: (Marques et al., 1980) ; ▲: (Shearer-Izumi et al., 1980) ; ▲: (Dost et al., 1981) ; ▲: (Martins et al., 1981) ; ▲: (Casnati et al., 1985) ; ▲: (Möser, 1985) ; ▲: (Braziewicz et al., 1986) ; ▲: (Campbell et al., 1986) ; ▲: (Kasagi et al., 1986) ; ▲: (Mehta et al., 1986) ; ▲: (Rao et al., 1986) ; ▲: (Bhan et al., 1987) ; ▲: (Borowski et al., 1987) ; ▲: (Mehta et al., 1987a) ; ▲: (Mehta et al., 1987b) ; ▲: (Perujo et al., 1987) ; ▲: (Rao et al., 1987) ; ▲: (Chand et al., 1988) ; ▲: (Tham and Preiss, 1988) ; ▲: (Chand et al., 1989) ; ▲: (Coelho et al., 1989) ; ▲: (Marchetti and Franck, 1989) ; ▲: (LaBrecque and Rosales, 1990) ; ▲: (Bhuinya and Padhi, 1992) ; ▲: (Bhuinya and Padhi, 1993) ; ▲: (Küçükönder et al., 1993a) ; ▲: (Küçükönder et al., 1993b) ; ▲: (Küçükönder et al., 1993c) ; ▲: (Stoev and Dlouhy, 1993) ; ▲: (Büyükkasap et al., 1994) ; ▲: (Chang et al., 1994) ; ▲: (Dhal and Padhi, 1994) ; ▲: (Zararsiz, 1994) ; ▲: (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) ; ▲: (Padhi and Dhal, 1995) ; ▲: (Söğüt et al., 1995) ; ▲: (Rebohle et al., 1996) ; ▲: (Büyükkasap, 1997) ; ▲: (Ertuğrul et al., 1997) ; ▲: (Bé et al., 1998) ; ▲: (Durak and Özdemir, 1998) ; ▲: (Raj et al., 1998b) ; ▲: (Raj et al., 1998a) ; ▲: (Cipolla, 1999) ; ▲: (Raj et al., 1999a) ; ▲: (Raj et al., 1999b) ; ▲: (Raj et al., 1999c) ; ▲: (Durak and Özdemir, 2000) ; ▲: (Hajivaliei et al., 2000) ; ▲: (Pawłowski and Polasik, 2000) ; ▲: (Raj et al., 2000a) ; ▲: (Raj et al., 2000b) ; ▲: (Ertuğrul et al., 2001a) ; ▲: (Ertuğrul et al., 2001b) ; ▲: (Raj et al., 2001) ; ▲: (Söğüt et al., 2001) ; ▲: (Ximeng et al., 2001) ; ▲: (Castellano et al., 2002) ; ▲: (Çalışkan et al., 2002) ; ▲: (Ertuğrul, 2002a) ; ▲: (Ertuğrul, 2002b) ; ▲: (Ertuğrul, 2002c) ; ▲: (Ertuğrul et al., 2002) ; ▲: (İçelli and Erzeneoglu, 2002) ; ▲: (Jonnard et al., 2002) ; ▲: (Pawłowski et al., 2002) ; ▲: (Perino et al., 2002).



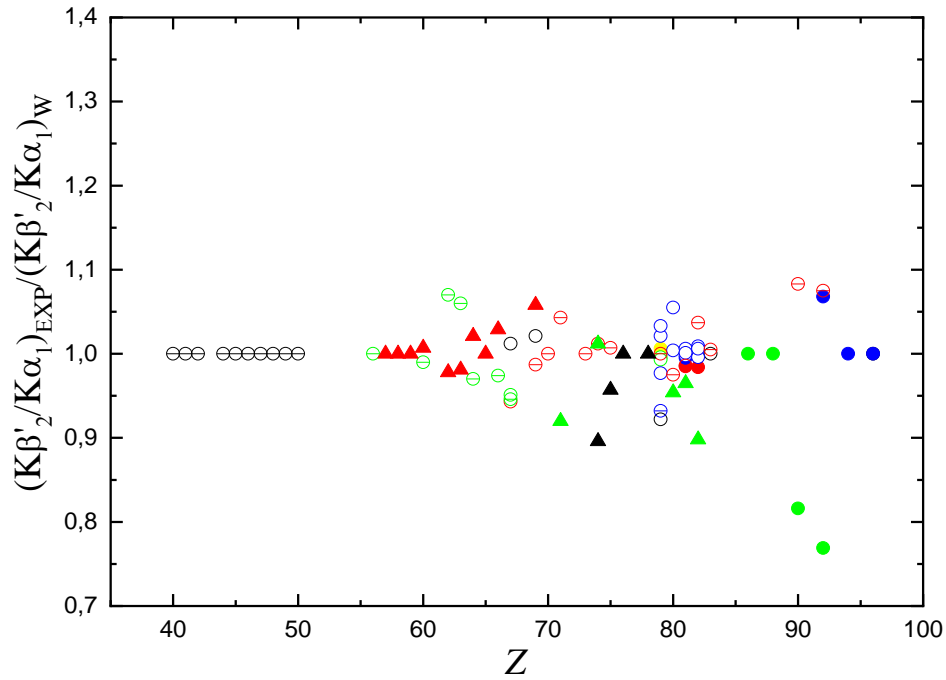
**Figure 2-6.** La distribution de  $(K\beta/K\alpha)_{EXP} / (K\beta/K\alpha)_W$  pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique  $Z$  (de 1969 à 2002). ●: (Raj et al., 2002) ; ●: (Sögüt et al., 2002) ; ●: (Baydaş et al., 2003) ; ●: (Ertuğrul, 2003) ; ●: (Ximeng et al., 2003) ; ○: (Baydaş, 2005) ; ○: (Çevik et al., 2005) ; ○: (Doğan and Bacaksiz, 2005) ; ⊖: (Şahin et al., 2005) ; ⊖: (Bacaksiz et al., 2006) ; ⊖: (Bennal and Badiger, 2006) ; ⊖: (Hatzistergos and Lifshi, 2006) ; ▲: (Öz, 2006) ; ▲: (Aylikci et al., 2007) ; ▲: (Bennal and Badiger, 2007) ; ▲: (Çevik et al., 2007) ; ▲: (Demir and Şahin, 2007a) ; ▲: (Demir and Şahin, 2007b) ; ▲: (Ertuğral et al., 2007) ; ▲: (Ertuğral, 2007) ; ▲: (Han et al., 2007) ; ▲: (Kalayci et al., 2007) ; ▲: (Kaya et al., 2007) ; ▲: (Yalçın, 2007) ; ▲: (Apaydin et al., 2008) ; ▲: (Cengiz et al., 2008) ; ▲: (Han et al., 2008) ; ▲: (Porikli and Kurucu, 2008a) ; ▲: (Porikli and Kurucu, 2008b) ; ▲: (Porikli et al., 2008) ; ▲: (Sögüt et al., 2008) ; ▲: (Han and Demir, 2009) ; ▲: (Kup Aylikci et al., 2009) ; ▲: (Bennal et al., 2010) ; ▲: (Cengiz et al., 2010a) ; ▲: (Cengiz et al., 2010b) ; ▲: (Han and Demir, 2010a) ; ▲: (Han and Demir, 2010b) ; ▲: (Han and Demir, 2010c) ; ▲: (Han and Demir, 2010d) ; ▲: (Kup Aylikci et al., 2010a) ; ▲: (Kup Aylikci et al., 2010b) ; ▲: (Cengiz et al., 2011) ; ▲: (Kup Aylikci et al., 2011) ; ▲: (Porikli and Kurucu, 2011a) ; ▲: (Porikli and Kurucu, 2011b) ; ▲: (Porikli et al., 2011) ; ▲: (Saydam et al., 2012) ; ▲: (Turşucu et al., 2012) ; ▲: (Anand et al., 2013) ; ▲: (Demir and Şahin, 2013) ; ▲: (Doğan et al., 2013) ; ▲: (Onder et al., 2013) ; ▲: (Sreevidya et al., 2013) ; ▲: (Turşucu et al., 2013) ; ▲: (Turşucu and Demir, 2013) ; ▲: (Anand et al., 2014) ; ▲: (Cengiz et al., 2014) ; ▲: (Doğan et al., 2014b) ; ▲: (Doğan et al., 2014a) ; ▲: (George et al., 2014) ; ▲: (Sita Mahalakshmi et al., 2014) ; ▲: (Sreevidya et al., 2014) ; ▲: (Akman et al., 2015) ; ▲: (Aksoy et al., 2015) ; ▲: (Anand et al., 2015) ; ▲: (Aylikci et al., 2015) ; ▲: (Kaçal et al., 2015) ; ▲: (Mirji et al., 2015a) ; ▲: (Mirji et al., 2015b) ; ▲: (Perişanoğlu and Demir, 2015) ; ▲: (Akman et al., 2016a) ; ▲: (Akman, 2016a) ; ▲: (Akman, 2016b) ; ▲: (Alim et al., 2016) ; ▲: (Doğan et al., 2016) ; ▲: (Köksal et al., 2016) ; ▲: (Özdemir et al., 2016) ; ▲: (Perişanoğlu et al., 2016) ; ▲: (Akkuş et al., 2017) ; ▲: (Cengiz et al., 2017) ; ▲: (Kup Aylikci et al., 2017) ; ▲: (Ménesguen et al., 2017) ; ▲: (Uğurlu et al., 2017) ; ▲: (Yilmaz, 2017) ; ▲: (Anand et al., 2018) ; ▲: (Köksal et al., 2018) ; ▲: (Singh et al., 2018) ; ▲: (Sögüt et al., 2018) ; ▲: (Yilmaz, 2018) ; ▲: (Cengiz et al., 2019) ; ▲: (Uğurlu et al., 2019) ; ▲: (Uğurlu, 2019) ; ▲: (Gójska et al., 2020) ; ▲: (Perişanoğlu et al., 2020) ; ▲: (Uğurlu and Demir, 2020).



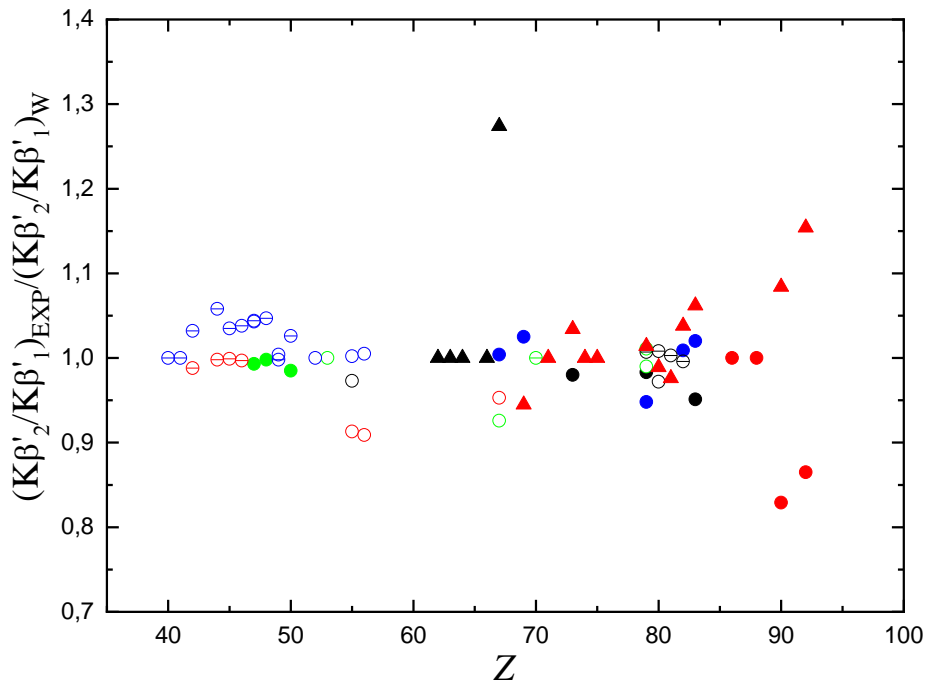
**Figure 2-7.** La distribution de  $(K\beta_2/K\alpha_1)_{EXP} / (K\beta_2/K\alpha_1)_W$  pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique  $Z$ . ● : (McCrary et al., 1971) ; ● : (Campbell et al., 1986) ; ● : (Mehta et al., 1986) ; ● : (Mehta et al., 1987) ; ● : (Saleh al., 1989) ; ○ : (Stoev and Dlouhy, 1994) ; ○ : (Hajivaliei et al., 2000) ; ○ : (Apaydin et al., 2008b) ; ○ : (Anand et al, 2014).



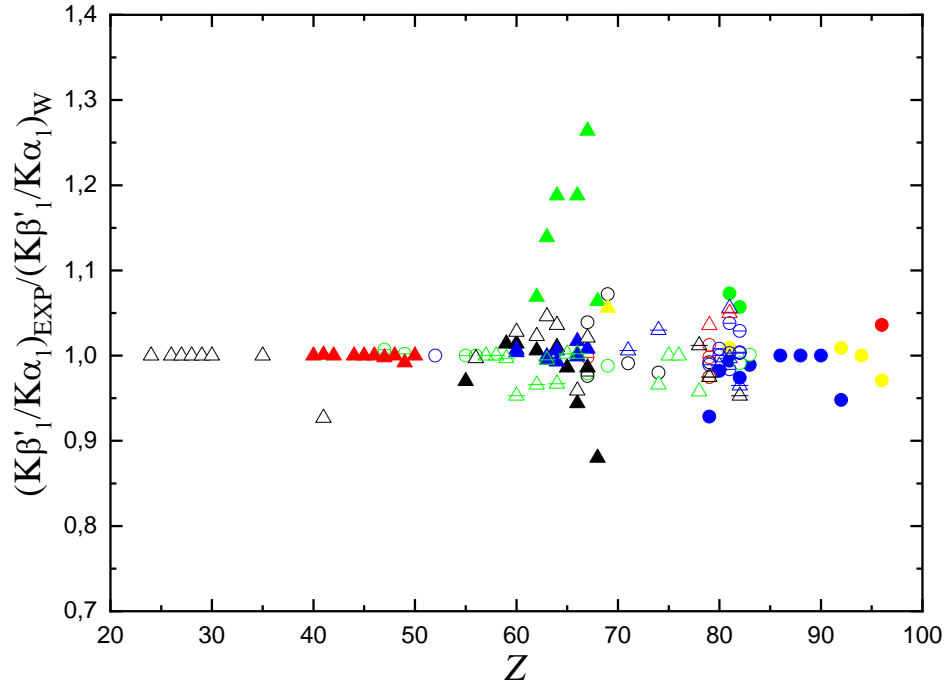
**Figure 2-8.** La distribution de  $(K\beta_3/K\beta_1)_{EXP} / (K\beta_3/K\beta_1)_W$  pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique  $Z$ . ● : (Salem et al., 1970) ; ● : (de Pinho et al., 1971) ; ● : (Dittner and Bemis., 1972) ; ● : (Ramos et al., 1977) ; ○ : (Campbell and Schulte, 1980) ; ○ : (Barreau and Borner., 1982) ; ○ : (Maxwell and Campbell., 1984) ; ○ : (Ito et al, 2020).



**Figure 2-9.** La distribution de  $(K\beta_2'/K\alpha_1)_{EXP} / (K\beta_2'/K\alpha_1)_W$  pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique  $Z$ . ● : (Hansen et al., 1970a) ; ● : (Hansen et al., 1970b) ; ● : (de Pinho et al., 1971) ; ● : (Schmidt-Ott et al., 1972) ; ● : (Helmer and Gehrke, 1979) ; ○ : (Dost et al., 1981) ; ○ : (Chand et al., 1988) ; ○ : (Chand et al., 1989) ; ○ : (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) ; ⊖ : (Campbell, 2001) ; ⊖ : (Ertugrul and Simsek, 2002) ; ⊖ : (Gürol, 2008) ; ⊖ : (Cengiz et al., 2010) ; ▲ : (Cengiz et al., 2011) ; ▲ : (Akman, 2016) ; ▲ : (Sakar et al., 2017).



**Figure 2-10.** La distribution de  $(K\beta_2'/K\beta_1)_{EXP} / (K\beta_2'/K\beta_1)_W$  pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique  $Z$ . ● : (Middleman et al., 1970) ; ● : (de Pinho et al., 1971) ; ● : (Dhal and Padhi., 1974) ; ● : (Dost et al., 1981) ; ○ : (Mehta et al., 1987b) ; ○ : (Chand et al., 1988) ; ○ : (Chand et al., 1989) ; ○ : (Martins et al., 1989) ; ⊖ : (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) ; ⊖ : (Padhi and Dhal., 1995) ; ⊖ : (Hajivaliei et al., 2000) ; ⊖ : (Campbell, 2001) ; ▲ : (Ximeng et al., 2001) ; ▲ : (Ertugrul and Simsek, 2001).



**Figure 2-11.** La distribution de  $(K\beta'_1/K\alpha_1)_{EXP} / (K\beta'_1/K\alpha_1)_W$  pour chaque référence dont sont extraites les bases de données selon le numéro atomique  $Z$ . ●: (Hansen et al., 1970a) ; ●: (Hansen et al., 1970b) ; ●: (de Pinho., 1971) ; ●: (Schmidt-Ott et al., 1972) ; ○: (Deconnick and Longree, 1977) ; ○: (Helmer and Gehrke, 1979) ; ○: (Dost et al., 1981) ; ○: (Marques et al., 1987) ; ⊖: (Chand et al., 1988) ; ⊖: (Chand et al., 1989) ; ⊖: (Martins et al., 1989) ; ⊖: (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) ; ▲: (Durak and Ozdemir, 2000) ; ▲: (Campbell, 2001) ; ▲: (Ximeng et al., 2001) ; ▲: (Demir and Sahin, 2007) ; ▲: (Apaydin, 2008b) ; △: (Gürol, 2008) ; △: (Cengiz et al., 2010) ; △: (Cengiz et al., 2011) ; △: (Sreevidya et al., 2013) ; △: (Anand et al., 2014) ; △: (Sreevidya et al., 2014) ; △: (Akman, 2016) ; △: (Sakar et al., 2017).

## 2.3 Références

- Akkuş, T., Şahin, Y., Yılmaz, D., & Tuzluca, F. N. (2017). *Can. J. Phys.* 95(3), 220-224.
- Akman, F., Durak, R., Kaçal, M. R., Turhan, M. F., & Akdemir, F. (2015). *Radiat. Phys. Chem.* 107, 75-81.
- Akman, F. (2016a). *Appl. Radiat. Isot.* 115, 295-303.
- Akman, F. (2016b). *Can. J. Phys.* 94, 679-686.
- Akman, F., Kaçal, M. R., & Durak, R. (2016a). *Radiat. Phys. Chem.* 119, 29-36.
- Akselsson, R., & Johansson, T. B. (1974). *Z. Phys.* 266, 245-255.
- Aksoy, C. A., Doğan, M. U., & Tıraşoğlu, E. (2015). *Radiat. Phys. Chem.* 107, 178-182.
- Alım, B., Han, İ., & Demir, L. (2016). *Appl. Radiat. Isot.* 112, 5-12.
- Amorim, P., Parente, F., Salgueiro, L., & Ferreira, J. G. (1987). *J. Phys. B: At. Mol.* 20(10), L295.
- Anand, L. F., Gudennavar, S. B., Joseph, D., & Bubbly, S. G. (2013). *Univ. J. Phys. Appl.* 1, 83-87.
- Anand, L. F., Gudennavar, S. B., Bubbly, S. G., & Kerur, B. R. (2014). *J. Exp. Theor. Phys.* 119, 392-397.

- Anand, L. F., Gudennavar, S. B., Bubbly, S. G., & Kerur, B. R. (2015). *J. Exp. Theor. Phys.* 121, 961–965.
- Anand, L. F., Gudennavar, S. B., Bubbly, S. G., & Kerur, B. R. (2018). *J. Exp. Theor. Phys.* 126, 1–7.
- Aylikci, V. O., Tıraşoğlu, E., Apaydin, G. Ö., Kaya, N. E., & Cengiz, E. R. (2007). *Phys. Scr.* 76, 31–36.
- Apaydin, G., Aylikci, V., Biyiklioğlu, Z., Tıraşoğlu, E., & Kantekin, H. (2008). *Chinese J. Chem. Phys.* 21(6), 591.
- Apaydin, G., Aylikci, V., Cengiz, E., Kaya, N. E., Kobya, Y., & Tıraşoğlu, E. (2008b). *Radiat. Phys. Chem.* 77, 923–927.
- Aylikci, V., Kahoul, A., Aylikci, N. K., Tıraşoğlu, E., & Karahan, I. H. (2015). *Spectrosc. Lett.* 48, 331–342.
- Bacaksız, E., Bolat, S. Ü., Çevik, U. Ğ., Doğan, O. N., & Abay, B. (2006). *X-Ray Spectrom.* 35, 165–168.
- Barreau, G., Börner, H. G., Von Egidy, T., & Hoff, R. W. (1982). *Z. Phys. A* 308(3), 209–213.
- Baydaş, E., Şahin, Y., & Büyükkasap, E. (2003). *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* 77(1), 87–93.
- Baydaş, E. (2005). *Instrum. Sci. Technol.* 33, 461–471.
- Bennal, A. S., & Badiger, N. M. (2006). *Nucl. Instrum. Methods B* 247, 161–165.
- Bennal, A. S., & Badiger, N. M. (2007). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 40, 2189–2199.
- Bennal, A. S., Niranjana, K. M., & Badiger, N. M. (2010). *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* 111, 1363–1371.
- Berényi, D., Hock, G., Ricz, S., Schlenk, B., & Valek, A. (1978). *J. Phys. B: Atom. Mol. Phys.* 11, 709–713.
- Bé, M. M., Lépy, M. C., Plagnard, J., & Duchemin, B. (1998). *Appl. Radiat. Isot.* 49, 1367–1372.
- Bhan, C., Rani, A., Chaturvedi, S. N., & Nath, N. (1987). *J. Anal. At. Spectrom.* 2, 411–412.
- Bhuinya, C. R., & Padhi, H. C. (1992). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 25, 5283–5287.
- Bhuinya, C. R., & Padhi, H. C. (1993). *Phys. Rev. A* 47, 4885–4890.
- Bissinger, G. A., Shafroth, S. M., & Waltner, A. W. (1972). *Phys. Rev. A* 5, 2046–2052.
- Bodart, F., Wilk, S., & Deconninck, G. (1975). *X-Ray Spectrom.* 4, 161–165.
- Boehm, F. (1970). *Phys. Lett. A* 33(7), 417–418.
- Borowski, K. J., Tham, F. S., & Preiss, I. L. (1987). *J. Anal. At. Spectrom.* 2, 73–76.
- Braziewicz, E., Braziewicz, J., Pajek, M., Osetynski, G. M., & Ploskonka, J. (1986). *J. Phys. B: Atom. Mol. Phys.* 19, 1471–1481.
- Büyükkasap, E., Küçükönder, A., Şahin, Y., & Erdoğan, H. (1994). *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 186, 471–475.
- Büyükkasap, E. (1997). *Appl. Spectrosc. Rev.* 32, 151–158.
- Çalışkan, B., Ertuğrul, M., Öz, E., & Erdoğan, H. (2002). *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* 74, 139–146.
- Campbell, J. L., & Schulte, C. W. (1980). *Phys. Rev. A* 22(2), 609.

- Campbell, J. L., Perujo, A., Teesdale, W. J., & Millman, B. M. (1986). *Phys. Rev. A* 33, 2410–2417.
- Campbell, J. L., McGhee, P. L., Maxwell, J. A., Ollerhead, R. W., & Whittaker, B. (1986b). *Phys. Rev. A* 33(2), 986.
- Campbell, J. L. (2001). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 34(17), 3543.
- Carlen, M., Dousse, J. C., Gasser, M., Hoszowska, J., Kern, J., Rhême, C., ... & Trautmann, D. (1992). *Z. Phys. D* 23, 71-79.
- Casnati, E., Tartari, A., Baraldi, C., & Napoli, G. (1985). *J. Phys. B: Atom. Mol. Phys.* 18, 2843–2849.
- Castellano, G., Bonetto, R., Trincavelli, J., Vasconcellos, M., & Campos, C. (2002). *X-Ray Spectrom.* 31(2), 184-187.
- Cengiz, E. R., Aylıkçı, V., Kaya, N. E., Apaydın, G., & Tıraşoğlu, E. (2008). *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 278, 89–96.
- Cengiz, E. R., Tıraşoğlu, E., Aylıkçı, V., & Apaydın, G. (2010b). *Radiat. Phys. Chem.* 79, 809–815.
- Cengiz, E., Bıyıklıoğlu, Z., Aylıkçı, N. K., Aylıkçı, V., Apaydın, G., Tıraşoğlu, E., & Kantekin, H. (2010a). *Chin. J. Chem. Phys.* 23, 138–144.
- Cengiz, E. R., Tıraşoğlu, E., Apaydın, G., Aylıkçı, V., Aylıkçı, N. K., & Aksoy, C. A. (2011). *Radiat. Phys. Chem.* 80, 328–334.
- Cengiz, E. R., Ozkendir, O. M., Kaya, M., Tirasoglu, E., Karahan, I. H., Kimura, S., & Hajiri, T. (2014). *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* 192, 55–60.
- Cengiz, E., Doğan, M., Biyiklioglu, Z., Cakir, D., Tirasoglu, E., & Apaydin, G. (2017). *Can. J. Phys.* 95, 125–129.
- Cengiz, E., Köksal, O. K., Apaydın, G., Karahan, İ. H., & Ünal, E. (2019). *Appl. Radiat. Isot.* 144, 24–28.
- Çevik, U. Ğ., Değirmencioglu, I., Ertuğral, B., Apaydın, G., & Baltaş, H. (2005). *Eur. Phys. J. D* 36, 29–32.
- Çevik, U. Ğ., Kaya, S., Ertugral, B., Baltas, H. A., & Karabıdak, S. M. (2007). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 262, 165–170.
- Chand, B., Goswamy, J., Mehta, D., Singh, S., Garg, M. L., Singh, N., & Trehan, P. N. (1988). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A: Accel. Spectrom. Detect. Assoc. Equip.* 273, 310–314.
- Chand, B., Goswamy, J., Mehta, D., Singh, N., & Trehan, P. N. (1989). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A: Accel. Spectrom. Detect. Assoc. Equip.* 284, 393–398.
- Chang, C. N., Chen, C. T., Yen, C. C., Wu, Y. H., Su, C. W., & Chiou, S. K. (1994). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 27(21), 5251–5256.
- Cipolla, S. J. (1999). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A: Accel. Spectrom. Detect. Assoc. Equip.* 422, 546–550.
- Close, D. A., Bearnse, R. C., Malanify, J. J., & Umbarger, C. J. (1973). *Phys. Rev. A* 8, 1873–1879.
- Coelho, L. F., Gaspar, M. B., & Eichler, J. (1989). *Phys. Rev. A* 40, 4093–4096.
- Criswell, T. L., & Gray, T. J. (1974). *Phys. Rev. A* 10, 1145–1150.
- Daoudi, S., Kahoul, A., Aylıkci, N. K., Sampaio, J. M., Marques, J. P., Aylıkci, V., & Deghfel, B. (2020). *At. Data Nucl. Data Tables* 132, 101308–40.
- Dasmahapatra, B., & Mukherjee, A. (1995). *Phys. Rev. A* 51(5), 3546–3550.

- de Pinho, A. G. (1971). *Phys. Rev. A* 3, 905–908.
- Deconinck, G., & Longree, M. (1977). *Phys. Rev. A* 16, 1390–1400.
- Demir, D., & Şahin, Y. (2007a). *X-Ray Spectrom.* 36, 178–184.
- Demir, D., & Şahin, Y. (2007b). *Eur. Phys. J. D* 42, 211–216.
- Demir, D., & Şahin, Y. (2013). *Radiat. Phys. Chem.* 85, 64–69.
- Desclaux, J. (1975). *Comput. Phys. Commun.* 9(1), 31–45.
- Dhal, B. B., & Padhi, H. C. (1994). *Phys. Rev. A* 50, 1096–1100.
- Dittner, P. F., & Bemis Jr, C. E. (1972). *Phys. Rev. A* 5(2), 481.
- Doğan, O., & Bacaksız, E. (2005). *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* 95, 133–139.
- Doğan, M., Tirasoglu, E., Karahan, İ. H., Aylikci, N. K., Aylikci, V., Kahoul, A., Cetinkara, H. A., and Serifoglu, O (2013). *Radiat. Phys. Chem.*, 87, 6–15.
- Doğan, M., Aylikci, V., Tıraşoglu, E., & Karahan, İ. H. (2014b). *J. radiat. res. appl. sci.* 7, 241–248.
- Doğan, M., Cengiz, E. R., Dilber, G. Ü., Nas, A. S., Tıraşoğlu, E., & Kantekin, H. A. (2014a). *Radiat. Phys. Chem.* 101, 30–35.
- Doğan, M., Olgar, M. A., Cengiz, E., & Tıraşoglu, E. (2016). *Radiat. Phys. Chem.* 126, 111–115.
- Dost, M., Hoppenau, S., Rohl, S., & Schonfeldt, W. A. (1981). *J. Phys. B: Atom. Mol. Phys.* 14, 3153–1361.
- Durak, R., & Özdemir, Y. (1998). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 31, 3575–3581.
- Durak, R., & Özdemir, Y. (2000). *X-Ray Spectrom.* 29, 151–154.
- Ertuğrul, M., Doğan, O., & Şimşek, Ö. (1997). *Radiat. Phys. Chem.* 49, 221–224.
- Ertuğrul, M., Şimşek, Ö., Doğan, O., Öz, E., Söğüt, Ö., & Turgut, Ü. (2001a). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 179, 465–468.
- Ertuğrul, M., Söğüt, Ö., Simsek, Ö., & Büyükkasap, E. (2001b). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 34(5), 909–914.
- Ertuğrul, M. (2002a). *Anal. Chim. Acta* 454, 327–334.
- Ertuğrul, M. (2002b). *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 252(3), 545–550.
- Ertuğrul, M. (2002c). *J. Anal. At. Spectrom.* 17(1), 64–68.
- Ertuğrul, M., Karabulut, A., & Budak, G. (2002). *Radiat. Phys. Chem.* 64(1), 1–3.
- Ertugrul, M., & Simsek, Ö. (2002). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 35(3), 601.
- Ertuğrul, M. (2003). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 36, 2275–2282.
- Ertuğral, B. (2007). *Eur. Phys. J. D* 44, 313–317.
- Ertuğral, B., Apaydın, G., Çevik, U., Ertuğrul, M., & Kobya, A. İ. (2007). *Radiat. Phys. Chem.* 76, 15–22.
- George, L., Gudennavar, S. B., Joseph, D., & Bubbly, S. G. (2014). *Can. J. Phys.* 92, 1301–1304.
- Gójska, A. M., Koziół, K., Miśta-Jakubowska, E. A., & Diduszko, R. (2020). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.*, 468, 65–70.

- Gorceix, O., Indelicato, P., & Desclaux, J. P. (1987). *J. Phys. B: Atom. Mol. Phys.* 20(4), 639–649.
- Gürol, A. (2008). *Appl Radiat Isot.* 66(3), 372-376.
- 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., Nirmal Singh, Govil, I. M. (2000). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 160, 203–215.
- Han, I., Şahin, M., Demir, L., & Şahin, Y. (2007). *Appl. Radiat. Isot.* 65, 669–675.
- Han, I., Şahin, M., & Demir, L. (2008). *Can. J. Phys.* 86, 361–367.
- Han, I., & Demir, L. (2009). *Phys. Rev. A* 80, 052503–6.
- Han, I., & Demir, L. (2010a). *Phys. Rev. A* 82, 042514–6.
- Han, I., & Demir, L. (2010b). *Phys. Rev. A* 81, 062514–5.
- Han, I., & Demir, L. (2010c). *Ann. Nucl. Energy* 37, 822–826.
- Han, I., & Demir, L. (2010d). *Appl. Radiat. Isot.* 68, 1035–1039.
- Hansen, J. S., Freund, H. U., & Fink, R. W. (1970a). *Nucl. Phys. A* 153, 465–468.
- Hansen, J. S., Freund, H. U., & Fink, R. W. (1970b). *Nucl. Phys. A* 142(3), 604-608.
- Hatzistergos, M. S., & Lifshin, E. (2006). *J. Appl. Phys.* 100, 124312–9.
- Hölzer, G., Fritsch, M., Deutsch, M., Härtwig, J., & Förster, E. (1997). *Phys. Rev. A* 56(6), 4554.
- Hoszowska, J., & Dousse, J. C. (1996). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 29(9), 1641.
- İçelli, O., & Erzeneoğlu, S. (2002). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 197, 39–42.
- Indelicato, P., & Desclaux, J. P. (1990). *Phys. Rev. A* 42(9), 5139–5149.
- Ito, Y., Tochio, T., Fukushima, S., Tabora, A., Sampaio, J. M., Marques, J. P., ... & Santos, J. P. (2015). *J Quant Spectrosc Radiat Transf.* 151, 295-299.
- Ito, Y., Tochio, T., Yamashita, M., Fukushima, S., Vlaicu, A. M., Marques, J. P., ... & Parente, F. (2020). *Phys. Rev. A* 102(5), 052820.
- Jenkins, R., Manne, R., Robin, R., and Senemaud, C. (1991). *Pure Appl. Chem.* 63(5), 735-746
- Jonnard, P., Giorgi, G., & Bonnelle, C. (2002). *Phys. Rev. A* 65, 032507–6.
- Kaçal, M. R., Han, İ., & Akman, F. (2015). *Appl. Radiat. Isot.* 95, 193–199.
- Kahoul, A., Aylikci, N. K., Aylikci, V., Deghfel, B., Kasri, Y., & Nekkab, M. (2014). *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 7(3), 346-362.
- Kalayci, Y., Aydinuraz, A., Tugluoglu, B., & Mutlu, R. H. (2007). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 255, 438–440.
- Kamal, Z., McKee, J. S., Ramsay, W. D., Al-Ghazi, M. S., Birchall, J., Durocher, J. J., & Videla, N. (1980). *Phys. Lett. A* 75, 475–477.
- Kasagi, J., Yoshida, K., Murakami, T., & Harada, H. (1986). *Phys. Rev. A* 34(3), 2480–2482.
- Kavčič, M., Karydas, A. G., & Zarkadas, C. (2004). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 222(3-4), 601-608.

- Kaya, N. E., Tıraşođlu, E., Aylikci, V., & Cengiz, E. R. (2007). *AIP Conf. Proc.* 899, 565–565.
- Keith, H. D., & Loomis, T. C. (1978). *X-Ray Spectrom.* 7(4), 217–224.
- Khan, M. R., & Karimi, M. (1980). *X-Ray Spectrom.* 9(1), 32–35.
- Khelil, N. A., & Gray, T. J. (1975). *Phys. Rev. A* 11, 893–900.
- Köksal, O. K., Apaydın, G., Cengiz, E., & Karabulut, K. (2016). *J. Phys. Conf. Ser.* 707, 012004–6.
- Köksal, O. K., Apaydın, G., Bıyıklıođlu, Z., Bekircan, O., Cengiz, E., & Karabulut, K. (2018). *AIP Conf. Proc.* 1935, 140001–5.
- Küçükönder, A., Şahin, Y., & Büyükkasap, E. (1993a). *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 170, 125–132.
- Küçükönder, A., Şahin, Y., & Büyükkasap, E. (1993c). *Il Nuovo Cimento D* 15, 1295–1299.
- Küçükönder, A., Şahin, Y., Büyükkasap, E., & Kopya, A. (1993b). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 26, 101–105.
- Kup Aylikci, N., Tıraşođlu, E., Apaydın, G., Cengiz, E., Aylikci, V., & Bakkalođlu, Ö. F. (2009). *Chem. Phys. Lett.* 475, 135–140.
- Kup Aylikci, N., Tıraşođlu, E. N., Karahan, I. H., Aylikci, V., Cengiz, E. R., & Apaydın, G. Ö. (2010a). *Chem. Phys. Lett.* 484, 368–373.
- Kup Aylikci, N., Tıraşođlu, E. N. G. İ. N., Karahan, İ. H., Aylikci, V., Eskil, M., & Cengiz, E. R. H. A. N. (2010b). *Chem. Phys.* 377(1-3), 100–108.
- Kup Aylikci, N., Aylikci, V., Kahoul, A., Tıraşođlu, E. N., Karahan, I. H., & Cengiz, E. R. (2011). *Phys. Rev. A* 84, 042509–10.
- Kup Aylikci, N., Sampaio, J.M., Kahoul, A., Aylikci, V., Karahan, I.H., Guerra, M., Santos, J.P., Marques, J.P., and Tıraşođlu, E. (2017). *X-Ray Spectrom.* 46(4), 242–251.
- LaBrecque, J. J., & Rosales, P. A. (1990). *J. Anal. At. Spectrom.* 5, 269–271.
- Lear, R., & Gray, T. J. (1973). *Phys. Rev. A* 8, 2469–2474.
- Li, T. K., & Watson, R. L. (1974). *Phys. Rev. A* 9, 1574–1581.
- Madeira, T. I., Sampaio, J. M., Guerra, M., Parente, F., Indelicato, P., Santos, J. P., & Marques, J. P. (2015). *Phys. Scr.* 90, 054009-3.
- Marchetti, V., & Franck, C. (1989). *Phys. Rev. A* 39, 647–657.
- Marques, M. I., Martins, M. C., & Ferreira, J. G. (1978). *Jpn. J. Appl. Phys.* 17, 116–117.
- Marques, M. I., Martins, M. C., & Ferreira, J. G. (1980). *J. Phys. B: Atom. Mol. Phys.* 13, 41–45.
- Marques, M. I., Martins, M. C., & Ferreira, J. G. (1987). *J. Phys. Colloq.* 48(C9), C9-601.
- Martins, M. C., Marques, M. I., Parente, F., & Ferreira, J. G. (1989). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 22(20), 3167.
- Martins, M. C., Marques, M. I., & Ferreira, J. G. (1981). In *Inner-Shell and X-Ray Physics of Atoms and Solids*. Springer, Boston, MA, 213-216
- Maxwell, J. A., & Campbell, J. L. (1984). *Phys. Rev. A* 29(3), 1174.
- McCrary, J. H., Singman, L. V., Ziegler, L. H., Looney, L. D., Edmonds, C. M., & Harris, C. E. (1971). *Phys. Rev. A* 4, 1745–1750.
- McDaniel, F. D., Gray, T. J., & Gardner, R. K. (1975). *Phys. Rev. A* 11, 1607–1613.

- Mehta, D., Garg, M. L., Singh, J., Singh, N., Cheema, T. S., & Trehan, P. N. (1986). Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A: Accel. Spectrom. Detect. Assoc. Equip. 245, 447–454.
- Mehta, D., Singh, S., Verma, H. R., Singh, N., & Trehan, P. N. (1987b). Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A: Accel. Spectrom. Detect. Assoc. Equip. 254, 578–582.
- Mehta, D., Chand, B., Singh, S., Garg, M. L., Singh, N., Cheema, T. S., & Trehan, P. N. (1987a). Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A: Accel. Spectrom. Detect. Assoc. Equip. 260(1), 157–159.
- Ménesguen, Y., Lépy, M. C., Hönicke, P., Müller, M., Unterumsberger, R., Beckhoff, B., Hoszowska, J., Dousse, J.-Cl., Błachucki, W., Ito, Y., Yamashita, M., & Fukushima S. (2017). Metrologia 55, 56–66.
- Middleman, L. M., Ford, R. L., & Hofstadter, R. (1970). Phys. Rev. A 2(4), 1429.
- Mirji, S., Bennal, A. S., Badiger, N. M., Tiwari, M. K., & Lodha, G. S. (2015a). Chem. Phys. Lett. 634, 271–276.
- Mirji, S., Bennal, A. S., Krishnananda, Badiger, N. M., Tiwari, M. K., & Lodha, G. S. (2015b). Can. J. Phys. 93, 760–764.
- Mistry, V. D., & Quarles, C. A. (1971a). Nucl. Phys. A 164(1), 219–224.
- Mistry, V. D., & Quarles, C. A. (1971b). Phys. Lett. A 36, 221–222.
- Mohler, R. E., & Cothorn, C. R. (1973). Nucl. Instrum. Meth. 113, 599–600.
- Möser, B. (1985). Cryst. Res. Technol. 20, 1503–1508.
- Nelson, G. C., & Saunders, B. G. (1969). Phys. Rev. E 188(1), 108.
- Nelson, G. C., Saunders, B. G., & Salem, S. I. (1970). At. Data Nucl. Data Tables 1, 377–384.
- Onder, P., Turşucu, A., & Demir, D. (2013). Sci. Technol. Nucl. Install. 2013, 285190–6
- Öz, E. (2006). J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. 97, 41–50.
- Özdemir, Y., Kavaz, E., Ahmadi, N., Ertuğrul, M., & Ekinci, N. (2016). Appl. Radiat. Isot. 115, 147–154.
- Padhi, H. C., & Dhal, B. B. (1995). Solid State Commun. 96, 171–173.
- Paić, G., & Pečar, V. (1976). Phys. Rev. A 14, 2190–2192.
- Pawłowski, F., Polasik, M., Raj, S., & Padhi, H. C. (2000). Acta Phys. Pol. B 31, 495–499.
- Pawłowski, F., Polasik, M., Raj, S., Padhi, H. C., & Basa, D. K. (2002). Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At. 195, 367–373.
- Perino, E., Deluigi, M. T., Olsina, R., & Riveros, J. A. (2002). X-Ray Spectrom. 31, 115–119.
- Perişanoğlu, U., & Demir, L. (2015). Radiat. Phys. Chem. 110, 119–125.
- Perişanoğlu, U., Alım, B., Uğurlu, M., & Demir, L. (2016). Appl. Radiat. Isot. 115, 183–189.
- Perişanoğlu, U., Kavaz, E., Urtekin, E., & Demir, L. (2020). Appl. Radiat. Isot. 156, 108980–6.
- Perujo, A., Maxwell, J. A., Teesdale, W. J., & Campbell, J. L. (1987). J. Phys. B: Atom. Mol. Phys. 20, 4973–4982.
- Porikli, S. E., & Kurucu, Y. (2008a). Appl. Radiat. Isot. 66, 1381–1386.
- Porikli, S., & Kurucu, Y. (2008b). Instrum. Sci. Technol. 36, 341–354.

- Porikli, S. E., Demir, D., & Kurucu, Y. (2008). *Eur. Phys. J. D* 47, 315–323.
- Porikli, S., & Kurucu, Y. (2011a). *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 289, 739–750.
- Porikli, S., & Kurucu, Y. (2011b). *Radioisotopes-Applications in Physical Sciences* book. Nirmal Singh, Chapter, 5, 89-114.
- Porikli, S., Han, I., Yalçın, P., & Kurucu, Y. (2011). *Spectrosc. Lett.* 44, 38–46.
- Raj, S., Padhi, H. C., & Polasik, M. (1998b). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 145, 485–491.
- Raj, S., Dhal, B. B., Padhi, H. C., & Polasik, M. (1998a). *Phys. Rev. B* 58(14), 9025–9029.
- Raj, S., Padhi, H. C., Basa, D. K., Polasik, M., & Pawłowski, F. (1999a). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 152, 417–424.
- Raj, S., Padhi, H. C., Polasik, M., & Basa, D. K. (1999b). *Solid State Commun.* 110, 275–279.
- Raj, S., Padhi, H. C., & Polasik, M. (1999c). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 155, 143–152.
- Raj, S., Padhi, H. C., & Polasik, M. (2000a). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 160, 443–448.
- Raj, S., Padhi, H. C., Polasik, M., Pawłowski, F., & Basa, D. K. (2000b). *Solid State Commun.* 116, 563–567.
- Raj, S., Padhi, H. C., Polasik, M., Pawłowski, F., & Basa, D. K. (2001). *Phys. Rev. B* 63, 073109–4.
- Raj, S., Padhi, H. C., Palit, P., Basa, D. K., Polasik, M., & Pawłowski, F. (2002). *Phys. Rev. B* 65, 193105–4.
- Ramos, M. T., Ferreira, J. G., Carvalho, M. L., & Salgueiro, L. (1977). *J. Phys. B: At. Mol.* 10(11), 2101.
- Rao, N. V., Reddy, S. B., Satyanarayana, G., & Sastry, D. L. (1986). *Physica B+ C* 138, 215–218.
- Rao, N. V., Reddy, S. B., & Sastry, D. L. (1987). *Il Nuovo Cimento A* 97, 1–8.
- Reohle, L., Lehnert, U., & Zschornack, G. (1996). *X-Ray Spectrom.* 25, 295–300.
- Richard, P., Bonner, T. I., Furuta, T., Morgan, I. L., & Rhodes, J. R. (1970). *Phys. Rev. A* 1, 1044–1048.
- Saleh, N. S., Al-Sharif, M. E., Al-Saleh, K. A., & Jabr, I. J. (1989). *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 131(2), 353-357.
- Salem, S. I., & Wimmer, R. J. (1970). *Phys. Rev. A* 2(4), 1121.
- Salem, S. I., Saunders, B. G., & Nelson, G. C. (1970). *Phys. Rev. A* 1(6), 1563.
- Salem, S. I., Falconer, T. H., & Winchell, R. W. (1972). *Phys. Rev. A* 6, 2147–2150.
- Salem, S. I., Panossian, S. L., & Krause, R. A. (1974). *At. Data Nucl. Data Tables* 14(2), 91-109.
- Sampaio, J. M., Madeira, T. I., Guerra, M., Parente, F., Santos, J. P., Indelicato, P., & Marques, J. P. (2015). *Phys. Rev. A* 91, 052507-7.
- Sampaio, J. M., Ekman, J., Tee, B. P. E., du Rietz, R., Lee, B. Q., Pires, M. S., Jönsson, P., Kibédi, T., Vos, M., Stuchbery, A. E., & Marques, J. P. (2022). *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* 277, 107964.

- Saydam, M., Aksoy, C. A., Cengiz, E. R., Alaşalvar, C., Tıraşođlu, E., & Apaydın, G. (2012). *Radiat. Phys. Chem.* 81, 1837–1841.
- Schmidt-Ott, W. D., & Fink, R. W. (1972). *Z. Phys. A Hadrons nucl.* 249, 286–293.
- Schmidt-Ott, W.-D., Hansen, J. S., & Fink, R. W. (1972). *Z. Phys., A Hadrons nucl.* 250, 191–197.
- Scofield, J. H. (1974). *At. Data Nucl. Data Tables* 14(2), 121-137.
- Shearer-Izumi, W., Sasagase, M., Sato, M., & Mikumo, T. (1980). *J. Phys. B: Atom. Mol. Phys.* 13, 493–502.
- Sieber, K., Mohammedein, A. M. M., Musiol, G., Reiche, I., & Zschornack, G. (1992). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 68, 292-299.
- Singh, B., Kumar, S., Prajapati, S., Singh, B. K., Llovet, X., & Shanker, R. (2018). *Indian J. Phys.* 92, 827–833.
- Sita Mahalakshmi, N., Premachand, K., & Raju, M. R. (2014). *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 300, 153–156.
- Slivinsky, V. W., & Ebert, P. J. (1969). *Phys. Lett. A* 29, 463–464.
- Slivinsky, V. W., & Ebert, P. J. (1972a). *Phys. Rev. A* 5, 1581–1586.
- Slivinsky, V. W., & Ebert, P. J. (1972b). (No. UCRL--73630). California Univ., Livermore. Lawrence Livermore Lab.
- Smith, D. G., Reed, S. J., & Ware, N. G. (1974). *X-Ray Spectrom.* 3, 149–150.
- Smither, R. K., Freedman, M. S., & Porter, F. T. (1970). *Phys. Lett. A* 32(6), 405-407.
- Söğüt, Ö., Büyükkasap, E., Küçükönder, A., Ertuđul, M., & Şimşek, Ö. (1995). *Appl. Spectrosc. Rev.* 30, 175–180.
- Söğüt, Ö., Seven, S., Baydaş, E., Büyükkasap, E., & Küçükönder, A. (2001). *Spectrochim. Acta B: At. Spectrosc.* 56, 1367–1374.
- Söğüt, O., Büyükkasap, E., & Erdoğan, H. (2002). *Radiat. Phys. Chem.* 64, 343–348.
- Söğüt, Ö., Bütün, H., Karahan, İ. H., Tıraşođlu, E., & Apaydın, G. (2008). *Phys. Scr.* 78, 065701–7.
- Söğüt, Ö., Kerli, S., Cengiz, E., & Apaydın, G. (2018). *Acta Phys. Pol. A* 133, 1124–1128.
- Sreevidya, P. V., Gudennavar, S. B., & Joseph, D. (2013). *Proceedings of the DAE Symp. Nucl. Phys.* 58, 524-525.
- Sreevidya, P. V., Gudennavar, S. B., Joseph, D., & Bubbly, S. G. (2014). *Can. J. Phys.* 92, 1489–1493.
- Stoev, K. N., & Dlouhy, J. F. (1993). *Adv. X-Ray Anal.* 37, 697–709.
- Şahin, M. E., Demir, L., & Budak, G. (2005). *Appl. Radiat. Isot.* 63, 141–145.
- Tawara, H., Ishii, K., Morita, S., Saito, H., Oyamada, M., Kaji, H., & Chu, T. C. (1975). *Phys. Lett. A* 54, 171–173.
- Tham, F. S., & Preiss, I. L. (1988). *J. Anal. At. Spectrom.* 3, 1127–1131.
- Turşucu, A., Önder, P., Erođlu, M., & Demir, D. (2012). *Appl. Radiat. Isot.* 70, 1509–1511.
- Turşucu, A., & Demir, D. (2013). *Appl. Radiat. Isot.* 77, 23–26.
- Turşucu, A., Önder, P., and Demir, D. (2013). *Int. J. Phys. Sci.* 8, 103-108
- Uđurlu, M., Alım, B., Han, I., & Demir, L. (2017). *J. Alloys Compd.* 695, 2619–2627.

- Uğurlu, M., Alım, B., & Demir, L. (2019). *Radiat. Phys. Chem.* 165, 108396–8.
- Uğurlu, M. (2019). *Acta Phys. Pol. A* 136, 983–987.
- Uğurlu, M., & Demir, L. (2020). *J. Mol. Struct.* 1203, 127458.
- Wilson, S. R., McDaniel, F. D., Rowe, J. R., & Duggan, J. L. (1977). *Phys. Rev. A* 16, 903–912.
- Winters, L. M., Macdonald, J. R., Brown, M. D., Ellsworth, L. D., & Chiao, T. (1973). *Phys. Rev. A* 7, 1276–1288.
- Ximeng, C., Zhaoyuan, L., Xiaohong, C., Shuxun, M., & Hualin, Z. (2001). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 34, 3563–3568.
- Ximeng, C., Qiang, W., Zhaoyuan, L., Xiaohong, C., Shuxun, M., & Hualin, Z. (2003). *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 258, 189–190.
- Yalçın, P. (2007). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 254, 182–186.
- Yılmaz, R. (2017). *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 10, 172–177.
- Yılmaz, R. (2018). *Acta Phys. Pol. A* 133, 1227–1230.
- Zararsız, A. (1994). *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 185, 193–197.

# Chapitre 3

## Calcul Théorique Et Semi-Empirique

**E**n physique, les modèles théoriques et semi-empiriques sont tous deux utilisés pour décrire et prédire des phénomènes. Dans notre cas, ce phénomène étant l'émission de rayons X issus de couches K, la mesure dans laquelle ces deux modèles s'appuient sur des données et des paramètres empiriques varie cependant. En fait, le fondement de chaque modèle théorique est constitué de principes fondamentaux et de formules mathématiques. Sans s'appuyer sur des données expérimentales, le modèle théorique est souvent extrêmement rigoureux et permet d'apporter des connaissances sur le comportement des systèmes dans différentes conditions. D'autre part, les modèles semi-empiriques utilisent des éléments théoriques ainsi que des données empiriques ou des coefficients déterminés expérimentalement, afin d'améliorer l'adéquation du modèle à la réalité.

### 3.1 Calcul théorique

Afin d'obtenir un calcul de haute précision des états atomiques, la corrélation électron-électron et les contributions QED<sup>9</sup> ont fait l'objet d'investigations théoriques. Ces effets peuvent être évalués par de nombreuses méthodes, dont la méthode multi-configurationnelle de Dirac-Fock (MCDF). Cette méthode a été implémentée dans le code MCDFGME, créé par J. P. Desclaux en 1975 et perfectionné depuis avec la collaboration de P. Indelicato, et que nous avons utilisé dans notre travail pour calculer les niveaux d'énergie et les taux de transition. L'acronyme MCDFGME signifie Multi Configuration Dirac Fock and General Matrix Element. Ce programme calcule les énergies totales, les taux de transition et plusieurs autres paramètres à l'aide de fonctions d'onde numériques tabulées sur une grille. Le code résout l'hamiltonien de Dirac-Coulomb-Breit, comprenant des corrections d'électrodynamique quantique (QED), par la méthode auto-cohérente, avec certains termes d'ordre supérieur qui sont calculés à l'aide de la théorie des perturbations (Des détails supplémentaires sont donnés dans la section suivante). Notez que ce code calcule toutes les transitions possibles entre les états initial et final, nous fournissant ainsi des énergies très précises. En plus du calcul des énergies et des taux de transition, ce code peut également calculer les sections efficaces de photoionisation (avec le choix d'utiliser des orbitales non orthonormalisées entre les deux états), les taux de transition Auger, les constantes de structure hyperfine, le facteur de Landé, le produit scalaire des fonctions d'onde totales, et d'autres paramètres. Le code, cependant, est incapable de traiter les transitions Auger et celles à deux photons avec des orbitales non orthogonales entre les états initial et final. En plus des électrons, ce code peut également traiter des particules "exotiques" telles que les muons, les kaons, etc. (avec la restriction qu'une seule particule "exotique" puisse être ajoutée aux électrons). L'équation de Klein Gordon est résolue à la place de l'équation de Dirac lorsque la particule "exotique" est un boson. La figure 3-1 illustre une des sorties de données de la version 2019\_1 du code. La sortie en question représente les énergies (calculées en eV) de l'élément  $_{48}\text{Cd}$  pour différentes configurations électroniques à un trou,

---

<sup>9</sup> QED est l'acronyme du terme « Quantum electrodynamics » qui signifie en français Électrodynamique quantique, et qui est une théorie physique qui tente d'unifier l'électromagnétisme et la mécanique quantique.

ainsi que les énergies (calculées en eV) et taux de transitions radiatives (calculée en  $s^{-1}$ ) de toutes les raies issues de la couches K pour ce même élément. Quant à la figure 3-2, elle illustre une autre sortie du code où sont calculés différents paramètres atomiques pour la transition  $K\alpha_2$  ( $K \rightarrow L_2$ ) de  ${}_{48}\text{Cd}$ .

### 3.1.1 Base théorique du modèle

Si l'on veut réaliser des calculs précis de structure atomique, il est impératif de tenir compte des effets relativistes. Il faudrait donc résoudre un problème relativiste à  $N$  corps, ce qui ne peut être fait de façon exacte actuellement. Toutefois, il existe deux approches alternatives de calcul : la théorie des perturbations ou un principe variationnel. Cette deuxième approche est appliquée dans la méthode multi-configurationnelle Dirac-Fock (MCDHF). Cette dernière est une extension directe de la méthode Hartree-Fock non-relativiste. Les états d'énergie du système atomique à  $N$  électrons sont décrits dans la méthode MCDHF par l'hamiltonien de Dirac-Coulomb-Breit (DCB) (Sampaio, 2022):

$$H_{\text{DCB}} = \sum_{a=1}^N h_a^{\text{D}} + \sum_{a=1}^{N-1} \sum_{b=a+1}^N V_{ab}^{\text{CB}} \quad (3 - 1)$$

1	001 .... K -Auger-> L1 ...	mdf							
2	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
3	"="=, 1, 5s2, [1S0]#1LS1, 1.00000, 1, 5s2, [1S0]#1LS1, 1.00000,,			-143845.84483,	-143845.84483,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
4	>, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 5s2, [1S0]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-143845.84483,	681.12417,	1.16753E+14,	auger	
5	002 .... K -Radiative-> L2 ...	mdf							
6	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
7	"="=, 1, 2p*1, [2P1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 2p*1, [2P1/2]#1LS1, 1.00000,,			-148293.88454,	-148293.88454,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
8	>, 1, 1s1 2p*2, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 2p*1, [2P1/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-148293.88454,	22982.37172,	2.67625E+15,	E1	
9	003 .... K -Radiative-> L3 ...	mdf							
10	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
11	"="=, 1, 2p3, [2P3/2]#1LS1, 1.00000, 1, 2p3, [2P3/2]#1LS1, 1.00000,,			-148483.70997,	-148483.70997,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
12	>, 1, 1s1 2p4, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 2p3, [2P3/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-148483.70997,	23172.19715,	5.03564E+15,	E1,M2	
13	004 .... K -Radiative-> M1 ...	mdf							
14	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
15	"="=, 1, 3s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 3s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-151248.84915,	-151248.84915,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
16	>, 1, 1s1 3s2, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 3s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-151248.84915,	25937.33633,	3.61048E+10,	M1	
17	005 .... K -Radiative-> M2 ...	mdf							
18	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
19	"="=, 1, 3p*1, [2P1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 3p*1, [2P1/2]#1LS1, 1.00000,,			-151367.96764,	-151367.96764,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
20	>, 1, 1s1 3p*2, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 3p*1, [2P1/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-151367.96764,	26056.45482,	4.69898E+14,	E1	
21	006 .... K -Radiative-> M3 ...	mdf							
22	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
23	"="=, 1, 3p3, [2P3/2]#1LS1, 1.00000, 1, 3p3, [2P3/2]#1LS1, 1.00000,,			-151402.68789,	-151402.68789,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
24	>, 1, 1s1 3p4, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 3p3, [2P3/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-151402.68789,	26091.17507,	9.12782E+14,	E1,M2	
25	007 .... K -Radiative-> M4 ...	mdf							
26	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
27	"="=, 1, 3d*3, [2D3/2]#1LS1, 1.00000, 1, 3d*3, [2D3/2]#1LS1, 1.00000,,			-151611.58899,	-151611.58899,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
28	>, 1, 1s1 3d*4, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 3d*3, [2D3/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-151611.58899,	26300.07617,	3.34783E+12,	M1+E2	
29	008 .... K -Radiative-> M5 ...	mdf							
30	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
31	"="=, 1, 3d5, [2D5/2]#1LS1, 1.00000, 1, 3d5, [2D5/2]#1LS1, 1.00000,,			-151618.34750,	-151618.34750,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
32	>, 1, 1s1 3d6, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 3d5, [2D5/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-151618.34750,	26306.83468,	4.67083E+12,	E2+M3	
33	009 .... K -Radiative-> N1 ...	mdf							
34	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
35	"="=, 1, 4s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 4s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-151905.96152,	-151905.96152,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
36	>, 1, 1s1 4s2, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 4s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-151905.96152,	26594.44870,	7.38419E+09,	M1	
37	010 .... K -Radiative-> N2 ...	mdf							
38	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
39	"="=, 1, 4p*1, [2P1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 4p*1, [2P1/2]#1LS1, 1.00000,,			-151945.68600,	-151945.68600,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
40	>, 1, 1s1 4p*2, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 4p*1, [2P1/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-151945.68600,	26634.17318,	8.29154E+13,	E1	
41	011 .... K -Radiative-> N3 ...	mdf							
42	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
43	"="=, 1, 4p3, [2P3/2]#1LS1, 1.00000, 1, 4p3, [2P3/2]#1LS1, 1.00000,,			-151951.46534,	-151951.46534,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
44	>, 1, 1s1 4p4, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 4p3, [2P3/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-151951.46534,	26639.95251,	1.60401E+14,	E1,M2	
45	012 .... K -Radiative-> N4 ...	mdf							
46	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
47	"="=, 1, 4d*3, [2D3/2]#1LS1, 1.00000, 1, 4d*3, [2D3/2]#1LS1, 1.00000,,			-152012.91112,	-152012.91112,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
48	>, 1, 1s1 4d*4, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 4d*3, [2D3/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-152012.91112,	26701.39830,	4.74909E+11,	M1+E2	
49	013 .... K -Radiative-> N5 ...	mdf							
50	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
51	"="=, 1, 4d5, [2D5/2]#1LS1, 1.00000, 1, 4d5, [2D5/2]#1LS1, 1.00000,,			-152013.58900,	-152013.58900,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
52	>, 1, 1s1 4d6, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 4d5, [2D5/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-152013.58900,	26702.07618,	6.52653E+11,	E2+M3	
53	014 .... K -Radiative-> O1 ...	mdf							
54	"="=, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-125311.51282,	-125311.51282,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
55	"="=, 1, 5s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 5s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000,,			-152022.38998,	-152022.38998,	0.00000,	0.00000E+00,	energy	
56	>, 1, 1s1 5s2, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, 1, 1s2 5s1, [2S1/2]#1LS1, 1.00000, ,			-125311.51282,	-152022.38998,	26710.87716,	7.04639E+08,	M1	

Figure 3-1. Sortie de la version 2019\_1 du code MCDGME montrant les énergies de l'élément  ${}_{48}\text{Cd}$  pour différentes configurations électroniques à un trou, ainsi que les énergies et taux de transitions radiatives de toutes les raies issues de la couche K pour ce même élément. L'unité de mesures des énergies et des taux de transitions sont respectivement l'eV et la  $s^{-1}$ .

$h^D$  étant l'hamiltonien de Dirac à un électron. En unités atomiques, on l'écrit comme suit :

$$h_a^D = \alpha_a \cdot p_a + (\beta_a - 1) + V_a \quad (3 - 2)$$

$\alpha_a$  et  $\beta_a$  sont les matrices de Dirac  $4 \times 4$ , alors que  $V_a$  est le potentiel qui décrit l'interaction d'un électron avec le noyau atomique. Dans la jauge de Coulomb, l'interaction à deux électrons peut s'écrire :

$$V_{ab}^{CB} = V_{ab}^C + V_{ab}^B = \frac{1}{r_{ab}} - \frac{\alpha_a \cdot \alpha_b}{r_{ab}} \cos(\omega_{ab} r_{ab}) + (\alpha_a \cdot \nabla_a)(\alpha_b \cdot \nabla_b) \frac{\cos(\omega_{ab} r_{ab}) - 1}{\omega_{ab}^2 r_{ab}} \quad (3 - 2)$$

$r_{ab}$  représente la distance inter-électrons et  $\omega_{ab}$  est l'énergie du photon échangé entre les deux électrons. L'interaction instantanée de Coulomb est décrite par le premier terme,  $V_{ab}^C = 1/r_{ab}$ , tandis que les autres termes,  $V_{ab}^B$ , sont définis comme étant l'opérateur de Breit. Contrairement à l'interaction de Coulomb seule, l'opérateur de Breit rend l'hamiltonien covariant.

```

23-Dec-2023 10:54:24 Page 17
1
002 .... K -Radiative-> L2 ... mdf

**** Results below are for a Electric 2-pole transition ****
Total matrix element (Length gauge) = -8.36798114474E-02
Total matrix element (velocity gauge) = -8.31959962313E-02

Calculation uses MCDF transition energy

Transition energy 2.29823717233E+04 eV
Transition wavelength 5.39475187646E-01 Ang.
Transition Energy (cm-1) 1.85365337072E+08 cm-1
Transition Energy (MHz) 5.55711300555E+12 MHz
Transition Energy (a.u.) 8.44586619939E+02 a.u.
Partial level width (length) 1.76154125730E+00 eV
Partial level width (velocity) 1.74123058323E+00 eV
Transition probability length 2.67625240931E+15 1/sec
Transition probability velocity 2.64539506198E+15 1/sec
Lifetime length gauge 3.73656833160E-16 sec
Lifetime velocity gauge 3.78015372590E-16 sec
Line strength Sobel'man's definition 4.14767625818E-04 a.u.
Oscillator strength (l) 1.16769062561E-01
Oscillator strength (v) 1.15422708417E-01

*****
* Summary of transition rates *
*****

E1 2.67625E+15 s-1

Transition has the following multipole components: E1
and total transition rate is: 2.67625E+15 s-1

CPU time for gme_comp was 0.016 seconds using subroutine gme2st_comp

```

Figure 3-2. Sortie de la version 2019\_1 du code montrant les différents paramètres atomiques calculés pour la transition  $K\alpha_2$  ( $K \rightarrow L_2$ ) de l'élément  $^{48}\text{Cd}$ .

Les fonctions d'onde atomiques sont calculées dans le cadre du principe variationnel en utilisant des fonctions propres d'énergie exprimées sous forme de combinaisons linéaires de fonctions d'état de configuration (CSF « Configuration State Function »). Avant de continuer, il serait préférable d'expliquer ce qu'est une fonction d'état de configuration CSF.

▪ **Fonction d'état de configuration (CSF)**

Il est bien connu qu'il n'est pas possible de résoudre exactement l'équation de Dirac avec l'hamiltonien de Dirac d'un système à  $N$  électrons relativistes. C'est pourquoi il est commun de considérer les électrons comme des particules indépendantes. Ces particules étant soumises au champ moyen créé par le noyau ainsi que le reste des électrons. Dans ce cas-là, la fonction d'onde  $\phi$  de notre système est définie par un déterminant de Slater :

$$\phi(\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_N) = \frac{1}{\sqrt{N!}} \begin{vmatrix} \psi_1(\vec{r}_1) & \dots & \psi_1(\vec{r}_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_N(\vec{r}_1) & \dots & \psi_N(\vec{r}_N) \end{vmatrix} \quad (3 - 4)$$

Le déterminant de Slater est construit sur la base des fonctions d'onde  $\psi_i(\vec{r}_i)$  à un électron. Certes, les états atomiques d'un système à couches fermées peuvent être raisonnablement prédits à l'aide de cette fonction d'onde, mais des améliorations sont nécessaires afin d'étudier un atome à couches ouvertes. Pour ce faire, les fonctions d'état de configuration (CSF « Configuration State Function ») ont été introduites. Ces fonctions sont des combinaisons linéaires des déterminants de Slater ayant les mêmes nombres quantiques suivants :  $n, j$  et  $\kappa$  (nombre quantique relativiste), mais avec des valeurs de  $m$  différentes. En d'autres termes, ces déterminants de Slater correspondent à une même configuration électronique. Cependant, pour obtenir de meilleurs résultats, il faudrait tenir compte des corrélations entre électrons. C'est à ce stade que la méthode "Multi-Configurationnelle" s'avère utile. En effet, plutôt que de se baser uniquement sur une seule configuration électronique, on considère une superposition de configurations différentes. Ainsi, l'état du système atomique est décrit par une fonction d'état atomique (ASF « Atomic State Function »), qui représente une combinaison linéaire de CSFs décrivant des configurations électroniques fondamentales et excitées (Airiau, 2016). Pour une configuration donnée, les CSFs sont exprimées sous forme de combinaisons linéaires de déterminants de Slater avec des spineurs de Dirac à quatre composants (Sampaio, 2022) :

$$\Phi_{\Pi J M}^{\nu}(\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_N) = \sum_{q \geq 1} C_q \begin{vmatrix} \phi_{n_1 K_1 m_1}^q(\vec{r}_1) & \dots & \phi_{n_N K_N m_N}^q(\vec{r}_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{n_1 K_1 m_1}^q(\vec{r}_N) & \dots & \phi_{n_N K_N m_N}^q(\vec{r}_N) \end{vmatrix} \quad (3 - 5)$$

La CSF doit être une fonction propre de l'hamiltonien  $H_{\text{DCB}}$ , de l'opérateur de moment cinétique total  $J^2$  ainsi que de l'opérateur de projection  $J_Z$  pour que les coefficients  $C_q$  soient déterminés et pour que le nombre de déterminants de Slater avec parité  $\Pi$  soit inclus dans la somme. Aussi, pour caractériser complètement les CSF, des nombres quantiques supplémentaires,  $\nu$ , pourraient également être nécessaires. Les spineurs de Dirac à quatre composants sont les suivants :

$$\phi_{nkm}(r) = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} P_{nk}(r) \chi_{km}(\hat{r}) \\ i Q_{nk}(r) \chi_{-km}(\hat{r}) \end{bmatrix} \quad (3 - 6)$$

où les valeurs du nombre quantique de symétrie sphérique relativiste sont  $\kappa = (l - j)(2j + 1) = \pm 1, \pm 2, \dots$ . Les  $\chi_{km}(\hat{r})$  représentent les spineurs sphériques standards à deux composantes pour un électron de moment orbital  $l$  couplé au moment cinétique total  $j$ . Les fonctions radiales  $P_{nk}(r)$  et  $Q_{nk}(r)$  décrivent, respectivement, les "grandes" et "petites" composantes de la fonction d'onde à un électron.

Elles sont déterminées par les équations différentielles intégrales résultant du principe variationnel. Finalement, la fonction d'état atomique ASF est exprimée comme suit :

$$\Psi_{\Pi JM}(\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_N) = \sum_{v=1}^{N_{CSF}} D_v \Phi_{\Pi JM}^v(\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_N) \quad (3-7)$$

où  $\sum_{v=1}^{N_{CSF}} D_v^2 = 1$ . Le code MCDFGME inclut les interactions de Coulomb et de Gaunt dans l'approche du champ auto-cohérent (SCF), tandis que les composantes de Breit sont calculées de manière perturbative. De plus, le code tient également compte des corrections QED, à savoir l'auto-énergie et la polarisation du vide.

### 3.2 Calcul Semi-empirique

Depuis qu'il a été montré qu'en première approximation la probabilité de transition radiative  $P_R$  calculée à partir de fonctions d'onde hydrogène non écrantées est proportionnelle  $P_R \sim Z^4$  et que la probabilité de transition non radiative  $P_A$  est constante (Wentzel, 1927), l'ajustement des mesures expérimentales de rendements de fluorescence de la couche K est devenu populaire au sein de la communauté des chercheurs, le but étant de déduire des formules semi-empiriques. En effet, ces résultats permettent d'écrire :

$$\omega_K = (1 + \alpha Z^{-4})^{-1} \quad (3-8)$$

où  $\alpha = b/a \sim 10^6$  (Backhurst, 1936 ; Burhop, 1952). Pour tenir compte des effets écran et relativistes, Burhop (1955) suggère la formule suivante :

$$[\omega_K/(1 - \omega_K)]^{\frac{1}{4}} = A + BZ + CZ^3 \quad (3-9)$$

Une approche plus générale serait de considérer le polynôme suivant (Bambynek et al., 1972)

$$[\omega_K/(1 - \omega_K)]^{\frac{1}{4}} = B_0 + \sum_{i=1}^p B_i Z^i \quad (3-10)$$

Autrement dit :

$$[\omega_K/(1 - \omega_K)]^{\frac{1}{4}} = \sum_{i=0}^p B_i Z^i \quad (3-11)$$

Bailey and Swedlund (1967) ont émis l'hypothèse que l'exposant dans l'équation (3-9) devrait être un tiers plutôt qu'un quart, car ils avaient remarqué que le taux de transition Auger était proportionnel à  $Z$ . De plus, en utilisant un exposant de 1/3.5, Grotheer, Hammer and Hoffmann (1969) ont calculé les valeurs du « meilleur ajustement ». Bambynek et al. (1972) ont calculé les valeurs semi-empiriques du rendement de fluorescence de la couche K pour les éléments allant du  ${}^4\text{Be}$  jusqu'au  ${}_{80}\text{Hg}$ , ainsi que pour le  ${}_{82}\text{Pb}$  et le  ${}_{93}\text{Np}$  en faisant l'ajustement des valeurs mesurées « les plus fiables » à l'aide de l'équation (3-9). En employant une forme polynômiale simple, Poehn et al. (1985) ont pu calculer les rendements de fluorescence de la couche K pour les éléments compris entre le  ${}_{12}\text{Mg}$  et le  ${}_{42}\text{Mo}$ :

$$\omega_K = A + BZ + CZ^2 + DZ^3 + EZ^4 \quad (3-12)$$

Hubbell et al. (1994) ont collecté les mesures de rendements de fluorescence des couches K, L et M publiées dans la période 1978-1993 puis ont effectué un ajustement en utilisant le polynôme  $\sum_n a_n Z^n$ . En utilisant l'équation (3-10), Kahoul et al. (2011) ont calculé les rendements empiriques de

fluorescence de la couche K à partir des mesures expérimentales disponibles pour les éléments compris  $6 \leq Z \leq 99$ , l'exposant de l'équation était  $1/3$ ,  $1/3.5$  et  $1/4$ .

Jusqu'à-là les ajustements empiriques se faisaient pour déterminer les rendements de fluorescence et rendements d'Auger, jusqu'à ce que Kup Aylikci et al. (2011) appliquent l'équation (3 – 12) sur les rapports d'intensité  $K\beta/K\alpha$  pour les éléments compris entre  $23 \leq Z \leq 30$ , ils obtiennent ainsi des valeurs empiriques de  $K\beta/K\alpha$ . De plus, en réalisant la normalisation des résultats expérimentales existants par rapport aux valeurs théoriques de Scofield (1974), ils ont pu calculer sous une forme satisfaisante les valeurs semi-empiriques de  $K\beta/K\alpha$ . La méthode utilisée par Kup Aylikci et al. (2011) pour calculer les valeurs semi-empiriques est celle que nous appliquons dans notre travail ; cependant, au lieu d'utiliser les valeurs théoriques de Scofield (1974) comme ils l'ont fait, nous utilisons les valeurs moyennes pondérées calculées dans ce travail. En effet, nous avons tracé la quantité  $((R)_W/(1 - (R)_W))^{1/4}$  pour chaque rapport d'intensité par rapport à  $Z$ , comme le montre la figure (3-3). Rappelons que  $R = K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$ . L'indice  $W$  sert à indiquer la valeur moyenne pondérée (dernière colonne des tableaux de l'annexe 2). Ensuite, nous avons ajusté ces valeurs par un polynôme comme suit :

$$((R)_W/(1 - (R)_W))^{1/4} = \sum_{i=0}^n a_i Z^i = g(Z) \quad (3 - 13)$$

Par la suite, nous avons tracé le rapport  $S$  par rapport au numéro atomique  $Z$ , puis ajusté les points par un autre polynôme, comme le montre la figure (3-4) :

$$S = \frac{(R)_{EXP}}{(R)_W} = \sum_{i=0}^m b_i Z^i = f(Z) \quad (3 - 14)$$

Il convient de souligner que les données présentées sans erreur dans les tableaux de l'annexe 2 ont également été incluses dans l'ajustement. À partir des équations (3 – 13) et (3 – 14), le rapport d'intensité semi-empirique  $R$  peut être exprimé comme suit :

$$(R)_{Semi-emp} = f(Z) \times \frac{g(Z)^4}{1+g(Z)^4} \quad (3 - 15)$$

Le tableau 3-1 contient une liste des paramètres d'ajustement, ainsi que les ordres  $m$  et  $n$  de chaque polynôme des deux équations (3 – 13) et (3 – 14). Le calcul semi-empirique des rapports d'intensité  $R$  obtenus à partir de l'équation (3 – 15) en fonction de leurs numéros atomiques cibles est présenté dans les tableaux allant de 3-2 jusqu'à 3-8. Les valeurs théoriques calculées à l'aide du code MCDFGME, ainsi que d'autres valeurs empiriques, théoriques et expérimentales, à des fins de comparaison, sont également incluses. Notez que les données expérimentales pour lesquelles  $S = (R)_{EXP}/(R)_W$  est située en dehors de l'intervalle  $[0.9, 1.1]$  ont été rejetées pour tous les rapports d'intensité excepté pour le  $K\beta/K\alpha$ . Par conséquent, les valeurs moyennes pondérées pour ces rapports-là ont été recalculées en considérant uniquement les valeurs de  $S$  appartenant à l'intervalle  $[0.9, 1.1]$ . Les valeurs obtenues ont été nommées valeurs moyennes pondérées recommandées  $(R)_{WR}$ , puis réintroduites dans les équations (3 – 13) et (3 – 15). Le calcul semi-empirique a été donc fait en prenant en compte ce critère de rejet.

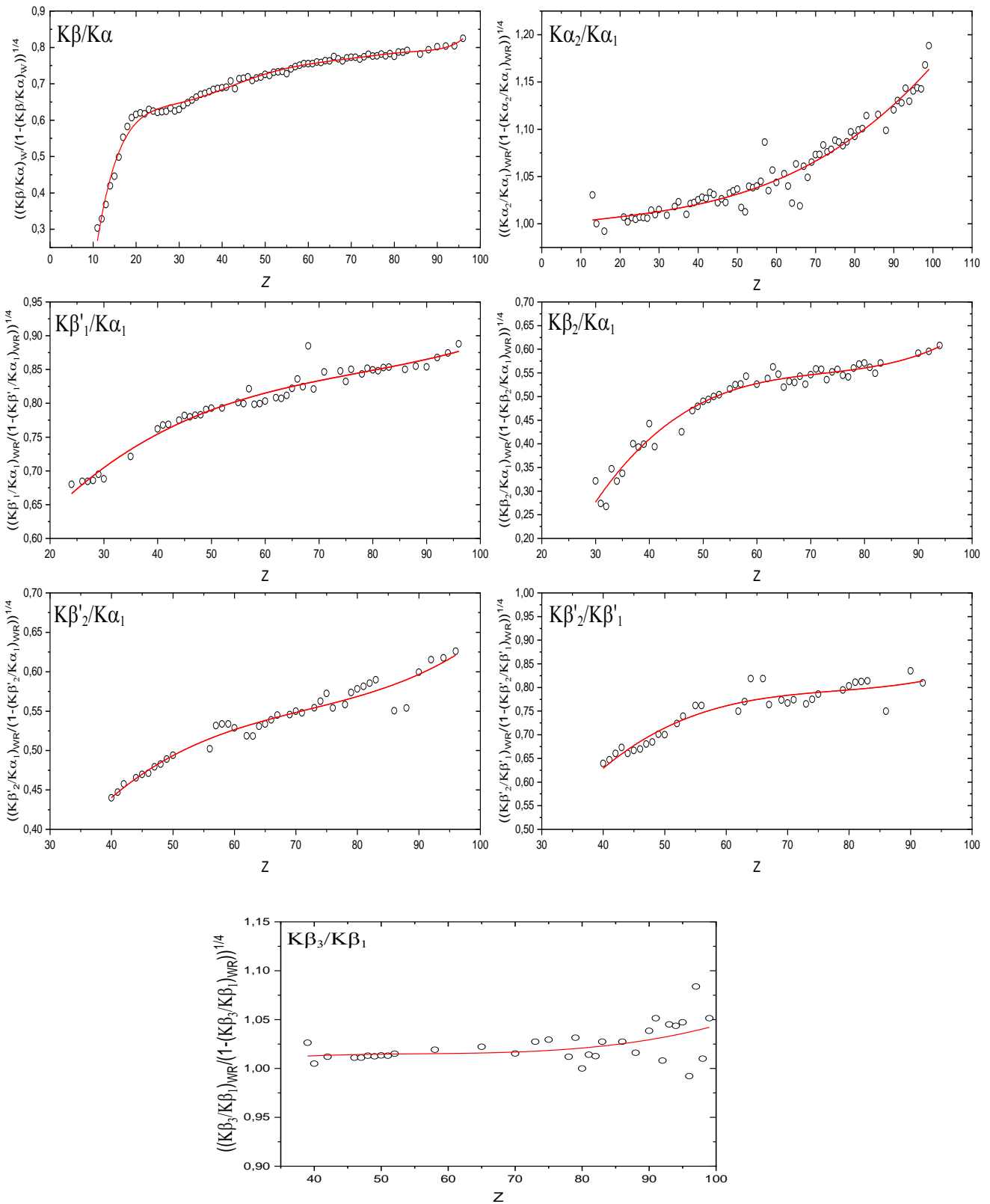


Figure 3-3. Distribution de  $((R)_W/(1-(R)_W))^{1/4}$  en fonction du numéro atomique  $Z$ .

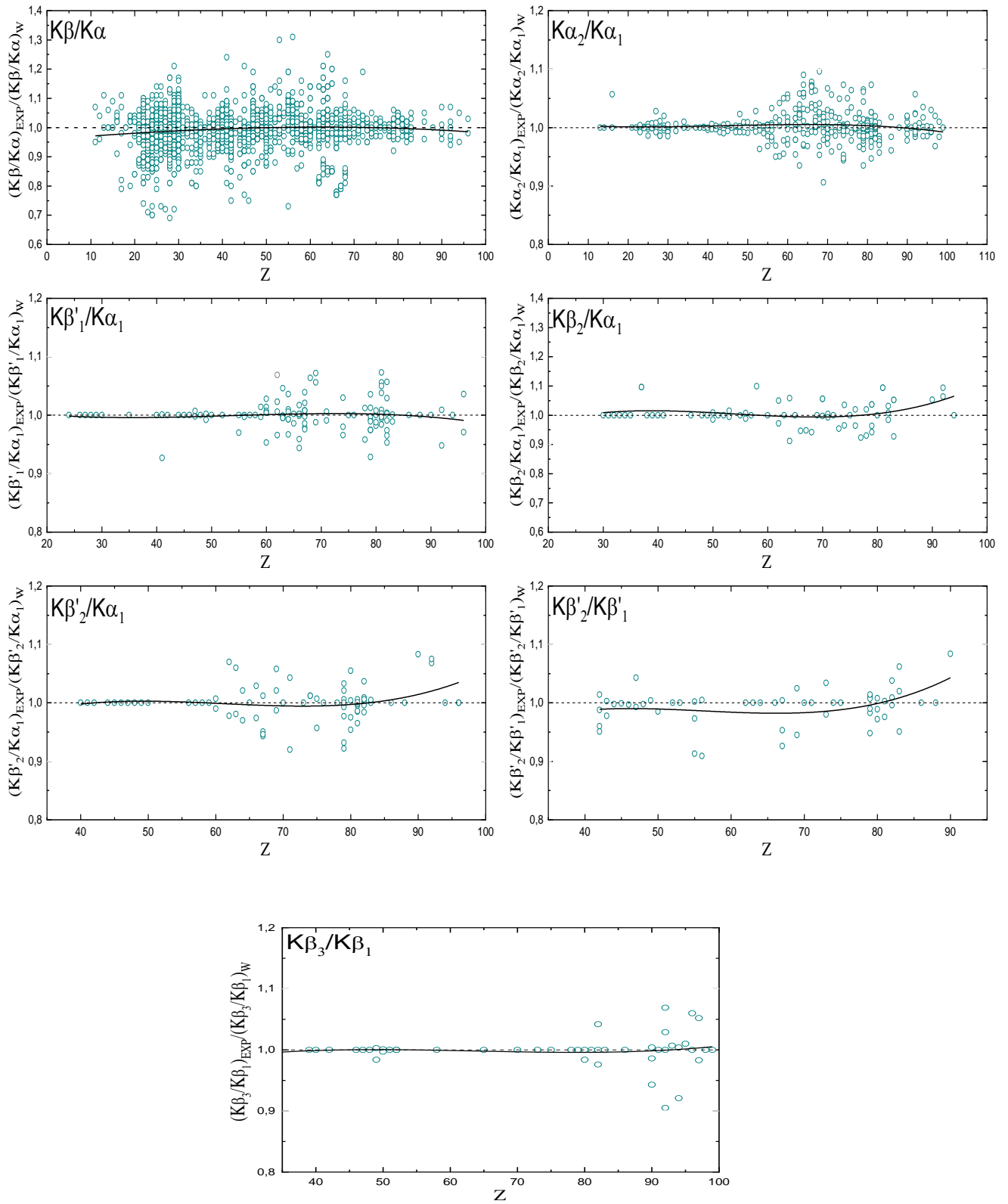


Figure 3-4. Distribution de  $(R)_{EXP}/(R)_W$  pour chaque référence de la base de données en fonction de Z.

**Tableau 3-1.** Liste des paramètres d'ajustement, ainsi que les ordres  $m$  et  $n$  de chaque polynôme des deux équations (3 – 13) et (3 – 14).

Rapport d'intensité	Rangée de Z	Fonction	Ordre $m,n$	$a_i, b_i$	Valeurs		
$K\beta/K\alpha$	$(11 \leq Z \leq 96)$	g(Z)	7	$a_0$	-1.7575		
				$a_1$	0.3504		
				$a_2$	-0.0214		
				$a_3$	$6.999 \times 10^{-4}$		
				$a_4$	$-1.3126 \times 10^{-5}$		
				$a_5$	$1.4185 \times 10^{-7}$		
				$a_6$	$-8.2252 \times 10^{-10}$		
				$a_7$	$1.9840 \times 10^{-12}$		
		f(Z)	3	$b_0$	0.9594		
				$b_1$	0.001199		
				$b_2$	$-5.9832 \times 10^{-6}$		
				$b_3$	$-3.7984 \times 10^{-8}$		
		$K\alpha_2/K\alpha_1$	$(13 \leq Z \leq 99)$	g(Z)	3	$a_0$	0.9979
						$a_1$	$5.2516 \times 10^{-4}$
$a_2$	$-5.9059 \times 10^{-6}$						
$a_3$	$1.7678 \times 10^{-7}$						
f(Z)	3			$b_0$	1.00688		
				$b_1$	$-5.4518 \times 10^{-4}$		
				$b_2$	$1.5589 \times 10^{-5}$		
				$b_3$	$-1.1669 \times 10^{-7}$		
$K\beta'_1/K\alpha_1$	$(24 \leq Z \leq 96)$			g(Z)	3	$a_0$	0.4315
						$a_1$	0.01295
		$a_2$	$-1.4722 \times 10^{-4}$				
		$a_3$	$6.3131 \times 10^{-7}$				
		f(Z)	3	$b_0$	1.02699		
				$b_1$	-0.00208		
				$b_2$	$4.3722 \times 10^{-5}$		
				$b_3$	$-2.6978 \times 10^{-7}$		
$K\beta_2/K\alpha_1$	$(30 \leq Z \leq 94)$	g(Z)	3	$a_0$	-0.6244		
				$a_1$	0.04599		
				$a_2$	$-6.167 \times 10^{-4}$		
				$a_3$	$2.8374 \times 10^{-6}$		
		f(Z)	3	$b_0$	0.8142		
				$b_1$	0.01277		
				$b_2$	$-2.5738 \times 10^{-4}$		
				$b_3$	$1.5952 \times 10^{-6}$		
$K\beta'_2/K\alpha_1$	$(40 \leq Z \leq 96)$	g(Z)	3	$a_0$	-0.1643		
				$a_1$	0.02608		
				$a_2$	$-3.3666 \times 10^{-4}$		
				$a_3$	$1.565 \times 10^{-6}$		
		f(Z)	3	$b_0$	0.7373		
				$b_1$	0.01392		
				$b_2$	$-2.3668 \times 10^{-4}$		
				$b_3$	$1.2918 \times 10^{-6}$		

$K\beta'_2/K\beta'_1$	$(40 \leq Z \leq 92)$	g(Z)	3	$a_0$	-0.3677
				$a_1$	0.04262
				$a_2$	$-5.3372 \times 10^{-4}$
				$a_3$	$2.2831 \times 10^{-6}$
		f(Z)	3	$b_0$	0.6659
				$b_1$	0.0183
				$b_2$	$-3.3621 \times 10^{-4}$
				$b_3$	$1.9940 \times 10^{-6}$
$K\beta_3/K\beta_1$	$(39 \leq Z \leq 99)$	g(Z)	3	$a_0$	0.9620
				$a_1$	0.00275
				$a_2$	$-4.8690 \times 10^{-5}$
				$a_3$	$2.9347 \times 10^{-7}$
		f(Z)	3	$b_0$	0.9236
				$b_1$	0.00396
				$b_2$	$-6.5506 \times 10^{-5}$
				$b_3$	$3.4212 \times 10^{-7}$

### 3.3 Discussion des résultats

Le calcul semi-empirique des rapports d'intensité  $K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$  obtenus à partir de l'équation (3 – 15), ainsi que le calcul théorique pour certains éléments obtenu en utilisant le code MCDFGME sont répertoriés dans les tableaux allant de 3-2 jusqu'à 3-8. Le numéro atomique ainsi que d'autres valeurs théoriques, empiriques, semi-empirique et expérimentales sont également mentionnés dans ces mêmes tableaux.

**Tableau 3-2.** Les valeurs semi-empiriques et théoriques de  $K\beta/K\alpha$  comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région  $11 \leq Z \leq 96$ .

$K\beta/K\alpha$						
Z	Présent travail		Autres			
	Semi-empirique	Théorique (MCDFGME)	Empirique Nelson et al. (1970)	Empirique Daoudi (2020)	Théorique Scofield (1974)	Expérimental
11	0.0050	-	-	0.0085	3,17E-11	-
12	0.0122	-	-	0.0115	1,77E-10	-
13	0.0226	-	-	0.0180	0.00611	-
14	0.0352	-	-	0.0300	0.01705	-
15	0.0489	-	-	0.0379	0.0309	-
16	0.0628	0.0545	-	0.0572	0.0467	0.0591 <sup>a</sup>
17	0.0759	-	-	0.0911	0.0638	-
18	0.0879	0.104	-	0.1032	0.0818	-
19	0.0984	0.103	-	0.1230	0.0956	0.1126 <sup>a</sup>
20	0.1074	-	0.069	0.1286	0.1065	0.1228 <sup>a</sup>
21	0.1150	-	-	0.1290	0.1106	0.1268 <sup>a</sup> ; 0.1282 <sup>b</sup>
22	0.1213	0.119	0.095	0.1281	0.1137	0.1282 <sup>a</sup> ; 0.1291 <sup>b</sup>
23	0.1265	-	-	0.1410	0.1161	0.1294 <sup>a</sup> ; 0.1303 <sup>b</sup>
24	0.1308	0.120	0.114	0.1322	0.1153	0.1342 <sup>a</sup> ; 0.1321 <sup>b</sup>
25	0.1345	-	-	0.1290	0.1195	0.1332 <sup>b</sup>
26	0.1375	0.134	0.128	0.1311	0.1208	0.1324 <sup>a</sup> ; 0.1348 <sup>b</sup>

CHAPITRE 3. Calcul Théorique Et Semi-Empirique

27	0.1403	-	-	0.1320	0.1218	0.1390 <sup>a</sup> ; 0.1356 <sup>b</sup>
28	0.1428	0.131	0.133	0.1387	0.1227	0.1330 <sup>a</sup> ; 0.1379 <sup>b</sup>
29	0.1452	0.129	-	0.1368	0.1216	0.1359 <sup>a</sup> ; 0.1394 <sup>b</sup>
30	0.1476	0.136	0.137	0.1287	0.1241	0.1379 <sup>a</sup> ; 0.1415 <sup>b</sup>
31	0.1500	-	-	0.1428	0.1277	-
32	0.1525	0.146	0.142	0.1495	0.1321	-
33	0.1552	0.148	-	0.1465	0.1371	0.1511 <sup>a</sup>
34	0.1580	0.154	0.153	0.1636	0.1425	0.1612 <sup>a</sup>
35	0.1611	-	-	0.1635	0.1484	0.1682 <sup>a</sup>
36	0.1643	0.168	0.164	0.1715	0.1545	-
37	0.1677	-	-	0.1758	0.1600	0.1806 <sup>a</sup>
38	0.1713	-	0.175	0.1808	0.1652	0.1812 <sup>a</sup>
39	0.1750	-	-	0.1810	0.1696	0.1856 <sup>a</sup> ; 0.1853 <sup>b</sup>
40	0.1789	0.187	0.185	0.1808	0.1737	0.1898 <sup>a</sup> ; 0.1866 <sup>b</sup>
41	0.1828	-	-	0.1846	0.1772	0.1993 <sup>a</sup> ; 0.1890 <sup>b</sup>
42	0.1868	-	0.193	0.2013	0.1809	0.2016 <sup>a</sup> ; 0.1917 <sup>b</sup>
43	0.1909	-	-	0.1815	0.1843	-
44	0.1950	-	0.201	0.2101	0.1875	0.1988 <sup>b</sup>
45	0.1990	-	-	0.2071	0.1906	0.2019 <sup>b</sup>
46	0.2030	-	0.209	0.2120	0.1933	0.2066 <sup>b</sup>
47	0.2069	-	-	0.2012	0.1964	0.2096 <sup>a</sup> ; 0.2099 <sup>b</sup>
48	0.2108	0.212	0.216	0.2109	0.1995	0.2035 <sup>a</sup> ; 0.2127 <sup>b</sup>
49	0.2144	-	-	0.2127	0.2027	0.2098 <sup>a</sup>
50	0.2180	0.220	0.222	0.2170	0.2061	0.2086 <sup>a</sup>
51	0.2214	-	-	0.2132	0.2096	0.2248 <sup>a</sup>
52	0.2246	0.224	0.226	0.2272	0.2132	0.2194 <sup>a</sup>
53	0.2277	-	-	0.2243	0.2168	0.2211 <sup>a</sup>
54	0.2305	-	0.232	0.2251	0.2205	-
55	0.2332	-	-	0.2179	0.2240	-
56	0.2357	-	0.240	0.2311	0.2273	0.2472 <sup>a</sup>
57	0.2381	-	-	0.2415	0.2304	0.2542 <sup>a</sup> ; 0.232 <sup>c</sup>
58	0.2403	-	0.244	0.2425	0.2316	0.2460 <sup>a</sup> ; 0.234 <sup>c</sup>
59	0.2424	-	-	0.2462	0.2336	0.2376 <sup>a</sup> ; 0.236 <sup>c</sup>
60	0.2443	-	0.247	0.2445	0.2354	0.2402 <sup>a</sup> ; 0.244 <sup>c</sup>
61	0.2462	-	-	0.2461	0.2372	-
62	0.2479	-	0.250	0.2533	0.2389	0.2451 <sup>a</sup> ; 0.253 <sup>c</sup>
63	0.2496	-	-	0.2478	0.2405	0.2549 <sup>a</sup> ; 0.260 <sup>c</sup>
64	0.2512	-	0.253	0.2555	0.2426	0.2622 <sup>a</sup>
65	0.2527	-	-	0.2564	0.2435	0.2515 <sup>a</sup>
66	0.2542	-	0.256	0.2684	0.2449	0.2461 <sup>a</sup>
67	0.2557	-	-	0.2598	0.2463	0.2609 <sup>a</sup>
68	0.2572	-	0.259	0.2578	0.2476	0.2549 <sup>a</sup>
69	0.2587	-	-	0.2641	0.2488	0.2609 <sup>a</sup>
70	0.2601	-	0.261	0.2651	0.2501	0.2589 <sup>a</sup>
71	0.2616	-	-	0.2533	0.2518	0.2669 <sup>a</sup>
72	0.2630	-	0.263	0.2626	0.2534	0.2658 <sup>a</sup>
73	0.2645	-	-	0.2589	0.2551	0.2704 <sup>a</sup>
74	0.2659	-	0.267	0.2703	0.2568	0.2710 <sup>a</sup>
75	0.2673	-	-	0.2625	0.2584	0.2684 <sup>a</sup>
76	0.2686	-	0.270	0.2719	0.2600	0.2710 <sup>a</sup>
77	0.2699	-	-	0.2726	0.2615	0.2724 <sup>a</sup>
78	0.2712	-	0.274	0.2651	0.2631	0.2682 <sup>a</sup>

CHAPITRE 3. Calcul Théorique Et Semi-Empirique

79	0.2723	-	-	0.2698	0.2646	0.2680 <sup>a</sup>
80	0.2734	0.276	0.277	0.2649	0.2662	0.2794 <sup>a</sup>
81	0.2744	-	-	0.2771	0.2679	0.2695 <sup>a</sup>
82	0.2754	-	0.282	0.2706	0.2696	0.2822 <sup>a</sup>
83	0.2762	0.281	-	0.2859	0.2713	0.2896 <sup>a</sup>
84	0.2770	-	0.285	0.2785	0.2731	-
85	0.2777	-	-	0.2816	0.2748	-
86	0.2785	0.285	0.288	0.2717	0.2766	-
87	0.2793	-	-	0.2871	0.2784	-
88	0.2802	-	0.291	0.2837	0.2800	-
89	0.2814	-	-	0.2905	0.2816	-
90	0.2830	-	0.295	0.2910	0.2832	0.3141 <sup>a</sup>
91	0.2850	-	-	0.2911	0.2844	-
92	0.2878	-	0.299	0.2949	0.2856	0.3152 <sup>a</sup>
93	0.2915	-	-	0.2920	0.2869	-
94	0.2964	-	0.301	0.3002	0.2879	-
95	0.3029	-	-	0.3034	0.2891	-
96	0.3113	-	0.305	0.3166	0.2903	-

<sup>a</sup> (Ertuğral et al., 2007)

<sup>b</sup> (Uğurlu and Demir, 2020)

<sup>c</sup> (Uğurlu, 2019)

**Tableau 3-3.** Les valeurs semi-empiriques et théoriques de  $K\alpha_2/K\alpha_1$  comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région  $13 \leq Z \leq 99$ .

$K\alpha_2/K\alpha_1$					
Z	Présent travail		Autres		
	Semi-empirique	Théorique (MCDFGME)	Empirique Nelson et al. (1970)	Théorique Scofield (1974)	Expérimental
13	0.5052	--	-	0.504	0.53 <sup>a</sup>
14	0.5055	--	-	0.504	0.50 <sup>a</sup>
15	0.5059	--	-	0.505	-
16	0.5063	0.4900	-	0.505	0.52 <sup>a</sup>
17	0.5067	--	-	0.505	-
18	0.5071	0.5056	-	0.506	-
19	0.5076	0.5041	-	0.506	-
20	0.5080	--	0.505	0.507	-
21	0.5085	--	-	0.508	0.507 <sup>b</sup>
22	0.5090	0.5057	0.505	0.508	0.502 <sup>b</sup>
23	0.5095	--	-	0.509	0.507 <sup>b</sup> ; 0.5084 <sup>c</sup>
24	0.5101	0.4880	0.506	0.509	0.505 <sup>b</sup>
25	0.5106	--	-	0.510	0.500 <sup>b</sup> ; 0.5074 <sup>c</sup>
26	0.5112	0.4942	0.506	0.511	0.506 <sup>b</sup>
27	0.5118	--	-	0.511	0.502 <sup>b</sup>
28	0.5124	0.5118	0.507	0.512	0.507 <sup>b</sup>
29	0.5130	0.5112	-	0.513	0.507 <sup>b</sup>
30	0.5137	0.5131	0.509	0.514	0.513 <sup>b</sup> ; 0.5177 <sup>c</sup>
31	0.5144	--	-	0.514	-
32	0.5151	0.5147	0.511	0.515	0.512 <sup>b</sup>
33	0.5159	0.5146	-	0.516	-
34	0.5166	0.5156	0.513	0.517	-

CHAPITRE 3. Calcul Théorique Et Semi-Empirique

35	0.5174	--	-	0.518	-
36	0.5182	0.5183	0.515	0.519	-
37	0.5191	--	-	0.520	-
38	0.5200	--	0.518	0.521	0.521 <sup>b</sup>
39	0.5209	--	-	0.522	0.523 <sup>b</sup>
40	0.5218	0.5223	0.520	0.523	0.524 <sup>b</sup>
41	0.5228	--	-	0.524	0.526 <sup>b</sup>
42	0.5238	--	0.523	0.525	0.525 <sup>b</sup>
43	0.5249	--	-	0.526	0.5330 <sup>c</sup>
44	0.5259	--	0.526	0.527	0.5331 <sup>c</sup>
45	0.5270	--	-	0.528	0.525 <sup>b</sup>
46	0.5282	--	0.528	0.529	0.526 <sup>b</sup>
47	0.5293	--	-	0.531	0.522 <sup>b</sup>
48	0.5305	0.5315	0.531	0.532	0.544 <sup>b</sup> ; 0.5329 <sup>c</sup>
49	0.5318	--	-	0.533	0.539 <sup>b</sup>
50	0.5331	0.5334	0.533	0.535	0.541 <sup>b</sup>
51	0.5344	--	-	0.536	-
52	0.5357	0.5361	0.536	0.537	-
53	0.5371	--	-	0.539	-
54	0.5385	--	0.537	0.540	0.5383 <sup>c</sup>
55	0.5400	--	-	0.542	0.5411 <sup>c</sup>
56	0.5415	--	0.542	0.543	0.5463 <sup>c</sup>
57	0.5430	--	-	0.545	-
58	0.5446	--	0.545	0.546	0.541 <sup>d</sup>
59	0.5462	--	-	0.548	0.583 <sup>d</sup>
60	0.5479	--	0.549	0.549	0.548 <sup>d</sup>
61	0.5496	--	-	0.551	-
62	0.5513	--	0.551	0.553	0.526 <sup>d</sup>
63	0.5531	--	-	0.554	0.504 <sup>d</sup>
64	0.5549	--	0.556	0.556	0.539 <sup>d</sup>
65	0.5568	--	-	0.558	0.578 <sup>d</sup> ; 0.543 <sup>e</sup>
66	0.5587	--	0.560	0.560	0.557 <sup>e</sup>
67	0.5607	--	-	0.562	0.565 <sup>e</sup>
68	0.5626	--	0.565	0.564	0.530 <sup>d</sup> ; 0.551 <sup>e</sup>
69	0.5647	--	-	0.565	0.558 <sup>e</sup>
70	0.5667	--	0.568	0.567	0.558 <sup>e</sup>
71	0.5688	--	-	0.570	0.602 <sup>e</sup>
72	0.5710	--	0.572	0.572	0.589 <sup>e</sup>
73	0.5732	--	-	0.574	0.601 <sup>e</sup>
74	0.5754	--	0.576	0.576	0.617 <sup>e</sup>
75	0.5777	--	-	0.578	0.599 <sup>e</sup>
76	0.5800	--	0.580	0.581	0.619 <sup>e</sup>
77	0.5823	--	-	0.583	0.588 <sup>e</sup>
78	0.5847	--	0.585	0.585	0.574 <sup>e</sup>
79	0.5871	--	-	0.588	0.591 <sup>e</sup>
80	0.5896	0.5895	0.590	0.590	0.5921 <sup>c</sup>
81	0.5921	--	-	0.593	0.637 <sup>e</sup>
82	0.5946	--	0.595	0.595	0.606 <sup>e</sup>
83	0.5972	0.5953	-	0.598	0.590 <sup>e</sup>
84	0.5998	--	0.600	0.601	-
85	0.6024	--	-	0.604	-
86	0.6051	0.6056	0.605	0.606	0.6183 <sup>c</sup>

87	0.6078	--	-	0.609	-
88	0.6105	--	0.612	0.612	-
89	0.6132	--	-	0.615	-
90	0.6160	--	0.619	0.619	0.624 <sup>e</sup>
91	0.6188	--	-	0.622	0.62 <sup>f</sup>
92	0.6217	--	0.624	0.625	0.62 <sup>f</sup>
93	0.6245	--	-	0.628	0.63 <sup>f</sup>
94	0.6274	--	0.631	0.632	0.62 <sup>f</sup>
95	0.6303	--	-	0.635	0.63 <sup>f</sup>
96	0.6332	--	0.638	0.639	0.65 <sup>f</sup>
97	0.6362	--	-	0.643	0.61 <sup>f</sup>
98	0.6391	--	0.646	0.646	0.64 <sup>f</sup>
99	0.6421	--	-	0.650	-

<sup>a</sup>(Perino et al., 2002)

<sup>b</sup>(Salem and Wimmer, 1970)

<sup>c</sup>(Yalçin, 2007)

<sup>e</sup>(Apaydin et al., 2008b)

<sup>d</sup>(Akman, 2016a)

<sup>f</sup>(Barreau and Borner, 1982)

**Tableau 3-4.** Les valeurs semi-empiriques et théoriques de  $K\beta_2/K\alpha_1$  comparées aux valeurs empiriques théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région  $13 \leq Z \leq 99$ .

$K\beta_2/K\alpha_1$				
Z	Présent travail		Autres	
	Semi-empirique	Théorique (MCDFGME)	Théorique Scofield (1974)	Expérimental
30	0.00589	--	-	0.0106 <sup>a</sup>
31	0.00741	--	0.00108	0.0056 <sup>a</sup>
32	0.00911	0.0045	0.00317	0.0051 <sup>a</sup>
33	0.01099	0.0084	0.00607	0.0143 <sup>a</sup>
34	0.01304	0.0128	0.00969	0.0105 <sup>a</sup>
35	0.01524	--	0.01394	0.0128 <sup>a</sup>
36	0.01758	0.0227	0.01876	-
37	0.02004	--	0.02284	-
38	0.02259	--	0.02639	0.0233 <sup>a</sup>
39	0.02522	--	0.02900	0.0247 <sup>a</sup>
40	0.02792	0.0351	0.03132	-
41	0.03065	--	0.03281	0.0235 <sup>a</sup>
42	0.03340	--	0.03472	-
43	0.03615	--	0.03646	-
44	0.03889	--	0.03811	-
45	0.04159	--	0.03965	-
46	0.04424	--	0.04064	0.0317 <sup>a</sup>
47	0.04683	--	0.04238	-
48	0.04935	0.0483	0.04422	0.0466 <sup>a</sup>
49	0.05178	--	0.04608	0.0500 <sup>a</sup>
50	0.05413	0.0529	0.04794	0.0537 <sup>a</sup>
51	0.05637	--	0.04980	0.0560 <sup>a</sup>
52	0.05852	0.0569	0.05160	0.0588 <sup>a</sup>
53	0.06056	--	0.05339	0.0613 <sup>a</sup>
54	0.06249	--	0.05515	-
55	0.06431	--	0.05692	0.0660 <sup>a</sup>

56	0.06602	0.0628	0.05852	0.0697 <sup>a</sup>
57	0.06763	--	0.06030	0.0712 <sup>a</sup>
58	0.06913	--	0.06063	-
59	0.07053	--	0.06150	-
60	0.07184	--	0.06233	-
61	0.07306	--	0.06317	-
62	0.0742	--	0.06399	-
63	0.07526	--	0.06464	-
64	0.07625	--	0.06563	-
65	0.07718	--	0.06587	0.068 <sup>b</sup>
66	0.07806	--	0.06647	0.070 <sup>b</sup>
67	0.0789	--	0.06707	0.073 <sup>b</sup>
68	0.0797	--	0.06767	0.080 <sup>b</sup>
69	0.08048	--	0.06824	0.071 <sup>b</sup>
70	0.08124	--	0.06882	0.084 <sup>b</sup>
71	0.0820	--	0.06960	0.088 <sup>b</sup>
72	0.08276	--	0.07038	0.088 <sup>b</sup>
73	0.08353	--	0.07114	0.076 <sup>b</sup>
74	0.08433	--	0.07190	0.082 <sup>b</sup>
75	0.08517	--	0.07270	0.088 <sup>b</sup>
76	0.08606	--	0.07367	0.078 <sup>b</sup>
77	0.0870	--	0.07445	0.079 <sup>b</sup>
78	0.08802	--	0.07544	0.084 <sup>b</sup>
79	0.08912	--	0.07618	0.091 <sup>b</sup>
80	0.09032	0.0823	0.07697	0.096 <sup>b</sup>
81	0.09162	--	0.07797	0.085 <sup>b</sup>
82	0.09306	--	0.07877	0.087 <sup>b</sup>
83	0.09463	0.0847	0.07957	0.089 <sup>b</sup>
84	0.09636	--	0.08055	-
85	0.09825	--	0.08136	-
86	0.10034	0.0874	0.08217	-
87	0.10264	--	0.08295	-
88	0.10517	--	0.08399	-
89	0.10795	--	0.08481	-
90	0.11101	--	0.08560	-
91	0.11437	--	0.08643	-
92	0.11807	--	0.08727	-
93	0.12213	--	0.08811	-
94	0.12658	--	0.08869	-

<sup>a</sup> (Stoev and Dlouhy, 1993)

<sup>b</sup> (Apaydin et al., 2008b)

**Tableau 3-5.** Les valeurs semi-empiriques et théoriques de  $K\beta'_1/K\alpha_1$  comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région  $16 \leq Z \leq 97$ .

$K\beta'_1/K\alpha_1$					
Z	Présent travail		Autres		
	Semi-empirique	Théorique (MCDFGME)	Empirique Nelson et al. (1970)	Théorique Scofield (1974)	Expérimental
16	--	0.0813	--	0.0702	--
17	--	--	--	0.0960	--
18	--	0.1569	--	0.1233	--
19	--	0.1555	--	0.1441	--
20	--	--	0.116	0.1605	--
21	--	--	--	0.1668	--
22	--	0.1796	0.137	0.1715	--
23	--	--	--	0.1751	--
24	0.1634	0.1794	0.156	0.1740	0.176 <sup>a</sup>
25	0.1692	--	-	0.1804	-
26	0.1748	0.2008	0.171	0.1824	0.180 <sup>a</sup>
27	0.1805	--	-	0.1841	0.180 <sup>a</sup>
28	0.1860	0.1977	0.187	0.1855	0.181 <sup>a</sup>
29	0.1914	0.1956	-	0.1839	-
30	0.1968	0.2065	0.202	0.1879	0.183 <sup>a</sup>
31	0.2020	--	-	0.1923	-
32	0.2071	0.2167	0.215	0.1970	-
33	0.2122	0.2154	-	0.2018	-
34	0.2171	0.2205	0.225	0.2065	-
35	0.2219	--	-	0.2112	0.213 <sup>a</sup>
36	0.2266	0.2323	0.235	0.2158	-
37	0.2312	--	-	0.2204	-
38	0.2356	--	0.244	0.2248	-
39	0.2400	--	-	0.2291	-
40	0.2442	0.2491	0.252	0.2332	0.252 <sup>b</sup>
41	0.2483	--	-	0.2372	0.239 <sup>a</sup> ; 0.258 <sup>b</sup>
42	0.2523	--	0.259	0.2410	0.259 <sup>b</sup>
43	0.2562	--	-	0.2447	-
44	0.2600	--	0.265	0.2482	0.265 <sup>b</sup>
45	0.2637	--	-	0.2516	0.272 <sup>b</sup>
46	0.2672	--	0.271	0.2549	0.270 <sup>b</sup>
47	0.2706	--	-	0.2581	0.272 <sup>b</sup>
48	0.2740	0.2762	0.277	0.2611	0.273 <sup>b</sup>
49	0.2772	--	-	0.2641	0.279 <sup>b</sup>
50	0.2803	0.2830	0.282	0.2671	0.283 <sup>b</sup>
51	0.2834	--	-	0.2699	-
52	0.2863	0.2821	0.287	0.2727	-
53	0.2891	--	-	0.2754	-
54	0.2918	--	0.292	0.2781	-
55	0.2945	--	-	0.2807	-
56	0.2971	--	0.297	0.2832	-
57	0.2995	--	-	0.2857	0.313 <sup>c</sup>

CHAPITRE 3. Calcul Théorique Et Semi-Empirique

58	0.3019	--	0.301	0.2882	0.289 <sup>c</sup>
59	0.3043	--	-	0.2906	0.289 <sup>c</sup>
60	0.3065	--	0.306	0.2930	0.280 <sup>c</sup>
61	0.3087	--	-	0.2953	-
62	0.3108	--	0.311	0.2975	0.289 <sup>c</sup>
63	0.3128	--	-	0.2997	0.297 <sup>c</sup>
64	0.3148	--	0.314	0.302	0.293 <sup>c</sup>
65	0.3168	--	-	0.304	0.314 <sup>c</sup>
66	0.3186	--	0.318	0.306	0.329 <sup>c</sup>
67	0.3205	--	-	0.308	-
68	0.3223	--	0.322	0.310	-
69	0.3240	--	-	0.312	-
70	0.3257	--	0.325	0.314	-
71	0.3274	--	-	0.315	0.341 <sup>d</sup>
72	0.3290	--	0.329	0.317	-
73	0.3307	--	-	0.319	-
74	0.3323	--	0.332	0.321	0.351 <sup>d</sup>
75	0.3339	--	-	0.323	0.324 <sup>e</sup>
76	0.3354	--	0.336	0.324	0.343 <sup>e</sup>
77	0.3370	--	-	0.326	-
78	0.3385	--	0.339	0.328	0.322 <sup>e</sup>
79	0.3401	--	-	0.329	-
80	0.3417	0.3406	0.343	0.331	0.338 <sup>d</sup>
81	0.3432	--	-	0.333	0.340 <sup>d</sup>
82	0.3448	--	0.346	0.334	0.334 <sup>d</sup>
83	0.3464	0.3444	-	0.336	0.343 <sup>f</sup>
84	0.3480	--	0.350	0.337	-
85	0.3496	--	-	0.339	-
86	0.3512	0.3496	0.353	0.341	0.343 <sup>f</sup>
87	0.3529	--	-	0.342	-
88	0.3546	--	0.356	0.344	0.348 <sup>f</sup>
89	0.3564	--	-	0.345	-
90	0.3582	--	0.360	0.347	0.347 <sup>f</sup>
91	0.3600	--	-	0.349	-
92	0.3619	--	0.363	0.350	0.343 <sup>f</sup>
93	0.3638	--	-	0.352	-
94	0.3658	--	0.366	0.353	-
95	0.3679	--	-	0.355	-
96	0.3700	--	0.370	0.356	-
97	0.3722	--	-	0.358	-

<sup>a</sup> (Gürol, 2008)

<sup>b</sup> (Campbell, 2001)

<sup>c</sup> (Akman, 2016a)

<sup>d</sup> (Sakar et al., 2017)

<sup>e</sup> (Cengiz et al., 2011)

<sup>f</sup> (de Pinho et al., 1971)

**Tableau 3-6.** Les valeurs semi-empiriques et théoriques de  $K\beta'_2/K\alpha_1$  comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région  $32 \leq Z \leq 96$ .

$K\beta'_2/K\alpha_1$					
Z	Présent travail		Autres		
	Semi-empirique	Théorique (MCDFGME)	Empirique Nelson et al. (1970)	Théorique Scofield (1974)	Expérimental
32	--	0.00454	-	0.00317	--
33	--	0.00838	-	0.00608	--
34	--	0.01277	0.006	0.00969	--
35	--	--	-	0.01393	--
36	--	0.02272	0.013	0.01875	--
37	--	--	-	0.02284	--
38	--	--	0.022	0.02640	--
39	--	--	-	0.02902	--
40	0.0362	0.0351	0.034	0.0313	0.0361 <sup>a</sup>
41	0.0383	--	-	0.0328	0.0384 <sup>a</sup>
42	0.0405	--	0.043	0.0348	0.0420 <sup>a</sup>
43	0.0426	--	-	0.0365	-
44	0.0446	--	0.048	0.0382	0.0448 <sup>a</sup>
45	0.0467	--	-	0.0397	0.0464 <sup>a</sup>
46	0.0487	--	0.051	0.0408	0.0470 <sup>a</sup>
47	0.0506	--	-	0.0426	0.0501 <sup>a</sup>
48	0.0526	0.0485	0.054	0.0444	0.0515 <sup>a</sup>
49	0.0544	--	-	0.0467	0.0541 <sup>a</sup>
50	0.0562	0.0547	0.056	0.0492	0.0562 <sup>a</sup>
51	0.0580	--	-	0.0521	-
52	0.0597	0.0613	0.060	0.0551	-
53	0.0613	--	-	0.0582	-
54	0.0629	--	0.064	0.0616	-
55	0.0645	--	-	0.0646	-
56	0.0659	0.0734	0.070	0.0675	-
57	0.0674	--	-	0.0701	0.074 <sup>b</sup>
58	0.0687	--	0.076	0.0699	0.075 <sup>b</sup>
59	0.0701	--	-	0.0709	0.075 <sup>b</sup>
60	0.0713	--	0.082	0.0718	0.073 <sup>b</sup>
61	0.0726	--	-	0.0726	-
62	0.0738	--	0.085	0.0734	0.066 <sup>b</sup>
63	0.0750	--	-	0.0742	0.066 <sup>b</sup>
64	0.0761	--	0.088	0.0759	0.075 <sup>b</sup>
65	0.0772	--	-	0.0755	0.075 <sup>b</sup>
66	0.0783	--	0.089	0.0761	0.080 <sup>b</sup>
67	0.0794	--	-	0.0767	-
68	0.0804	--	0.090	0.0773	0.086 <sup>b</sup>
69	0.0815	--	-	0.0779	0.0802 <sup>c</sup>
70	0.0826	--	0.090	0.0784	0.0837 <sup>c</sup>
71	0.0836	--	-	0.0798	0.0861 <sup>c</sup>
72	0.0847	--	0.091	0.0811	-
73	0.0858	--	-	0.0826	0.0862 <sup>c</sup>
74	0.0869	--	0.092	0.0840	0.0910 <sup>c</sup>

75	0.0880	--	-	0.0854	0.0976 <sup>c</sup>
76	0.0892	--	0.094	0.0869	-
77	0.0905	--	-	0.0881	-
78	0.0917	--	0.097	0.0896	-
79	0.0931	--	-	0.0911	0.0976 <sup>c</sup>
80	0.0945	0.0988	0.100	0.0926	0.0981 <sup>c</sup>
81	0.0960	--	-	0.0943	0.1011 <sup>c</sup>
82	0.0975	--	0.103	0.0961	0.1086 <sup>c</sup>
83	0.0992	0.1034	-	0.0980	0.1086 <sup>c</sup>
84	0.1009	--	0.106	0.1000	-
85	0.1028	--	-	0.1020	-
86	0.1048	0.1081	0.110	0.1041	-
87	0.1069	--	-	0.1062	-
88	0.1092	--	0.113	0.1081	-
89	0.1116	--	-	0.1100	-
90	0.1142	--	0.118	0.1119	0.1142 <sup>c</sup>
91	0.1170	--	-	0.1132	-
92	0.1200	--	0.123	0.1147	0.1258 <sup>c</sup>
93	0.1232	--	-	0.1161	-
94	0.1266	--	0.125	0.1173	-
95	0.1303	--	-	0.1187	-
96	0.1343	--	0.130	0.1203	-

<sup>a</sup> (Campbell, 2001)

<sup>b</sup> (Akman, 2016a)

<sup>c</sup> (Ertugrul and Simsek, 2002)

**Tableau 3-7.** Les valeurs semi-empiriques et théoriques de  $K\beta_2/K\beta_1$  comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région  $32 \leq Z \leq 96$ .

$K\beta'_2/K\beta'_1$					
Z	Présent travail		Autres		
	Semi-empirique	Théorique (MCDFGME)	Empirique Nelson et al. (1970)	Théorique Scofield (1974)	Expérimental
32	--	0.0209	-	0.016	--
33	--	0.0389	-	0.030	--
34	--	0.0579	0.027	0.047	--
35	--	--	-	0.066	--
36	--	0.0978	0.055	0.087	--
37	--	--	-	0.104	--
38	--	--	0.090	0.117	--
39	--	--	-	0.127	--
40	0.1339	0.1409	0.135	0.134	0.1430 <sup>a</sup>
41	0.1419	--	-	0.138	0.1490 <sup>a</sup>
42	0.1498	--	0.166	0.144	0.1624 <sup>a</sup>
43	0.1575	--	-	0.149	-
44	0.1650	--	0.181	0.154	0.1693 <sup>a</sup>
45	0.1723	--	-	0.158	0.1708 <sup>a</sup>
46	0.1793	--	0.188	0.160	0.1739 <sup>a</sup>
47	0.1860	--	-	0.165	0.1841 <sup>a</sup>
48	0.1925	0.1758	0.195	0.170	0.1884 <sup>a</sup>
49	0.1986	--	-	0.177	0.1941 <sup>a</sup>

CHAPITRE 3. Calcul Théorique Et Semi-Empirique

50	0.2045	0.1932	0.199	0.184	0.1989 <sup>a</sup>
51	0.2101	--	-	0.193	-
52	0.2153	0.2173	0.209	0.202	-
53	0.2203	--	-	0.211	-
54	0.2250	--	0.219	0.222	-
55	0.2294	--	-	0.230	-
56	0.2335	0.2479	0.236	0.238	-
57	0.2374	--	-	0.245	-
58	0.2410	--	0.252	0.243	-
59	0.2443	--	-	0.244	-
60	0.2474	--	0.268	0.245	-
61	0.2504	--	-	0.246	-
62	0.2531	--	0.273	0.247	-
63	0.2556	--	-	0.248	-
64	0.2579	--	0.280	0.251	-
65	0.2601	--	-	0.248	-
66	0.2622	--	0.280	0.249	-
67	0.2641	--	-	0.249	-
68	0.2659	--	0.280	0.249	-
69	0.2676	--	-	0.250	0.249 <sup>b</sup>
70	0.2692	--	0.277	0.250	-
71	0.2708	--	-	0.253	0.264 <sup>b</sup>
72	0.2724	--	0.277	0.256	-
73	0.2739	--	-	0.259	0.264 <sup>b</sup>
74	0.2754	--	0.277	0.262	0.265 <sup>b</sup>
75	0.2769	--	-	0.264	0.276 <sup>b</sup>
76	0.2784	--	0.280	0.268	-
77	0.2800	--	-	0.270	-
78	0.2817	--	0.286	0.273	-
79	0.2834	--	-	0.277	0.289 <sup>b</sup>
80	0.2852	0.2900	0.292	0.280	0.291 <sup>b</sup>
81	0.2872	--	-	0.283	0.295 <sup>b</sup>
82	0.2893	--	0.298	0.288	0.315 <sup>b</sup>
83	0.2915	0.3002	-	0.292	0.324 <sup>b</sup>
84	0.2939	--	0.303	0.297	-
85	0.2965	--	-	0.301	-
86	0.2993	0.3092	0.312	0.305	-
87	0.3024	--	-	0.311	-
88	0.3057	--	0.317	0.314	-
89	0.3093	--	-	0.319	-
90	0.3132	--	0.328	0.322	0.327 <sup>b</sup>
91	0.3175	--	-	0.324	-
92	0.3221	--	0.339	0.328	-

<sup>a</sup> (Campbell, 2001)

<sup>b</sup> (Ertugrul and Simsek, 2002)

**Tableau 3-8.** Les valeurs semi-empiriques et théoriques de  $K\beta_3/K\beta_1$  comparées aux valeurs empiriques, théoriques et expérimentales d'autres auteurs pour les éléments de la région  $18 \leq Z \leq 99$ .

$K\beta_3/ K\beta_1$					
Z	Présent travail		Autres		
	Semi-empirique	Théorique (MCDFGME)	Empirique Nelson et al. (1970)	Théorique Scofield (1974)	Expérimental
18	--	0.5058	-	0.506	--
19	--	0.4959	-	0.505	--
20	--	--	-	0.505	--
21	--	--	-	0.506	--
22	--	0.3324	-	0.506	--
23	--	--	-	0.507	--
24	--	0.2342	-	0.508	--
25	--	--	-	0.508	--
26	--	0.2760	-	0.509	--
27	--	--	-	0.509	--
28	--	--	-	0.510	--
29	--	0.5135	-	0.511	--
30	--	0.5112	-	0.511	--
31	--	--	-	0.512	--
32	--	0.5082	-	0.512	--
33	--	0.5060	-	0.512	--
34	--	0.5099	-	0.512	--
35	--	--	-	0.513	--
36	--	0.5125	-	0.513	--
37	--	--	-	0.513	--
38	--	--	-	0.513	--
39	0.5102	--	-	0.513	--
40	0.5109	0.5132	-	0.513	--
41	0.5115	--	-	0.514	--
42	0.5121	--	-	0.514	0.512 <sup>a</sup>
43	0.5126	--	-	0.514	-
44	0.5130	--	-	0.514	-
45	0.5134	--	-	0.514	-
46	0.5137	--	-	0.514	0.511 <sup>a</sup>
47	0.5140	--	-	0.515	0.511 <sup>a</sup>
48	0.5143	0.5148	-	0.515	-
49	0.5145	--	-	0.515	0.504 <sup>a</sup> ; 0.514 <sup>b</sup>
50	0.5146	0.5163	0.516	0.515	0.512 <sup>a</sup> ; 0.514 <sup>b</sup>
51	0.5148	--	-	0.515	0.513 <sup>a</sup>
52	0.5149	0.5345	0.517	0.516	0.515 <sup>a</sup> ; 0.515 <sup>b</sup>
53	0.5150	--	-	0.516	-
54	0.5150	--	0.518	0.516	-
55	0.5150	--	-	0.516	-
56	0.5150	--	0.519	0.516	-
57	0.5150	--	-	0.516	-
58	0.5150	--	0.521	0.516	0.519 <sup>b</sup>
59	0.5150	--	-	0.517	-
60	0.5150	--	0.522	0.517	-

61	0.5149	--	-	0.517	-
62	0.5149	--	0.523	0.517	-
63	0.5149	--	-	0.517	-
64	0.5149	--	0.525	0.517	-
65	0.5148	--	-	0.517	0.522 <sup>b</sup>
66	0.5149	--	0.526	0.517	-
67	0.5149	--	-	0.517	-
68	0.5149	--	0.527	0.517	-
69	0.5150	--	-	0.517	-
70	0.5151	--	0.529	0.517	-
71	0.5152	--	-	0.517	-
72	0.5154	--	0.531	0.517	-
73	0.5156	--	-	0.517	0.527 <sup>b</sup>
74	0.5158	--	0.532	0.517	-
75	0.5161	--	-	0.517	0.529 <sup>b</sup>
76	0.5164	--	0.534	0.517	-
77	0.5168	--	-	0.517	-
78	0.5172	--	0.535	0.517	-
79	0.5177	--	-	0.517	0.531 <sup>b</sup>
80	0.5182	0.5170	0.537	0.517	0.50 <sup>c</sup>
81	0.5188	--	-	0.516	0.514 <sup>c</sup>
82	0.5195	--	0.539	0.516	0.534 <sup>b</sup> ; 0.50 <sup>c</sup>
83	0.5202	0.5159	-	0.516	0.527 <sup>c</sup>
84	0.5210	--	0.541	0.516	-
85	0.5219	--	-	0.515	-
86	0.5229	0.5152	0.542	0.515	0.527 <sup>c</sup>
87	0.5239	--	-	0.514	-
88	0.5250	--	0.544	0.514	0.516 <sup>c</sup>
89	0.5263	--	-	0.513	-
90	0.5276	--	0.546	0.513	0.540 <sup>b</sup> ; 0.507 <sup>c</sup>
91	0.5290	--	-	0.512	-
92	0.5305	--	0.548	0.511	0.543 <sup>b</sup> ; 0.523 <sup>c</sup>
93	0.5320	--	-	0.511	0.544 <sup>b</sup>
94	0.5337	--	0.550	0.510	0.545 <sup>b</sup>
95	0.5356	--	-	0.509	0.546 <sup>b</sup>
96	0.5375	--	0.552	0.508	0.49 <sup>d</sup>
97	0.5395	--	-	0.507	0.57 <sup>d</sup>
98	0.5417	--	0.554	0.506	0.51 <sup>d</sup>
99	0.5439	--	-	0.505	0.55 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> (Ramos et al., 1977)

<sup>b</sup> (Salem et al., 1970)

<sup>c</sup> (de Pinho et al., 1971)

<sup>d</sup> (Dittner and Bemis, 1972)

Afin de mieux visualiser la comparaison entre nos valeurs semi-empiriques et théoriques avec le reste des valeurs des tableaux allant de 3-2 jusqu'à 3-8, celles-là ont été tracées en fonction du numéro atomique  $Z$  (figure 3-5). Après avoir examiné ces figures, nous pouvons déduire certains points selon les différents rapports d'intensité. En ce qui concerne le rapport  $K\beta/K\alpha$  nous observons que :

- De manière générale, on remarque que nos calculs semi-empiriques et théoriques sont en cohérence avec le reste des valeurs obtenues par les autres auteurs qu'elles soient théoriques, empiriques ou bien expérimentales, pour tous les éléments compris entre  $11 \leq Z \leq 96$ .
- En comparant nos calculs semi-empiriques avec ceux effectués à l'aide du code MCDFGME, nous constatons qu'il y a un très bon accord entre les deux, à l'exception des éléments de la

région  $24 \leq Z \leq 30$  pour lesquelles la déviation relative  $DR^{10}$  va de 7.86% à 11.16%. Cela signifie que dans cette région, soit le calcul semi-empirique surestime les valeurs des rapports d'intensité  $K\beta/K\alpha$  ou bien l'inverse (le calcul théorique sous-estime les valeurs). Nous sommes plutôt tentés de dire que le calcul semi-empirique est plus fiable, car il est basé sur un large nombre de données expérimentales. Rappelons que le nombre de mesures récoltées pour le  $^{28}\text{Ni}$ ,  $^{29}\text{Cu}$  et  $^{30}\text{Zn}$  est 117, 126 et 94 respectivement.

- En comparant nos calculs (semi-empiriques et théoriques) avec les valeurs théoriques de Scofield (1974), nous nous apercevons que celles-ci sont inférieures aux nôtres. En effet, en calculant la déviation relative DR entre les deux calculs (nos valeurs semi-empiriques et celles de Scofield (1974)) on se rend compte que même si la différence est minime entre les intervalles  $18 \leq Z \leq 22$  (DR allant de 0.84% à 6.94%) et  $37 \leq Z \leq 96$  (DR allant de 0.071% à 5.46%), elle est significative entre les intervalles  $23 \leq Z \leq 36$  (DR allant de 5.96% à 16.25%) et  $11 \leq Z \leq 17$  (DR supérieur à 15.94%). Il convient de souligner que la déviation considérable dans cette dernière région (qui n'est cependant pas visible sur la figure 3-5) est due au fait que pour les éléments à faible numéro atomique Z, la transition  $K\beta$  est difficilement observable par certains détecteurs. C'est pourquoi les mesures des éléments à faible Z introduisent généralement une incertitude supplémentaire sur les rapports d'intensité par rapport aux mesures des éléments à Z moyen et lourd.
- En ce qui concerne la comparaison de nos calculs semi-empiriques avec les valeurs empiriques de Nelson et al. (1970) et de Daoudi et al. (2020), nous remarquons que ceux-ci épousent parfaitement la forme de nos valeurs, de sorte qu'il est difficile de distinguer les trois représentations graphiques. A l'exception des deux éléments  $Z=20$  et  $Z=22$  calculés par Nelson et al. (1970), pour lesquels la déviation relative DR est considérable. En effet, elle est de 35.8% pour le 1<sup>er</sup> élément et de 21.7% pour le second élément.
- La même observation est faite en comparant nos calculs semi-empiriques avec les mesures expérimentales présentées sur la figure 3-5 (Ertuğral et al., 2007 ; Uğurlu and Demir, 2020 et Uğurlu, 2019). En d'autres termes, les points sont concordants, mise à part deux valeurs d'Ertuğral et al. (2007) qui semblent se détacher du reste : le  $^{90}\text{Th}$  avec une déviation relative DR de 10.99% et le  $^{92}\text{U}$  avec une déviation relative DR de 9.52%.

En ce qui concerne le rapport  $K\alpha_2/K\alpha_1$  nous observons que :

- En majeure partie, nous observons que les valeurs présentées par les autres auteurs pour tous les éléments compris entre  $13 \leq Z \leq 99$  sont conformes à nos calculs semi-empiriques et théoriques.
- Nous constatons qu'il existe un très bon accord entre nos valeurs semi-empiriques et celles réalisées à l'aide du code MCDFGME, à l'exception des éléments  $Z=16$ , 24 et 26, pour lesquels l'écart relatif DR est respectivement de 3.23%, 4.32% et 3.33%. A noter qu'il reste tout de même minime puisqu'il est inférieur à 5%.
- En comparant nos calculs (semi-empiriques et théoriques) avec les valeurs théoriques de Scofield (1974), on constate que les trois représentations graphiques se chevauchent, à tel point qu'on ne peut les distinguer. Cependant, dans la région  $94 \leq Z \leq 99$ , on remarque une légère surestimation de la part des calculs de Scofield (1974) comparé à nos valeurs semi-empiriques, où DR varie de 0.73% à 1.23%. Cet écart très faible montre à quel point les deux calculs sont cohérents.
- La même observation est faite en comparant nos valeurs (semi-empiriques et théoriques) avec celles de Nelson et al. (1970) ; nous ne pouvons pas distinguer les trois représentations graphiques en raison de leur chevauchement. Cela montre à quel point les calculs concordent.

<sup>10</sup>La formule utilisée pour calculer la déviation relative est :  $DR(\%) = \left| \frac{((R)_{\text{EXP}} - (R)_{\text{semi-emp}})}{(R)_{\text{semi-emp}}} \right| \times 100$

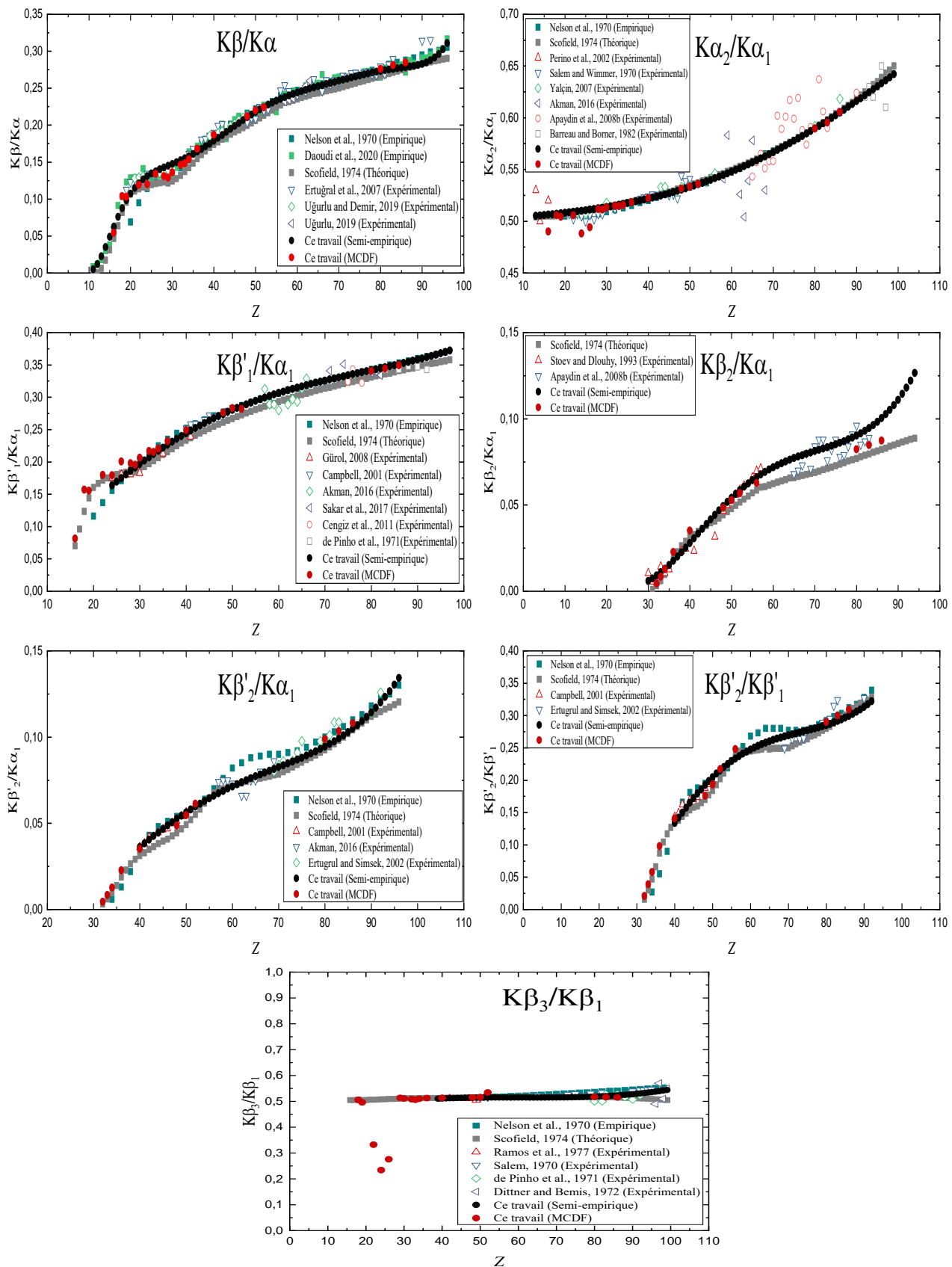


Figure 3-5. Comparaison de nos calculs théoriques (disques rouges) et semi-empiriques (disques noirs) avec d'autres valeurs théoriques, expérimentales, empiriques et semi-empiriques existantes dans la littérature.

- En revanche, en comparant nos calculs (semi-empiriques et théoriques) avec les mesures expérimentales de Perino et al. (2002), Salem and Wimmer (1970), Yalçın (2007), Akman (2016a), Apaydin et al. (2008b) et Barreau and Borner (1982), on remarque que celles-ci paraissent dispersées autour de nos valeurs, surtout pour les mesures des éléments  $Z = 13$  et  $16$  de Perino et al. (2002) (DR est respectivement de 4.92% et 2.71%) ; pour les mesures des éléments de la région  $59 \leq Z \leq 68$  d' Akman (2016a) (DR varie de 0.018% à 8.88%) ; pour celles des éléments  $71 \leq Z \leq 81$  d' Apaydin et al. (2008b) (DR varie de 0.66% à 7.59%) ; ainsi que celle de l'élément  ${}_{97}\text{Bk}$  de Barreau and Borner (1982), (DR = 4.11%). Notez que pour ces derniers cas, DR a été calculée par rapport à nos calculs semi-empiriques. La dispersion, pourtant acceptable, des mesures expérimentales des rapports d'intensité  $K\alpha_2/K\alpha_1$  qui ressort de la figure 3-5 rappelle la nécessité de disposer de calculs fiables comme ceux que nous présentons dans ce travail.

En ce qui concerne le rapport  $K\beta'_1/K\alpha_1$  nous observons que :

- Comme pour les rapports précédents, nous notons que la plupart de nos calculs semi-empiriques et théoriques sont en accord avec les valeurs fournies par les autres auteurs pour tous les éléments dont le numéro atomique est compris entre 16 et 97.
- Nos valeurs semi-empiriques et théoriques (celles obtenues à l'aide du code MCDFGME) correspondent extrêmement bien, avec une déviation relative DR qui va de 0.32% à 6.31%, à l'exception du  ${}_{24}\text{Cr}$  et du  ${}_{26}\text{Fe}$  où DR est respectivement de 9.76% et 14.86%. Notons également que les deux calculs sont complémentaires, c'est à dire que l'absence de valeurs semi-empiriques dans la région  $16 \leq Z \leq 22$  à défaut de mesures expérimentales, est complétée par les valeurs théoriques dans cette même région.
- A l'instar du rapport  $K\beta/K\alpha$ , il y a une légère surestimation du côté de Scofield (1974) par rapport à nos valeurs théoriques et semi-empiriques dans la région  $25 \leq Z \leq 97$ , où l'écart relatif varie de 0.27% à 9.15%. Cependant, dans l'intervalle  $16 \leq Z \leq 24$ , bien que la figure 3-5 semble montrer que nos valeurs théoriques et celles de Scofield (1974) se chevauchent, la déviation relative est significative et se situe entre 2.98 % et 21.4 %.
- En comparant nos valeurs avec celles de Nelson et al. (1970), nous identifions deux régions : la 1<sup>ère</sup> est  $20 \leq Z \leq 26$ , où l'on observe un certain désaccord entre nos valeurs théoriques et celles de Nelson et al. (1970) avec DR qui est de 23.72% pour le  ${}_{22}\text{Ti}$ , de 13.02% pour le  ${}_{24}\text{Cr}$ , et de 14.83% pour le  ${}_{26}\text{Fe}$ . La 2<sup>ème</sup> région est  $27 \leq Z \leq 96$ , où nos calculs (théoriques et semi-empiriques) semblent se confondre avec ceux de Nelson et al. (1970), avec DR comprise entre 0.034% et 5.43%, de sorte qu'on ne peut discerner les représentations graphiques, ce qui témoigne du bon accord entre les calculs.
- Nous remarquons qu'il existe une bonne concordance entre nos calculs et les mesures expérimentales représentées sur la figure 3-5 hormis quelques éléments qui sont : le  ${}_{24}\text{Cr}$  et le  ${}_{30}\text{Zn}$  de Gürol (2008), avec une déviation relative DR respective de 7.71% et de 7.01% ; le  ${}_{60}\text{Nd}$ , le  ${}_{62}\text{Sm}$  et le  ${}_{64}\text{Gd}$  d' Akman (2016a) avec DR égale respectivement à 8.65%, 7.01% et 6.93% ; et finalement le  ${}_{74}\text{W}$  de Sakar et al. (2017) avec DR égale à 5.63%. A noter que pour ces derniers cas, DR a été calculée par rapport à nos calculs semi-empiriques.

En ce qui concerne le rapport  $K\beta_2/K\alpha_1$  nous observons que :

- Contrairement aux autres rapports d'intensité, la figure 3-5 ne révèle pas une très bonne concordance entre les calculs du rapport  $K\beta_2/K\alpha_1$ . En effet, pour les éléments à  $Z$  élevé, l'écart est très prononcé. Ceci est très probablement dû au nombre réduit d'articles et de mesures réalisées pour ce rapport et qui est respectivement de 9 papiers et 89 valeurs, d'où la nécessité

de réaliser davantage d'expérimentations à cet égard, dans le but d'obtenir un modèle empirique et semi-empirique plus précis. On peut également ajouter à cela que, le critère sur lequel on s'est basé pour rejeter les données récoltées semble ne pas être efficace pour ce rapport (revoir la section 3.2. Calcul Semi-empirique).

- A première vue, la figure 3-5 semble indiquer que nos calculs semi-empiriques et théoriques concordent dans la région  $32 \leq Z \leq 48$ . Toutefois, en calculant la déviation relative DR, nous nous rendons compte que cela est loin d'être le cas, car celle-ci est comprise entre 2.07% et 50.16% dans la région considérée. Il en ressort également de la figure 3-5 qu'à partir de  $Z = 50$  jusqu'à  $Z = 86$ , les points s'écartent. En effet, DR varie de 2.34% à 12.90%.
- Lorsqu'on compare nos valeurs théoriques à celles de Scofield (1974), la déviation paraît ne pas être très importante. Cependant, le calcul de DR est compris entre 8.49% et 30.18% dans la région  $30 \leq Z \leq 40$  et entre 5.98% et 9.30% dans la région  $48 \leq Z \leq 86$ , preuve que même s'il y a un meilleur accord entre les deux calculs théoriques dans cette deuxième région, l'écart reste tout de même important. La comparaison entre ces mêmes calculs de Scofield (1974) et nos calculs semi-empiriques, indique une grande divergence dans la région  $31 \leq Z \leq 40$ . Même si cela n'est pas visible dans la figure, elle paraît cependant lors du calcul de la déviation relative DR. En effet, cette dernière a une valeur minimale 6.71% et atteint une valeur maximale de 85.43% pour le  ${}_{31}\text{Ga}$ . Après cela, la divergence s'atténue dans la région  $41 \leq Z \leq 47$ , où DR va de 0.86% à 9.50%. Finalement, dans la région  $48 \leq Z \leq 86$ , la déviation reprend et DR est comprise entre 10.40% et 18.11%, comme le montre la figure 3-5.
- Enfin, la comparaison entre nos calculs semi-empiriques et les mesures expérimentales révèle un bon accord avec les valeurs de Stoev and Dlouhy, (1993) dans la région  $38 \leq Z \leq 57$ , avec DR comprise entre 0.47% et 5.57%. En revanche un accord moins bon existe pour les éléments de la région  $30 \leq Z \leq 35$ , où DR a une valeur minimale de 16.01% et atteint une valeur maximale de 79.96%, en plus des deux éléments suivants  ${}_{23}\text{V}$  et  ${}_{28}\text{Ni}$ , pour lesquels DR a une valeur respective de 23.33% et 28.35%. Quant à la comparaison de nos valeurs semi-empiriques avec celles d'Apaydin et al. (2008b), on peut dire que l'accord est bon car DR va de 0.38% à 11.89%.

En ce qui concerne le rapport  $K\beta_{1/2}/K\alpha_1$  nous observons que :

- Hormis pour les éléments allant de  ${}_{56}\text{Ba}$  à  ${}_{72}\text{Hf}$ , il existe un bon accord entre nos calculs semi-empiriques/théoriques et les valeurs présentées par les autres auteurs dans la région  $32 \leq Z \leq 96$ .
- En comparant nos propres calculs entre eux, c'est-à-dire nos valeurs théoriques et semi-empiriques, nous observons qu'à l'exception du  ${}_{48}\text{Cd}$ , où la déviation relative DR est de 7.72%, pour le reste des éléments de la région  $40 \leq Z \leq 86$ , DR est comprise entre 2.68% et 4.54%, ce qui démontre un très bon accord.
- Lorsque nous comparons nos valeurs théoriques à celles de Scofield (1974), il semble y avoir un bon accord pour les éléments à  $Z$  élevé, mais un accord nettement moins bon pour les éléments à faible  $Z$ . Effectivement, dans la région  $32 \leq Z \leq 36$  la déviation relative DR est comprise entre 17.47% et 30.18%, alors que dans la région  $40 \leq Z \leq 86$ , DR est comprise entre 3.70% et 10.83%. Quant à la comparaison entre nos valeurs semi-empiriques et celles de Scofield (1974), un désaccord apparaît entre les deux calculs à partir de  $Z = 40$  jusqu'à  $Z = 52$ , où DR passe de 7.71% à 13.54%. Après cela, dans la région  $53 \leq Z \leq 93$  les deux calculs concordent, et les valeurs de DR comprises entre 0.16% et 5.76% le confirment. Pour les trois derniers éléments  ${}_{94}\text{Pu}$   ${}_{95}\text{Am}$   ${}_{96}\text{Cm}$ , les calculs divergent à nouveau, DR est respectivement égale à 7.34%, 8.90% et 10.42%.

- La comparaison de nos valeurs (semi-empiriques) avec les valeurs empiriques de Nelson et al. (1970) indique une très bonne concordance dans les régions  $46 \leq Z \leq 54$  et  $74 \leq Z \leq 96$ , et les valeurs de DR comprises respectivement entre 0.36% et 4.72% et entre 1.27% et 5.87% valident nos dires. Toutefois, cet accord est faible dans la région  $40 \leq Z \leq 44$ , où DR passe de 6.08% à 7.62%, ainsi que dans la région  $56 \leq Z \leq 72$ , avec une DR qui passe de 6.22% à 15.64%.
- Pour finir, lorsqu'on compare nos calculs semi-empiriques avec les mesures expérimentales disponibles pour le rapport  $K\beta'_{2}/K\alpha_{1}$ , nous observons globalement un bon accord. En effet, la déviation relative DR entre nos valeurs et celles d'Akman (2016a) est comprise entre 1.45% et 12.00%, alors que DR est comprise entre 0.47% et 11.38% lorsqu'on compare nos valeurs à celle d'Ertugrul and Simsek (2002). Par ailleurs, pour les mesures de Campbell (2001) DR a pour valeur minimale 0.26% et pour valeur maximale 3.70%, preuve d'un excellent accord.

En ce qui concerne le rapport  $K\beta'_{2}/K\beta'_{1}$ , nous observons que :

- Nos calculs semi-empiriques/théoriques et les valeurs fournies par les autres auteurs présentent un bon accord dans la région  $32 \leq Z \leq 92$ , à l'exception des éléments allant de  ${}_{60}\text{Nd}$  à  ${}_{68}\text{Er}$ .
- Lorsque nous comparons nos propres calculs entre eux (théoriques et semi-empiriques), nous constatons qu'à l'exception du  ${}_{48}\text{Cd}$ , où la déviation relative DR est de 8.68%, pour les autres éléments de la région  $40 \leq Z \leq 86$  elle se situe entre 0.94% et 6.16 %, indiquant de ce fait un accord très satisfaisant.
- La comparaison de nos résultats semi-empiriques avec les calculs théoriques de Scofield (1974) montre de nombreuses fluctuations. En effet, les deux représentations s'écartent dans la région  $40 \leq Z \leq 48$ , puis se rapprochent jusqu'à atteindre  $Z = 59$ . DR se situe alors dans la 1<sup>ère</sup> région entre 0.10% et 11.67%, alors qu'elle est comprise entre 0.13% et 10.89% dans la 2<sup>ème</sup> région. Après cela, le même phénomène se reproduit, c-à-d les représentations s'éloignent à partir de  $Z = 60$  jusqu'à  $Z = 70$  pour ensuite se retrouver dans la région  $71 \leq Z \leq 92$ , DR passe de 0.99% à 7.15% dans la 3<sup>ème</sup> région, tandis qu'elle est comprise entre 0.17% et 6.58% dans la 4<sup>ème</sup> région. En ce qui concerne la comparaison entre nos calculs théoriques et ceux de Scofield (1974), la déviation relative allant de 1.36% à 7.06% prouve que la région  $40 \leq Z \leq 86$  jouit d'un très bon accord. En revanche, cet accord est beaucoup moins satisfaisant pour les éléments de la région  $32 \leq Z \leq 36$ , où DR varie de 11.08% à 23.55%.
- La comparaison de nos valeurs (semi-empiriques) avec les valeurs empiriques de Nelson et al. (1970) indique une très bonne concordance dans les deux régions  $40 \leq Z \leq 58$  et  $70 \leq Z \leq 92$ , mis à part deux éléments ayant respectivement  $Z = 42$  et  $Z = 44$ . En effet, DR est comprise entre 0.85% et 4.85% pour la 1<sup>ère</sup> région, tandis qu'elle se situe entre 0.56% et 5.25% pour la seconde. Cependant, DR est respectivement de 10.79% et 9.67% pour le  ${}_{42}\text{Mo}$  et le  ${}_{44}\text{Ru}$ . On remarque cependant un moins bon accord entre les deux calculs pour les éléments allant de  ${}_{60}\text{Nd}$  à  ${}_{68}\text{Er}$ , avec DR située entre 5.31% et 8.31%, c'est ce qui ressort clairement de la figure 3-5.
- Nous remarquons qu'il existe une bonne concordance entre nos calculs et les mesures expérimentales de Campbell (2001) dans la région  $40 \leq Z \leq 50$ , à l'exception du  ${}_{42}\text{Mo}$ . En effet, DR est comprise entre 0.87% et 6.83% dans la région mentionnée, alors qu'elle a une valeur de 8.39% pour le  ${}_{42}\text{Mo}$ . Le même point est avancé lorsque nous comparons nos valeurs semi-empiriques avec celles d'Ertugrul and Simsek (2002) ; il existe un bon accord dans toute la région  $69 \leq Z \leq 90$  (DR se situe entre 0.32% et 6.95%), sauf pour le  ${}_{82}\text{Pb}$  et le  ${}_{83}\text{Bi}$  pour lesquels DR est respectivement de 8.90% et 11.15%.

En ce qui concerne le rapport  $K\beta_3/K\beta_1$  nous observons que :

- La comparaison de nos calculs semi-empiriques/théoriques avec les valeurs présentées par les autres auteurs montre qu'il y a une bonne concordance dans la région  $18 \leq Z \leq 99$ .
- Lorsque nous comparons nos propres calculs entre eux, c'est-à-dire nos valeurs théoriques et semi-empiriques ; on constate qu'en plus du bon accord existant (DR comprise entre 0.10% et 3.81%), les deux calculs sont complémentaires. Autrement dit, l'absence de valeurs semi-empiriques dans la région  $18 \leq Z \leq 36$  due au manque de mesures expérimentales est complétée par les valeurs théoriques dans cette même région.
- La comparaison de nos résultats semi-empiriques avec les calculs théoriques de Scofield (1974) indique un bon accord dans la région  $39 \leq Z \leq 96$ , où DR varie de 0.039% à 5.48%. Cependant, pour les trois derniers éléments de la région :  ${}_{97}\text{Bk}$   ${}_{98}\text{Cf}$   ${}_{99}\text{Es}$ , un certain écart apparaît ; la déviation relative est alors comprise entre 6.03% et 7.16%. De même pour la comparaison de nos calculs théoriques avec ceux de Scofield (1974), on voit qu'il y a un très bon accord tout au long de la région  $39 \leq Z \leq 96$  (DR est comprise entre 0.0038% et 3.46%) ; à l'exception des éléments  ${}_{22}\text{Ti}$   ${}_{24}\text{Cr}$   ${}_{26}\text{Fr}$  pour lesquels DR est énorme et est respectivement égale à 52.22%, 100% et 84.40%.
- Nous remarquons que nos valeurs semi-empiriques concordent extrêmement bien avec les valeurs empiriques de Nelson et al. (1970) dans la région  $50 \leq Z \leq 98$ , où DR se situe entre 0.26% et 3.83%.
- Concernant la comparaison de nos calculs semi-empiriques avec les mesures expérimentales, force est de constater qu'il y a encore une fois un très bon accord. En effet, à l'exception d'un seul élément qui est le  ${}_{96}\text{Cm}$  pour lequel la déviation relative est de 8.83%, cette dernière est comprise entre 0.023% et 5.84% pour toutes les mesures des articles suivants : Ramos et al. (1970), Salem (1970), de Pinho et al. (1971), et Dittner and Bernis, (1972).

### 3.4 Références

- Airiau, M. (2016). (Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay (ComUE)).
- Akman, F. (2016a). *Appl. Radiat. Isot.* 115, 295–303.
- Apaydın, G., Aylıkçı, V., Cengiz, E., Kaya, N. E., Kobyay, Y., & Tıraşoğlu, E. (2008b). *Radiat. Phys. Chem.* 77, 923–927.
- Aylıkçı, N. K., Aylıkçı, V., Kahoul, A., Tıraşoğlu, E. N. G. İ. N., Karahan, I. H., & Cengiz, E. R. H. A. N. (2011). *Phys. Rev. A* 84(4), 042509.
- Backhurst, I. (1936). *LVIII. Lond. Edinb. Dublin philos. mag. j. sci.* 22(149), 737-752.
- Bailey, L. E., & Swedlund, J. B. (1967). *Phys. Rev.* 158(1), 6.
- Bambynek, W., Crasemann, B., Fink, R. W., Freund, H. U., Mark, H., Swift, C. D., & Rao, P. V. (1972). *Rev. Mod. Phys.* 44(4), 716.
- Barreau, G., Börner, H. G., Von Egidy, T., & Hoff, R. W. (1982). *Z. Phys. A* 308(3), 209-213.
- Burhop, E. H. S. (1952). CUP Archive.
- Burhop, E. H. S. (1955). *J. phys. Radium* 16(7), 625-629.

- Cengiz, E. R., Tıraşoğlu, E., Apaydın, G., Aylıkçı, V., Aylıkçı, N. K., & Aksoy, C. A. (2011). *Radiat. Phys. Chem.* 80, 328–334.
- Campbell, J. L. (2001). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 34(17), 3543.
- Daoudi, S., Kahoul, A., Aylıkçı, N. K., Sampaio, J. M., Marques, J. P., Aylıkçı, V., & Deghfel, B. (2020). *At. Data Nucl. Data Tables* 132, 101308–40.
- de Pinho, A. G. (1971). *Phys. Rev. A* 3, 905–908.
- Dittner, P. F., & Bemis Jr, C. E. (1972). *Phys. Rev. A* 5(2), 481.
- Ertugrul, M., & Simsek, Ö. (2002). *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 35(3), 601.
- Ertuğral, B., Apaydın, G., Çevik, U., Ertuğrul, M., & Kobya, A. İ. (2007). *Radiat. Phys. Chem.* 76, 15–22.
- Grotheer, H. H., Hammer, J. W., & Hoffmann, K. W. (1969). *Z. Phys.* 225(4), 293-302.
- Gürol, A. (2008). *Appl Radiat Isot.* 66(3), 372-376.
- Hubbell, J. H., Trehan, P. N., Singh, N., Chand, B., Mehta, D., Garg, M. L. & Puri, S. (1994). *J Phys Chem Ref Data* 23(2), 339-364.
- Kahoul, A., Abassi, A., Deghfel, B., & Nekkab, M. (2011). *Radiat. Phys. Chem.* 80(3), 369-377.
- Nelson, G. C., Saunders, B. G., & Salem, S. I. (1970). *At. Data Nucl. Data Tables* 1, 377-384.
- Perino, E., Deluigi, M. T., Olsina, R., & Riveros, J. A. (2002). *X-Ray Spectrom.* 31, 115–119.
- Poehn, C., Wernisch, J., & Hanke, W. (1985). *Xray Spectrom* 14(3), 120-124.
- Ramos, M. T., Ferreira, J. G., Carvalho, M. L., & Salgueiro, L. (1977). *J. Phys. B:At. Mol.* 10(11), 2101.
- Salem, S. I., & Wimmer, R. J. (1970). *Phys. Rev. A* 2(4), 1121.
- Salem, S. I., Saunders, B. G., & Nelson, G. C. (1970). *Phys. Rev. A* 1(6), 1563.
- Sakar, E., Gurol, A., & Bastug, A. (2017). *Radiat. Phys. Chem.* 131, 105-107.
- Sampaio, J. M., Ekman, J., Tee, B. P. E., du Rietz, R., Lee, B. Q., Pires, M. S. & Marques, J. P. (2022). *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* 277, 107964.
- Scofield, J. H. (1974). *At. Data Nucl. Data Tables* 14(2), 121-137.
- Stoev, K. N., & Dlouhy, J. F. (1993). *Adv. X-Ray Anal.* 37, 697–709.
- Uğurlu, M. (2019). *Acta Phys. Pol. A* 136, 983–987.
- Uğurlu, M., & Demir, L. (2020). *J. Mol. Struct.* 1203, 127458.
- Wentzel, G. (1927). *Z. Phys.* 43(8), 524-530.
- Yalçın, P. (2007). *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At.* 254, 182–186.

# Annexes

## Annexe I : Table Des Conditions Expérimentales

Résumé des paramètres atomiques pour les éléments allant du  $_{11}\text{Na}$  à l' $_{99}\text{Es}$ , ainsi que les sources d'excitation, les échantillons cibles et les détecteurs. Les références à partir desquelles ces données sont obtenues sont également incluses.

Références	Paramètres atomiques	Sources d'excitation	Échantillons cibles	Détecteurs
(Nelson and Saunders, 1969)	$K\alpha_2/K\alpha_1$	Une source $\text{Ta}^{182}$ radioactive ayant une activité de 50 Ci	36 éléments allant du $_{51}\text{Sb}$ à $_{95}\text{Am}$ (feuilles métalliques)	Spectromètre à cristaux courbés de type Cauchois et un détecteur Ge(Li)
(Slivinsky and Ebert, 1969)	$K\beta/K\alpha$	Tube à rayons X	$Z = 29-92$ (métaux purs et oxydes)	Ge(Li) haute résolution
(Boehm, 1970)	$K\alpha_3/K\alpha_1$ & $K\alpha_2/K\alpha_1$	Une source $^{169}\text{Yb}$ radioactive ayant une activité de 01 Ci	Tm	Spectromètre à cristaux incurvé Caltech 2m
(Hansen et al., 1970a)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ $K\beta'_1/K\alpha_1$ $K\beta'_2/K\alpha_1$ & $K\beta/K\alpha$	Une source $^{249}\text{Cf}$ pesant $4 \mu\text{g}$	$Z = 96$ (après la désintégration alpha de $^{249}\text{Cf}$ )	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 325 eV FWHM à 6.4 keV et 465 eV FWHM à 120 keV
(Hansen et al., 1970b)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ $K\beta'_1/K\alpha_1$ $K\beta'_2/K\alpha_1$ & $K\beta/K\alpha$	Couches minces de mylar sur lesquelles une source radioactive a été installée	$Z = 18-90$	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 260 eV FWHM à 6.4 keV pour les éléments à faible $Z$ ( $Z \leq 38$ ), et un détecteur Ge(Li) avec une résolution de 460 eV FWHM à 6.4 keV pour les éléments avec $Z$ élevés
(Middleman et al., 1970)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ & $K\beta'_2/K\beta'_1$	Électrons avec des énergies incidentes comprises entre 150 et 900 MeV	$Z = 29-83$ $^{29}\text{Cu}$ , $^{38}\text{Sr}$ , $^{42}\text{Mo}$ , $^{49}\text{In}$ , $^{69}\text{Tm}$ , $^{73}\text{Ta}$ , $^{79}\text{Au}$ et $^{83}\text{Bi}$	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 430 eV FWHM à 14.4 keV
(Richard et al, 1970)	$K\beta/K\alpha$	Protons avec des énergies incidentes comprises entre 6 et 10 MeV	Cu (feuille)	Détecteur Si(Li) refroidi avec une résolution de 280 eV
(Salem and Wimmer, 1970)	$K\alpha_2/K\alpha_1$	Électrons avec des énergies incidentes de 120 keV émis par un filament de $^{74}\text{W}$	22 éléments entre $Z=21$ et $Z=50$ (feuilles métalliques)	Spectromètre à diffraction de Bragg

ANNEXES

(Salem et al., 1970)	$K\beta_3/K\beta_1$	Rayons $\gamma$ émis par une source $^{182}\text{Ta}$ radioactive ayant une activité de 50-Ci	In, Sn, Te, Ce, Tb, Ta, Re, Au, Pb, Th, U, Np, Pu et Am (feuilles métalliques)	Spectromètre avec un cristal de quartz courbé en conjonction avec un détecteur Ge(Li)
(Smither et al., 1970)	$K\alpha_3/K\alpha_1$	Capture neutronique	Hf et Au	Réacteur CP- avec un spectromètre Argonne à cristaux courbés de 7.7- m
(de Pinho, 1971)	$K\alpha_2, K\alpha_1, K\beta_3, K\beta_1, K\beta_5, K\beta_2, K\beta_4$ & $K\beta'$	Désintégration nucléaire ou conversion externe de photons de 662 keV générés à partir d'une source de $^{137}\text{Cs}$ (capture d'électrons K ou conversion interne)	Z = 17-82 Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Rn, Ra, Th et U	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 700 eV FWHM à 122 keV
(McCrary et al., 1971)	$K\alpha_1, K\alpha_2, K\beta_{1,3}$ & $K\beta_2$	Rayons X à haute énergie	Z = 20-94 28 éléments allant du calcium au plutonium (feuilles pures et composites CaF <sub>2</sub> , RbF, NaI, BaF <sub>2</sub> et CeO <sub>2</sub> )	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 570 eV FWHM à 14 keV, détecteur Si(Li) avec une résolution de 230 eV FWHM à 6 keV, et un spectromètre de diffraction de Bragg.
(Mistry et Quarles, 1971a)	$K\alpha/K\beta$ & $K\alpha_2/K\alpha_1$	Électrons avec des énergie incidentes allant de 40 à 140 keV	Z = 27-79 Cu, Zn, Ag, Sn, Dy et Au (fabriqués uniquement à partir d'éléments purs ou de leurs composés)	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 420 eV FWHM à 6,4 keV
(Mistry et Quarles, 1971b)	$K\alpha/K\beta$	Électrons avec des énergie incidentes allant de 60 à 140 keV	Z = 57-70 (neuf oxydes de terres rares ont été utilisés pour fabriquer des cibles minces)	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 420 eV FWHM à 6.4 keV
(Bissinger et al., 1972)	$K\beta/K\alpha$ & $K\beta_{1,3}/K\beta_2$	Protons avec des énergie incidentes allant de 2 à 30 keV	Ag (feuille)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 540 eV à 6 keV)
(Dittner and Bemis, 1972)	$K\alpha_2, K\beta_3$ & $K\beta_1$	Désintégration $\alpha$ du $^{249}\text{Cf}$ et $^{254}\text{Es}$ , désintégration $\beta^-$ du $^{250}\text{Bk}$ et désintégration par capture électronique du $^{251}\text{Fm}$	Cm, Bk, Cf et Es	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 500 eV FWHM à 122 keV
(Salem et al., 1972)	$K\beta/K\alpha$	Tube à rayons X composé d'une anode en $^{24}\text{Cr}$ pour les éléments à faible Z et un tube à rayons X composé d'une anode en $^{74}\text{W}$ pour des éléments avec $Z \geq 23$	Z = 11-45 26 éléments allant du sodium au rhodium (à l'exception de $^{17}\text{Cl}$ et $^{35}\text{Br}$ , qui étaient sous forme cristalline, tous les échantillons étaient amorphes)	Spectromètre monocristallin
(Schmidt-Ott et al., 1972)	$K\alpha_2/K\alpha_1, K\beta'_1/K\alpha_1$	Désintégration de $^{113}\text{Sn}$ , $^{203}\text{Hg}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{243}\text{Am}$ et $^{249}\text{Cf}$	Z = 81, 92, 94 et 96	Détecteur Ge de haute pureté ayant une

ANNEXES

	$K\beta'_2/K\alpha_1$ & $K\beta/K\alpha$	provoquant l'émission de photons d'énergies de 24.1, 72.9, 31.0. 103.7 et 109.1 keV, respectivement.		résolution de 475 eV FWHM à 122 keV, ainsi que deux détecteurs Ge(Li) avec une résolution de 436 eV FWHM à 14,4 keV et 343 eV FWHM à 6.4 keV, respectivement.
(Schmidt-Ott and Fink, 1972)	$K\beta/K\alpha$	Désintégrations par capture électronique de $^{139}\text{Ce}$ et $^{133}\text{Ba}$	Z = 55	Trois détecteurs Ge(Li) avec une résolution de 342 eV FWHM à 6.4 keV, 436 eV FWHM à 14.4 keV et 4 keV FWHM à 1330 keV
(Slivinsky and Ebert, 1972a)	$K\beta/K\alpha$	Faisceau bremsstrahlung largement filtré émis par un tube à rayons X	Z = 18-39 (cibles solides)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 195 eV pour les photons de 5.9 keV
(Slivinsky and Ebert, 1972b)	$K\beta/K\alpha$	Tube à rayons X composé d'une anode en Mo opérant à 30 kV	Z = 18-39 (échantillons purs placés sous vide)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 185 eV FWHM à 6,4 keV et un détecteur Ge(Li) avec une résolution de 550 eV FWHM à 60 keV
(Close et al., 1973)	$K\alpha/K\beta$	Protons avec des énergies incidentes de 1.00. 2.25 et 3.70 MeV	Ti, V, Fe, Ni, Cu, Ge, Rb, Zr, Ag, Sn et Sb (cibles sous forme de feuilles ou de films vaporisés sur des supports de Ca)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 175 eV à 5.9 keV
(Lear and Gray, 1973)	$K\alpha/K\beta$	Faisceau de protons de 2 keV	Fe, Co, Cu, Zn, Ga, Ge et As (des techniques d'évaporation sous vide ont été utilisées pour préparer les cibles)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 172 eV à 5.898 keV
(Mohler and Cothorn, 1973)	$K\beta/K\alpha$	Faisceau bremsstrahlung émis par une source de $^{147}\text{Pm}$	Sn (l'étain a été déposé sous vide sur des supports en aluminium pour créer les échantillons)	Détecteur Si(Li) solide
(Winters et al., 1973)	$K\beta/K\alpha$	Protons avec des énergies incidentes allant de 1.5 à 5.0 MeV	Kr et Xe	Détecteur Si(Li) refroidi à l'azote liquide, ayant une résolution de 200 eV FWHM à 6 keV et de 165 eV FWHM à 1.63 keV

ANNEXES

(Akselsson and Johansson, 1974)	$K\beta/K\alpha$	Protons avec des énergies incidentes allant de 1.5 à 11 MeV	Fe, Co, Cu, Ni et Ag (cibles minces et feuilles)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 0.27 keV FWHM à 6.4 keV
(Criswell and Gray, 1974)	$K\alpha/K\beta$	Protons avec des énergies incidentes allant de 0.4 à 2.0 MeV	Se, Br, Rb, Sr, Y, Mo et (cibles minces)	Détecteur Si(Li) placé à l'extérieur de la chambre cible, ayant une résolution de 172 eV à 5.898 keV
(Li and Watson, 1974)	$K\beta/K\alpha$	Deutons et particules $\alpha$ d'énergies de 2.88, 6.25, 7.50. et 12.50 MeV/amu, ainsi que des ions de carbone ayant des énergies de 2.35, 3.75, 6.25 et 8.33 MeV/amu	Z = 19-47 (des techniques d'évaporation sous vide ont été utilisées pour préparer toutes les cibles)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 240 eV FWHM à 6.4 keV
(Smith et al., 1974)	$K\beta/K\alpha$	Électrons avec des énergies incidentes allant de 15 et 20 keV	Z = 20-30 (éléments purs et composés : CaSiO <sub>3</sub> , CaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , Ca <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeS et ZnS)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 160 eV FWHM à 5.9 keV
(Bodart et al, 1975)	$K\beta/K\alpha$	Protons avec des énergies incidentes allant de 0.4 à 2.3 MeV	Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni et Cu (des techniques d'évaporation sur un support en mylar ont été utilisées pour obtenir des cibles minces)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 157 eV pour les photons émis du <sup>55</sup> Fe
(Khelil and Gray, 1975)	$K\beta/K\alpha$	Protons avec des énergies incidentes allant de 0.6 à 2.0 MeV	Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Ba et La (des techniques d'évaporation sous vide ont été utilisées pour préparer les cibles minces)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 168 eV à 5.898 keV
(McDaniel et al., 1975)	$K\beta/K\alpha$	Particules alpha avec des énergies incidentes allant de 0.5 à 2.5 MeV	Ti, V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr et Y (cibles minces)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 172 eV FWHM à 5.898 keV
(Tawara et al., 1975)	$K\beta/K\alpha$	Électrons ayant des énergies incidentes de 70. 150 et 270 MeV	Z = 13, 14, 20, 29, 30, 34, 39, 49, 50 et 56 (des techniques d'évaporation sous vide ont été utilisées pour préparer les cibles minces)	Détecteur Si(Li)
(Paić and Pečar, 1976)	$K\beta/K\alpha$	Tube à rayons X avec une anode en Mo opérant à 30 kV	Ti, V, Cr, Fe, Cu et Zn	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 180 eV à 6.4 keV
(Deconninck and Longree, 1977)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ , $K\beta/K\alpha$ & $K\beta'_1/K\alpha_1$	Particules alpha avec des énergies incidentes allant de 40 à 110 MeV	Ho, Tm, Lu, Ta, W, Pt, Au, Pb et Bi	Détecteur intrinsèque au germanium avec une résolution de 475 eV

ANNEXES

			(isotopes naturels et séparés)	pour les rayons X ayant une énergie de 100 keV
(Wilson et al., 1977)	$K\beta/K\alpha$	Particules alpha et protons avec des énergies incidentes allant de 0.6 à 2.4 MeV	$Z = 41-64$ (cibles minces)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 165 eV FWHM à 5.9 keV et un détecteur Ge intrinsèque avec une résolution de 237 eV FWHM à 5.9 keV et 511 eV à 122 keV
(Ramos et al., 1977)	$K\beta_3/K\beta_1$ , $K\beta_2/K\beta_1$ & $K\beta_{1,3}/K\beta_2$	Tube à rayons X par bombardement d'électrons de 45 keV	Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb et Te (des techniques d'évaporation sous vide ont été utilisées pour préparer les cibles)	Spectromètre à cristal courbe avec un cristal de quartz de 2 mm
(Berényi et al., 1978)	$K\beta/K\alpha$	Électrons avec des énergies incidentes allant de 300 à 600 keV	Fe, Co, Ni, Cu, Se, Y, Ag, In et Sn (des techniques d'évaporation sous vide ont été utilisées pour préparer les cibles)	Kevelex avec une résolution de 195 eV FWHM à 6.4 keV
(Keith and Loomis, 1978)	$K\beta/K\alpha$	Tube à rayons X à double cible (W-Cr)	Ni (feuilles de nickel de haute pureté)	Détecteur intrinsèque au germanium avec une résolution de 168 eV FWHM à 5.895 keV
(Marques et al., 1978)	$K\beta/K\alpha$	Sources radioactives de $^{103}\text{Pd}$ , $^{105}\text{Ag}$ et $^{113}\text{Sn}$	Rh, et In	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 195 eV FWHM à 6.4 keV
(Campbell and Schulte, 1980)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ & $K\alpha_3/K\alpha_1$	Sources radioactives de $^{171}\text{Tm}$ , $^{181}\text{W}$ , $^{195}\text{Au}$ , et $^{207}\text{Bi}$ avec des activités de quelques microcuries	Yb, Ta, Pt et Pb	Détecteur Ge(Li)
(Shearer-Izumi et al., 1980)	$K\beta/K\alpha$	Deutéron et ions d'oxygène d'énergies de 5 MeV $\text{amu}^{-1}$	Cr, Fe, Cu, Ag, In et Sm	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 180 eV à 6.4 keV
(Kamal et al., 1980)	$K\beta/K\alpha$	Protons avec des énergies de incidentes de 23.6, 32.1 et 43.6 MeV	Cu, Rb, Ag, Eu et Au (cible mince $\approx 200 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	Détecteur Ge(Li) planaire
(Marques et al., 1980)	$K\beta/K\alpha$	Sources radioactives de $^{75}\text{Se}$ , $^{85}\text{Sr}$ , $^{88}\text{Y}$ , $^{103}\text{Pd}$ , $^{105}\text{Ag}$ , $^{109}\text{Cd}$ , $^{113}\text{Sn}$ et $^{139}\text{Ce}$	$Z = 33, 37, 38, 45, 46, 47, 49$ et 57	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 195 eV FWHM à 6.4 KeV
(Dost et al., 1981)	$K\beta/K\alpha$ , $K\alpha_2/K\alpha_1$ , $K\beta'_1/K\alpha_1$ & $K\beta'_2/K\alpha_1$	Particules alpha avec des énergies incidentes allant de 9 à 155 MeV	Sn, Ho, Tm, Au, Pb et Bi	Un détecteur Ge de haute pureté pour la détection de rayons X, un détecteur Ge intrinsèque pour le comptage des rayons X et des rayons $\gamma$ de basse énergie, et un détecteur

ANNEXES

				Ge(Li) pour le comptage des rayons $\gamma$
(Martins et al., 1981)	$K\beta/K\alpha$	Désintégrations de $^{133}\text{Ba}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{125}\text{Sb}$ et $^{125\text{m}}\text{Te}$	$Z = 52, 55, 56$	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 210 eV FWHM à 6.4 KeV
(Barreau and Borner, 1982)	$K\alpha_2, K\alpha_1, K\beta_3$ & $K\beta_1$	Capture neutronique	$Z=90-98$ (Actinides)	Spectromètre à cristaux incurvé de type Dumond de 5.76 m
(Maxwell and Campbell, 1984)	$K\beta_3/K\beta_1, K\beta_2/K\beta_1, KO_{23}/K\beta_1, KP_{2,3}/K\beta_1, K\beta_5/K\beta_1, K\beta_4/K\beta_1, KN_2 /KN_3, \& KM_4 /KM_5$	Sources radioactives de $^{171}\text{Tm}, ^{195}\text{Au}, ^{207}\text{Bi}$ , et $^{235}\text{Np}$	$Z = 70, 78, 82$ et $92$	Détecteur Ge planaire intrinsèque avec une résolution de 435 eV FWHM à 84 keV
(Casnati et al., 1985)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 59.54 keV émis par une source $^{241}\text{Am}$ avec une activité de 500 mCi	Cu, Mo et Cd (feuilles cibles)	Détecteur HPGe planaire EG&G avec une résolution FWHM inférieure ou égale à 325 eV à 5.9 keV
(Möser, 1985)	$K\beta/K\alpha$	Électrons de 15 keV	Ti, TiO, Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ti <sub>3</sub> O <sub>5</sub> , et TiO <sub>2</sub> (échantillons de haute pureté)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 152 eV pour les raies $K\alpha$ du Mn
(Braziewicz et al., 1986)	$K\beta/K\alpha$	Protons et ions de $^4\text{He}$ avec des énergies incidentes allant de 1.5 à 3.8 MeV	Ti, Rb, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag et Sb (cibles minces bombardées par des protons) Ti, Cr, Co, Cu, Se, Rb, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag et Sn (cibles minces bombardées par des $^4$ ions He)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 220 eV pour à 6.4 keV
(Campbell et al., 1986a)	$K\beta/K\alpha$	Sources minces de capture électronique de $^{51}\text{Cr}, ^{54}\text{Mn}, ^{55}\text{Fe}, ^{57}\text{Co}, ^{65}\text{Zn}$ , et $^{75}\text{Se}$	$Z = 23, 24, 25, 26, 29$ et $33$	Deux détecteurs Si(Li), l'un ayant une résolution de 185 eV à 6.4 keV et l'autre avec une résolution de 170 eV à 6.4 keV
(Campbell et al., 1986b)	$K\alpha_3/K\alpha_1, K\beta_1/K\alpha_1$ & $K\beta_2/K\alpha_2$	Sources radioactives de $^{207}\text{Bi}$ et $^{235}\text{Np}$	$Z=82$ et $92$ (plomb et uranium)	Cristal Ge intrinsèque monté dans un cryostat spécial
(Kasagi et al., 1986)	$K\beta/K\alpha, K\alpha_2/K\alpha_1$ & $K\alpha_3/K\alpha_1$	Protons de 3,5 MeV	$Z = 62-82$ (feuilles métalliques de Sm, Ho, Tm, Lu, Ta, W, Au et Pb)	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 600 eV à 122 keV
(Mehta et al., 1986)	$K\alpha_1, K\alpha_2, K\alpha_{1,2}, K\beta_{1,3}, K\beta'_2, K\beta_1,$	Désintégrations de $^{192}\text{Ir}, ^{160}\text{Tb}, ^{169}\text{Yb}$ et $^{152}\text{Eu}$	$Z = 62, 64, 66, 69, 76$ et $78$	Détecteur HPGe coaxial, détecteur HPGe plan vertical et

ANNEXES

	$K\beta_2$ & $K\beta$			détecteur vertical Si(Li)
(Rao et al., 1986)	$K\beta/K\alpha$	Générateur de rayons X avec une tension qui varie de 5 à 50 kV et un courant de 5 à 500 $\mu$ A.	Z = 20-50 (feuilles)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.9 keV
(Amorim et al., 1987)	$K\alpha_3/K\alpha_1$	Sources radioactives de $^{195}\text{Au}$ et $^{203}\text{Hg}$	Pt & Tl	Détecteur Ge (LEPS)
(Bhan et al., 1987)	$K\beta/K\alpha$	Désintégrations d'une source $^{109}\text{Cd}$ d'activité de 5 mCi et d'une source $^{125}\text{I}$ d'activité de 10 mCi	Z = 20-49 (échantillons à couche mince)	Détecteur Si(Li) avec une résolution à 6.4 keV supérieure à 230 eV
(Borowski et al., 1987)	$K\beta/K\alpha$	Des photons de 97.5 et 42.8 keV émis par une source de $^{153}\text{Gd}$ , ainsi que des rayons gamma de 59.5 keV produits par une source de $^{241}\text{Am}$ . L'activité de chaque source peut atteindre 30 mCi	Z = 56-71 (feuilles métalliques pures, oxydes métalliques et composés divers)	Détecteur HpGe ayant une résolution de 154 eV et 500 eV à 5.9 keV et à 122 keV, respectivement
(Marques et al., 1987)	$K\alpha_2/K\alpha_1$	Désintégration radioactive ( $\beta^-$ ou CE)	Z=47-81	Détecteur GeHP avec une résolution de 195 eV FWHM à 6.4 keV
(Mehta et al., 1987a)	$K\alpha_1, K\alpha_2, K\beta'_1, K\beta'_2, K\beta_{1,3}, K\beta_2, K\alpha_{1,2}, K\beta_1$ & $K\beta_2$	Désintégrations de sources radioactives de $^{210}\text{Pb}$ , $^{177}\text{Lu}$ , $^{170}\text{Tm}$ et $^{141}\text{Ce}$	Z = 59, 68, 70, 72 et 84	Détecteur HPGe vertical planaire ayant une résolution FWHM de 459 eV à 122 keV et un détecteur vertical Si(Li) avec une résolution de 165 eV à 5.9 keV
(Mehta et al., 1987b)	$K\alpha_1, K\alpha_2, K\beta'_1, K\beta'_2$ & $K\alpha_{1,2}$	Désintégration des sources de $^{137}\text{Cs}$ et de $^{203}\text{Hg}$	Z = 56 et 81	Détecteur HPGe vertical planaire ayant une résolution FWHM de 459 eV à 122 keV et un détecteur vertical Si(Li) avec une résolution de 165 eV à 5.9 keV
(Perujo et al., 1987)	$K\beta/K\alpha$	Protons de 1.0 et 2.0 MeV	Z = 22-32 (films minces de Ti, Cr, Fe, Cu, Zn, Ni et Ge. Des techniques d'évaporation sur des supports en mylar ont été utilisées pour préparer les cibles)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 172 eV FWHM à 5.9 keV
(Rao et al., 1987)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 et 122 keV émis par une source d' $^{241}\text{Am}$ et $^{57}\text{Co}$ , respectivement. En plus des radio-isotopes qui se	Mn et Fe ainsi que six autres éléments avec $49 < Z < 82$ (les cibles étaient sous	Si(Li) ayant une résolution de 160 eV à 5.9 keV et un détecteur HpGe avec une

		désintègrent par capture électronique	forme de poudres, ou bien de feuilles)	résolution de 180 eV à 5.9 keV
(Chand et al., 1988)	$K\alpha$ , $K\beta$ $K\alpha_2$ , $K\alpha_1$ , $K\beta'_1$ & $K\beta'_2$	Désintégrations de $^{103}\text{Ru}$ , $^{131}\text{Ba}$ , $^{134}\text{Cs}$ et $^{166\text{m}}\text{Ho}$	$Z = 45, 55, 56$ et $68$	Un détecteur HPGe coaxial, un détecteur HPGe plan vertical et un détecteur Si(Li)
(Tham et Preiss, 1988)	$K\beta/K\alpha$	Désintégrations d'une source de $^{109}\text{Cd}$ d'activité de 15 mCi	$Z = 24-35$ (échantillons minces. Les composés ont été finement broyés en poudre)	Détecteur Si(Li) refroidi à l'azote liquide, ayant une résolution de 163 eV à 5.9 keV
(Chand et al., 1989)	$K\alpha$ , $K\beta$ , $K\alpha_2$ , $K\alpha_1$ , $K\beta'_1$ & $K\beta'_2$	Désintégrations de $^{131}\text{I}$ , $^{166}\text{Ho}$ , $^{198}\text{Au}$ et $^{199}\text{Au}$	$Z = 54, 68$ et $80$ .	Deux détecteurs HPGe coaxiaux, un détecteur HPGe vertical planaire et deux détecteurs Si(Li)
(Coelho et al., 1989)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 59.5 keV provenant d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Mn, Cu, Zn, Ag, Cd, In et Sn	Détecteur HPGe
(Marchetti and Franck, 1989)	$K\beta/K\alpha$	Rayons X de 70 keV produits par la seconde harmonique d'un monochromateur à double cristal	Cu	Détecteur Si(Li)
(Martins et al., 1989)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ , $K\beta_1'/$ $K\alpha_1$ , $K\beta_2'/$ $K\beta_1'$ & KO/ $K\beta_1$	Désintégration radioactive ( $\beta$ ou EC)	$Z = 47, 49, 52, 55$ et $56$	Détecteur HPGe ayant une résolution de 195 eV FWHM à 6.5 keV
(Saleh et al., 1989)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ , $K\beta_1K\alpha_1$ , & $K\beta_2$ / $K\alpha_1$	Photons de 121.9 keV provenant d'une source de $^{57}\text{Co}$ d'activité de 10 mCi	W, Au, Tl, Pb, Bi (couches minces), Th et U (pastilles sous forme de disques)	Détecteur Ge planaire ayant une résolution de 170 eV FWHM à 5.9 keV
(LaBrecque and Rosales, 1990)	$K\beta/K\alpha$	Désintégrations d'une source radioactive annulaire de $^{109}\text{Cd}$ d'activité de 7 mCi	Co (films minces de cobalt pur et diverses formes chimiques et quantités de composés cobaltifères)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 155 eV FWHM à 5.9 keV
(Bhuinya and Padhi, 1992)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 59.54 keV émis par une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Ti, Cr et Ni dans les alliages $\text{Ti}_x\text{Ni}_{1-x}$ et $\text{Cr}_x\text{Ni}_{1-x}$ pour les concentrations suivantes : $x = 1.0$ . 0.74, 0.55, 0.35 et 0.0 et $x = 1.0$ . 0.58, 0.20	Détecteur Si(Li)

ANNEXES

			et 0.0. respectivement. (Métaux purs et alliages)	
(Carlen et al., 1992)	$K\beta_5/K\beta_1$	Ions $^4\text{He}$ de 6.7 MeV/amu	Mo, Pa et La	Spectromètre à cristal courbe en transmission
(Bhuinya and Padhi, 1993)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 59.54 keV émis par une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi, ainsi que des protons de 4,07 MeV	Ti, Cr et Ni dans les alliages Ti x Ni 1-x et Cr x Ni <sub>1-x</sub> (métaux purs et alliages)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de ~170 eV FWHM à 5.9 keV
(Küçükönder et al., 1993a)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 59.54 keV émis par une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi,	Cr, Mn, Co et Cu (échantillons en poudre d'éléments purs et de composés appartenant au niveau 3D)	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 190 eV FWHM à 5.9 keV
(Küçükönder et al., 1993b)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 59.54 keV émis par une source annulaire d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 3.7 GBq	Cr, Mn et Cu (échantillons en poudre d'éléments purs et de leurs composés chimiques)	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 190 eV FWHM à 5.9 keV
(Küçükönder et al., 1993c)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.6 keV largement filtrés émis par une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Ti, V, Fe, Se, Br, Zr et Ce (échantillons en poudre d'éléments purs et de leurs composés: Ti, TiO <sub>2</sub> , V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , V <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Fe, FeSO <sub>4</sub> , Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , 9H <sub>2</sub> O, FeF <sub>3</sub> , FeCl <sub>3</sub> , 6H <sub>2</sub> O, FeS, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Se, SeO <sub>2</sub> , KBr, KBrO <sub>3</sub> , Zr, ZrCl <sub>4</sub> , Ce, Ce(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , 4H <sub>2</sub> O, CeCl <sub>3</sub> , 7H <sub>2</sub> O)	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 190 eV FWHM à 5.9 keV
(Stoev and Dlouhy, 1993)	$K\alpha_1, K\alpha_2,$ $K\beta_{1,3}$ & $K\beta_2$	Un tube à rayons X fonctionnant à 60 kV, 2.5 mA avec un filtre en Sn de + 150 $\mu\text{m}$ et un filtre en Mo de 50 $\mu\text{m}$ ; un tube à rayons X fonctionnant à 40 kV, 3.0 mA avec un filtre en Ag de 200 $\mu\text{m}$ ; et un tube à rayons X fonctionnant à 8 kV, 0.6 mA sans filtre	Z = 14-92 (échantillons de couches minces)	Spectromètre EDXRF équipé d'un détecteur Si(Li) ayant une résolution de 145 eV pour la raie $K\alpha$ du Mn

(Büyükkasap et al., 1994)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 et 122 keV émis par une source annulaire d' $^{241}\text{Am}$ et de $^{57}\text{Co}$ d'activité de 100 mCi, respectivement. En plus de la capture électronique du $^{54}\text{Mn}$ , $^{55}\text{Fe}$ , $^{57}\text{Co}$ , $^{133}\text{Ba}$ , ainsi que des désintégrations de $^{137}\text{Cs}$ par émission de particules $\beta^-$	Cr, Mn, Fe, Cs et Ba (les échantillons ont été préparés à partir d'éléments purs et de leurs composés : CsCl, BaSO <sub>4</sub> )	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 190 eV FWHM à 5.9 keV
(Chang et al., 1994)	$K\beta/K\alpha$	Rayonnement produit à partir d'une source annulaire d' $\text{Am}^{241}$ d'activité de 1,5 Ci, qui a été irradiée sur une feuille Mo	V (échantillons de poudre d'élément pur et de ses composés : VO, V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , VO <sub>2</sub> , V <sub>6</sub> O <sub>13</sub> , V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , VN et VC)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 200 eV à 5.9 keV
(Dhal and Padhi, 1994)	$K\beta/K\alpha$ & $K\beta'_2/K\beta'_1$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Mn, Ni, Cu, Ga, Ge, Ag, Cd, Sn et Sb (éléments purs, alliages et composés)	Si(Li)
(Zararsiz, 1994)	$K\beta/K\alpha$	Source de $^{55}\text{Fe}$ d'activité 10 mCi	Z = 15-22 (les échantillons étaient P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , S, NaCl, KF, CaO, ScO <sub>3</sub> , Ti)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 175 eV à 5.9 keV
(Dasmahapatra and Mukherjee, 1995)	$K\alpha_1, K\alpha_2, K\beta'_1$ & $K\beta'_2$	Désintégrations de $^{197}\text{Hg}$ , $^{204}\text{Tl}$ , $^{203}\text{Hg}$ , et $^{207}\text{Bi}$	Z = 79-82	Deux détecteurs HPGe à gret volume, ainsi qu'un détecteur HPGe à petit volume (LEPS)
(Padhi and Dhal, 1995)	$K\beta/K\alpha$ & $K\beta'_2/K\beta'_1$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Fe, Co, Ni, Cu, Mo, Ru, Rh et Pd (échantillon épais de grete pureté)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 165 eV à 5.9 keV
(Söğüt et al., 1995)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Cr et Ni (échantillons de poudre d'éléments purs et d'alliages Cr <sub>x</sub> Ni <sub>1-x</sub> et Cr <sub>x</sub> Al <sub>1-x</sub> )	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 160 eV à 5.9 keV
(Hoszowska and Dousse, 1996)	$K\beta_2/K\beta_{1,3}$	Tube à rayons X composé d'une anode en Au fonctionnant à 80 kV et 30 mA	Mo, MoSi <sub>2</sub> , MoS <sub>2</sub> et MoO <sub>3</sub>	Spectromètre à cristaux courbés de type transmission fonctionnant dans une géométrie de fente DuMond modifiée
(Rebohle et al., 1996)	$K\beta/K\alpha$	Tube à rayons X	Ti, V, Cr et Mn (feuilles métalliques et disques épais pressés d'éléments 3D purs et de certains de leurs composés)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 145eV pour les raies K $\alpha$ du Fe

ANNEXES

(Büyükkasap, 1997)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 122 keV produits à partir d'une source radioactive de $^{57}\text{Co}$ d'activité de 10 mCi	Ba, La, Sm, Gd, Dy et Ho (échantillons en poudre)	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 190 eV à 5.9 keV
(Ertugrul et al., 1997)	$K\beta/K\alpha$ , $K\alpha_2/K\alpha_1$ , & $K\beta_1/K\alpha_1$	Photons de 122 keV produits à partir d'une source radioactive de $^{57}\text{Co}$	$Z = 69-92$	Détecteur Ge(Li) avec une résolution de 190 eV à 5.9 keV
(Hölzer et al., 1997)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ $K\beta_{1,3}/K\alpha_{1,2}$	Tube à rayons X	Cr, Mn, Fe, Co, Ni et Cu (métaux de transition 3d)	Spectromètre monocristallin de haute précision dans la géométrie de Bragg
(Bé et al., 1998)	$K\beta/K\alpha$	Tube à rayons X composé d'une anode en W fonctionnant à 50 Kv	Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni et Cu (feuilles d'éléments purs)	Détecteur Si(Li) et avec une résolution de $(165\pm 25)$ eV FWHM à 5.9 keV
(Durak and Özdemir, 1998)	$K\beta/K\alpha$ , $K\alpha_2/K\alpha_1$ , & $K\beta_1/K\alpha_1$	Photons de 123.6 keV produits à partir d'une source radioactive de $^{57}\text{Co}$ d'activité de 100 mCi	Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb, Ta, W, Hg et Pb (échantillons de disques circulaires purs)	Détecteur Ge(Li) collimaté ayant une résolution FWHM de 190 eV à 5.9 keV
(Raj et al., 1998a)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Ni et Cu (échantillons épais d'éléments purs et leurs composés : $\text{Ni}_2\text{Si}$ , $\text{NiSi}$ , $\text{Ni}_2\text{Si}_3$ , $\text{NiSi}_2$ , $\text{Cu}_2\text{Si}$ , $\text{CuSi}$ , et $\text{CuSi}_2$ )	Détecteur Si(Li) avec une résolution de $\sim 165$ eV à 5.9 keV
(Raj et al., 1998b)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Ti, V, Cr et Fe (échantillons de poudre de métaux purs et de leurs composés : $\text{TiC}$ , $\text{VC}$ , $\text{CrB}$ , $\text{CrB}_2$ et $\text{FeB}$ )	Détecteur Si(Li) avec une résolution de $\sim 165$ eV à 5.9 keV
(Cipolla, 1999)	$K\beta/K\alpha$	Protons avec des énergies incidentes allant de 50 à 300 KeV	$Z = 21$ à $32$ (cibles épaisses)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 145 eV à 5.9 keV
(Raj et al., 1999a)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle de $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Ti, V, Cr et Co (échantillons en poudre de métaux purs et de leurs composés)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de $\sim 165$ eV à 5.9 keV
(Raj et al., 1999b)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	V, Cr et Fe (échantillons de poudre de métaux purs et de leurs composés : $\text{V}_3\text{Si}$ , $\text{Cr}_3\text{Si}$ et $\text{FeSi}$ )	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de $\sim 165$ eV à 5.9 keV
(Raj et al., 1999c)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	V et Ni (pastilles épaisses d'éléments purs et d'alliages de $\text{V}_x\text{Ni}_{1-x}$ de	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de $\sim 165$ FWHM eV à 5.9 keV

			compositions diverses : x = 0.00. 0.10. 0.20. 0.35, 0.50. 0.75, 1.00)	
(Durak and Özdemir, 2000)	$K\beta/K\alpha$ , $K\alpha_2/K\alpha_1$ , & $K\beta'_1/K\alpha_1$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Z = 55-68 (échantillons rectangulaires purs)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 188 eV FWHM à 5.9 keV
(Hajivaliei et al., 2000)	$K\alpha_1/K\alpha$ , $K\alpha_2/K\alpha$ , $K\beta_1/K\alpha$ , $K\beta_2/K\alpha$ & $K\beta/K\alpha$	Protons de 20. 22 et 25 MeV	Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er et Yb (Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er étaient sous forme de cibles minces, tetis que Yb a été évaporé)	Détecteur à faible énergie Ge (LEGe) avec une résolution de 180 eV FWHM à 5.96 keV
(Pawłowski and Polasik, 2000)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Ti, V, Cr, Co, Ni et Cu (métaux purs de transition 3d et leurs composés : YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-<math>\delta</math></sub> , YBa <sub>2</sub> (Cu <sub>1-0.033</sub> ) Zn <sub>0.033</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>7-<math>\delta</math></sub> , TiSi <sub>2</sub> , V <sub>3</sub> Si, VSi <sub>2</sub> , Cr <sub>3</sub> Si, CrSi <sub>2</sub> CoSi <sub>2</sub> , NiSi <sub>2</sub> , CuSi <sub>2</sub> , CrB, CrB <sub>2</sub> , FeB)	Détecteur à semi-conducteurs avec une résolution FWHM de 165 eV à 5.9 keV
(Raj et al., 2000a)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Cr, Mn et Co (échantillons de métaux purs et de leurs composés: composés CrSe, MnSe, MnS, CoS)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de ~165 eV à 5.9 keV
(Raj et al., 2000b)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle de d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Fe et Ni (échantillons de poudre de métaux purs et d'alliages de Fe <sub>x</sub> Ni <sub>1-x</sub> pour différentes compositions : x = 0.20. 0.50. 0.58)	Détecteur Canberra Si(Li) ayant une résolution de ~165 eV à 5.9 keV
(Campbell, 2001)	$K\beta'_1/K\alpha_1$ , $K\beta'_2/K\alpha_1$ & $K\beta'_2/K\beta'_1$	Faisceau de protons de 3 MeV	Z=40-59 (cibles métalliques pure)	Si(Li) avec une résolution de 140 eV à 5.9 keV
(Ertuğrul et al., 2001a)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Z = 57-69	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 60 eV FWHM à 5.9 keV
(Ertuğrul et al., 2001b)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$	Z = 22-69 (échantillons de poudre de grete pureté)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 160 eV FWHM à 5.9 keV

(Raj et al., 2001)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Fe et Ni (poudre de métaux purs et alliages de $\text{Fe}_x\text{Ni}_{1-x}$ avec des compositions : $x = 0.20, 0.50, 0.58$ )	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de ~165 eV à 5.9 keV
(Söğüt et al., 2001)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Mo, Ag, Cd, Ba, La et Ce (échantillons en poudre d'éléments purs et de certains de leurs composés)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 155 eV à 5.9 keV
(Ximeng et al., 2001)	$K\beta/K\alpha$ , $K\alpha_2/K\alpha_1$ , $K\beta'_1/K\alpha_1$ , $K\beta'_2/K\beta_1'$ & $K\beta_3/K\beta_2$	Protons de 3 MeV	$Z = 39, 51, 62, 63, 64, 66, 67$ (les cibles ont été créés à partir de nitrates de Y, Sb, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er sur des films de Mylar)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 195 eV à 5.9 keV
(Castellano et al., 2002)	$K\alpha/(K\beta + K\alpha)$	Faisceau de courant de 2 nA et 4 nA	Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, As, Zr et Mo (échantillons purs)	Détecteurs Si(Li) à des énergies comprises entre 10 et 30 keV
(Caliskan et al., 2002)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$	$Z = 41-68$ (cibles pures)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 160 eV à 5.96 keV
(Ertuğrul, 2002a)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$	$Z = 30-40$ (Zn, As, Se, Rb, Sr, Y et Zr)	Détecteur Ge(Li) ayant une résolution de 190 eV à 5.96 keV
(Ertugrul, 2002b)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Sm et Tb (échantillons de grete pureté)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de ~160 eV à 5.96 keV
(Ertugrul, 2002c)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Cs, Ba et La (échantillons de haute pureté)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de ~160 eV à 5.96 keV
(Ertuğrul et al., 2002)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Zr, Mo, Pd, Ag, Sb, Ce et Nd (échantillons minces et uniformes de haute pureté)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Ertuğrul and Şimşek, 2002)	$K\beta'_2/K\beta'_1$ & $K\beta'_2/K\alpha_1$	Photons de faible énergie émis par une source de $^{57}\text{Co}$ d'activité de 100 mCi	Tm, Yb, Lu, Ta, W, Re, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th et U (Cibles spectroscopiquement pures de $\text{Tm}_2\text{O}_3$ , $\text{Yb}_2\text{O}_3$ , $\text{Lu}_2\text{O}_3$ , Ta, $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Re, Au, $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Tl}_2\text{O}_3$ , Pb, $\text{Bi}(\text{CO}_3)_2$ , $\text{Th}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et $(\text{CH}_3\text{COOH})_2$ )	Détecteur Ge(Li) ayant une résolution de 190 eV à 5.96 keV

ANNEXES

			UO <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O sous forme de poudre)	
(İçelli and Erzeneoğlu, 2002)	Kβ/Kα	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source annulaire d' <sup>241</sup> Am d'activité de 100 mCi	Zn (poudre pure de zinc)	Détecteur Si(Li) haute résolution avec une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Jonnard et al., 2002)	Kβ/Kα	Électrons d'énergie de 9.5 keV	Mg (plaques métalliques de haute pureté)	Spectromètre sous vide à cristal courbé
(Pawlowski et al., 2002)	Kβ/Kα	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' <sup>241</sup> Am d'activité de 200 mCi	Ti, Cr, Fe et Co (métaux purs et alliages : Cr <sub>0.26</sub> Fe <sub>0.74</sub> , Cr <sub>0.80</sub> Co <sub>0.20</sub> et Ti <sub>0.80</sub> Cr <sub>0.20</sub> sous forme de poudre)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de ~165 eV à 5.9 keV
(Perino et al., 2002)	Kα <sub>1</sub> , Kα <sub>2</sub> & Kβ <sub>1,3</sub>	Tube à rayons X composé d'une anode en rhodium	Al, Si et S (les échantillons ont été placés à l'état élémentaire et dans divers états de valence : Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , ZnS, Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , FeS <sub>2</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O et ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O)	Des cristaux d'analyseurs Ge et PET sont utilisés dans un spectromètre à dispersion de longueur d'onde
(Raj et al., 2002)	Kβ/Kα	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive d' <sup>241</sup> Am d'activité de 200 mCi	Z = 22-29 (les échantillons étaient sous forme de feuilles épaisses de haute pureté)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de ~165 eV à 5.9 keV
(Söğüt et al., 2002)	Kβ/Kα	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive d' <sup>241</sup> Am	Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu et Zn (échantillons de poudre d'éléments purs et de leurs composés dans divers états d'oxydation)	Détecteur Si(Li) à l'état solide ayant une résolution de 155 eV à 5.9 keV
(Baydaş et al., 2003)	Kβ/Kα	Photons de 10 keV produits par la technique d'excitation secondaire	Z = 22-29 (échantillons en poudre)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 160 eV à 5.9 keV
(Ertugrul, 2003)	Kβ/Kα	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' <sup>241</sup> Am d'activité de 100 mCi	Ce, Pr et Nd (échantillons de haute pureté)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de ~165 eV à 5.96 keV
(Ximeng et al., 2003)	Kβ/Kα	Protons de 3 MeV	Z = 23-33 (cibles minces)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 195 eV à 5.9 keV

(Kavčič et al., 2004)	$K\alpha_2/K\alpha_1$	Faisceau de protons de 2 MeV	Sulfur et ses composés (S, FeS, TiS <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> sous forme de poudre, puis transformés en granulés)	Spectromètre à cristal haute résolution dans la géométrie de Johansson
(Baydaş, 2005)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive de d' <sup>241</sup> Am	Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho et Er (échantillons circulaires)	Détecteur Si(Li) avec une résolution de 160 eV FWHM à 5.96 keV
(Çevik et al., 2005)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.543 keV produits à partir d'une source radioactive d' <sup>241</sup> Am	Mn, Ni et Cu (échantillons de poudre d'éléments purs et de complexes)	Détecteur à semi-conducteurs Si(Li) ayant une résolution de 157 eV à 5.9 keV
(Doğan and Bacaksiz, 2005)	$K\beta/K\alpha$	Photons d'énergies de 5.96 et 59.543 keV produits à partir de sources radioactives annulaires de <sup>55</sup> Fe et <sup>241</sup> Am d'activité de 50 mCi	Cd et Zn (films minces d'éléments purs et d'alliages de Cd <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> S)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 160 eV à 5.9 keV
(Şahin et al., 2005)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 5.96 keV émis par une source radioactive de <sup>55</sup> Fe	Z = 16-23 (échantillons purs d'épaisseur variable)	Détecteur Si(Li) collimaté
(Bacaksiz et al., 2006)	$K\beta/K\alpha$	59.543 keV de rayons gamma produits à partir d'une source radioactive annulaire d' <sup>241</sup> Am d'activité de 50 mCi	Cd et Zn (films minces d'éléments purs et d'alliages de Cd <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> : x = 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, et 0.60)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 160 eV à 5.9 keV
(Bennal and Badiger, 2006)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ , $K\beta_1/K\alpha_1$ , & $K\beta/K\alpha$	Source faible de <sup>57</sup> Co d'intensité d'environ 10 <sup>4</sup> Bq qui émet des photons gamma de 14.4 keV (8.5 %), 122 keV (85 %), 136 keV (11 %) et des photons X de 6.4 keV de fer	Ta, Au et Pb (fines feuilles d'échantillons purs)	Détecteur HPGe avec une résolution de 700 eV à 122 keV
(Hatzistergos and Lifshi, 2006)	$K\beta$ & $K\alpha$	Canon à émission thermoionique	Z = 12-32	Détecteur EDAX EDS
(Oz, 2006)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' <sup>241</sup> Am	Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb et Mo (échantillons circulaires de différentes épaisseurs)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.9 keV

(Bennal and Badiger, 2007)	$K\beta/K\alpha$	Source de $^{57}\text{Co}$ d'activité de $\sim 10 \mu\text{Ci}$ qui produit des photons avec des énergies de 123.6 keV	Mo, Ag, Cd, In et Sn (feuilles fines de cibles élémentaires pures)	Détecteur HPGe avec une résolution de 700 eV à 88 keV
(Çevik et al., 2007)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 123.6 et 59.5 keV produits à partir de sources radioactives de $^{57}\text{Co}$ et d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 25 et 50 mCi, respectivement.	Cr, Fe, Co, Cu, Zn, Ga, Se, Y, Mo, Cd, In, Sn, Te, Ba, Ta, W et Bi (métaux de haute pureté)	Détecteur Super Si(Li) ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
Demir and Şahin, 2007a)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ , $K\beta'_1/K\alpha_1$ & $K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Nd, Gd, Dy, Eu et Ho (feuilles pures de Gd et Dy, et Nd, Eu et Ho sous forme de poudre)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 180 eV à 5.9 keV
Demir and Şahin, 2007b)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Nd, Gd, Dy, Eu et Ho (feuilles pures de Gd et Dy, et Nd, Eu et Ho sous forme de poudre)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 180 eV à 5.9 keV
(Ertuğral et al., 2007)	$K\beta/K\alpha$	Sources radioactives annulaires de $^{55}\text{Fe}$ et d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 1.85 GBq, et de $^{57}\text{Co}$ d'activité de 0.925 GBq produisant des rayons gamma de 5.9, 59.5 et 123.6 keV	$Z = 16-92$ (échantillons en poudre de haute pureté)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.9 keV
(Ertuğral, 2007)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 123.6 keV produits à partir d'une source radioactive de $^{57}\text{Co}$ d'activité de 25 mCi	Ce, Pr, Nd, Sm, Eu et Gd (cibles de haute pureté de $\text{CeO}_2$ , $\text{Pr}_3\text{O}_4$ , $\text{Nd}_2\text{O}_3$ , $\text{Sm}_2\text{O}_3$ , $\text{Eu}_2\text{O}_3$ et $\text{Gd}_2\text{O}_3$ )	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.9 keV
(Han et al., 2007)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	$Z = 22-68$ (échantillons rectangulaires purs)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.9 keV
(Kalayci et al., 2007)	$K\beta/K\alpha$	Désintégrations d'une source radioactive annulaire de $^{109}\text{Cd}$ d'activité 10 mCi (produisant un faisceau primaire avec une énergie allant de 22 à 25 keV)	Ni (échantillons de poudre d'éléments purs et d'alliages Ni-Si : Ni dans $\text{Ni}_3\text{Si}$ , $\text{Ni}_2\text{Si}$ et $\text{NiSi}$ )	Détecteur Si(Li) planaire ayant une résolution de 190 eV à 5.9 keV
(Kaya et al, 2007)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 123.6 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire de $^{57}\text{Co}$ d'activité de 25 mCi	$Z = 69-76$	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV

(Aylikci et al., 2007)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ $K\beta_2/K\alpha_1$ $K\beta_1/K\alpha_1$ & $K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 123.6 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire de $^{57}\text{Co}$ d'activité de 25 mCi	Hf (élément pur et ses composés sous forme de poudre)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Yalcin, 2007)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ $K\beta_1/K\alpha_1$ & $K\beta/K\alpha$	Désintégration de $^{51}\text{Cr}$ , $^{55}\text{Fe}$ , $^{67}\text{Ga}$ , $^{99}\text{Tc}$ , $^{111}\text{In}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{133}\text{Ba}$ , $^{133}\text{Xe}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{201}\text{Tl}$ et $^{226}\text{Ra}$ , ainsi qu'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi et une source radioactive annulaire de $^{60}\text{Co}$ d'activité de 100 mCi produisant des rayons gamma de 59.5 et 123.6 keV, respectivement.	V, Mn, Zn, Tc, Ru, Cd, Xe, Cs, Ba, Hg et Rn (échantillons de poudre de haute pureté)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.9 keV
(Apaydin et al., 2008)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$	Co, Ni, Cu et Zn (échantillons de poudre d'éléments purs et de complexes : 2B-Co, 2B-Ni, Cyc-Ni-Pc, CycZn-Pc, 2B-Co-Pc, 2B-Ni-Pc, 2B-Cu-Pc, 2B-Zn-Pc, Py-Co-Pc, Py-Ni-Pc, Py-Cu-Pc, Py-Zn-Pc, Poly-Co-Pc, Poly-Ni-Pc, Poly-Cu-Pc, et Poly-Zn-Pc)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Apaydin et al., 2008b)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ , $K\beta_{1,3}/K\alpha_1$ et $K\beta_2/K\alpha_1$	Photons de 123.6 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire de $^{57}\text{Co}$ d'activité 925 MBq	Z=65-92 (échantillons en poudre)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.9 keV
(Cengiz et al., 2008)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 5.96 et 59.5 keV produits à partir de sources radioactives annulaires de $^{55}\text{Fe}$ et d' $^{241}\text{Am}$ , respectivement.	Nb (échantillons d'élément pur et de ses composés : $\text{NbCl}_5$ , $\text{NbBr}_5$ , $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , NbC et NbN)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Guroi, 2008)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ , $K\beta'_1/K\alpha_1$ & $K\beta'_2/K\alpha_1$	Photons de 59.537 keV produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$	Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Br, Nb, Ba, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy et Ho (Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Gd et Dy étaient sous forme de feuille, tetis que KBr, $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , BaO, $\text{Nd}_2\text{O}_3$ , $\text{SmCl}_3$ , $\text{EuCl}_2$ , $\text{HoCl}_3$ étaient	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 204 eV à 5.9 keV

			sous forme de poudre)	
(Han et al., 2008)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle d' <sup>241</sup> Am sous cinq angles variant de 120° à 160°	Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho et Er (cibles spectroscopiquement pures)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.9 keV
(Porikli and Kurucu, 2008a)	K $\beta$ /K $\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source de radio-isotopes de <sup>109</sup> Cd d'activité de 10 mCi	Ni et Co (éléments purs et leurs composés sous forme de poudre)	Si(Li)
(Porikli and Kurucu, 2008b)	K $\beta$ /K $\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source de radio-isotopes de <sup>109</sup> Cd d'activité de 10 mCi	V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu et Zn (échantillons de poudre de haute pureté)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 180 eV à 5.9 keV
(Porikli et al., 2008)	K $\beta$ /K $\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source de radio-isotopes de <sup>109</sup> Cd d'activité de 10 mCi	Zn et Cu (échantillons en poudre d'éléments purs et de leurs composés : CuBr, Cu <sub>2</sub> O, CuI, CuCl, Cu <sub>2</sub> Te, Cu <sub>5</sub> Si, CuSO <sub>4</sub> , CuSeO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O, CuCl <sub>2</sub> , Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , CuS, CuSe, CuF <sub>2</sub> , CuF <sub>2</sub> . 3H <sub>2</sub> O, CuBr <sub>2</sub> , Cu(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O, ZnSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O, Zn(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , ZnF <sub>2</sub> , ZnO, ZnSn ZnSe, ZnTe et ZnF <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 180 FWHM eV à 5.9 keV
(Söğüt et al., 2008)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive d' <sup>241</sup> Am d'activité de 50 mCi	Fe et Zn (films minces et échantillons de poudre d'éléments purs et d'alliages de Fe <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> )	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Han and Demir, 2009)	K $\beta$ /K $\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source de radioactive de <sup>109</sup> Cd d'activité de 10 mCi	Fe, Cr et Ni (échantillons de poudre de métaux purs et d'alliages de Fe <sub>x</sub> Ni <sub>1-x</sub> (x=0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, et 0.2) ; Ni <sub>x</sub> Cr <sub>1-x</sub> (x=0.8, 0.6, 0.5, 0.4, et 0.2); Fe <sub>x</sub> Cr <sub>1-x</sub> (x=0.9, 0.7, et 0.5); et Fe <sub>x</sub> Cr <sub>y</sub> Ni <sub>1-(x+y)</sub> (x=0.7-y=0.1,	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 180 FWHM eV à 5.9 keV

			$x=0.5-y=0.2$ , $x=0.4-y=0.3$ , $x=0.3-y=0.3$ , $x=0.2-y=0.2$ , et $x=0.1-y=0.2$ )	
(Kup Aylikci et al., 2009)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$	Co et Zn (éléments purs et leurs alliages $\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x}$ )	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Bennal et al., 2010)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 123.6 keV émis par une source faible de $^{57}\text{Co}$	$Z = 42-82$ (cibles élémentaires minces)	Détecteur HPGe ayant une résolution de 700 eV à 88 keV
(Cengiz et al., 2010a)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$	Co, Ni, Cu et Zn (échantillons de poudre d'éléments purs et de complexes divers)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Cengiz et al., 2010b)	$K\alpha_2/$ $K\alpha_1, K\beta'_1/$ $K\alpha_1, K\beta'_1/$ $K\alpha_2, K\beta/K\alpha$	Rayons gamma 59.5 keV et 123,6 keV émis par une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$ et une source radioactive annulaire de $^{57}\text{Co}$ , respectivement	Au, AuCl, Au <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et AuBr <sub>3</sub> (échantillons en poudre d' Au pur et de ses composés)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Han and Demir, 2010a)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive de $^{109}\text{Cd}$ d'activité de 10 mCi	Ti et Co (échantillons de poudre de métaux purs et alliages de $\text{Ti}_x\text{Co}_{1-x}$ : $x = 0.7, 0.6, 0.5, 0.4$ et $0.3$ )	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 160 FWHM eV à 5.9 keV
(Han and Demir, 2010b)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive de $^{109}\text{Cd}$ d'activité de 10 mCi	Fe, Ni, Ti, Co (éléments purs et alliages de $\text{Fe}_x\text{Ni}_{1-x}$ , $\text{Ti}_x\text{Ni}_{1-x}$ & $\text{Co}_x\text{Cu}_{1-x}$ )	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 160 FWHM eV à 5.9 keV
(Han and Demir, 2010c)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive de $^{109}\text{Cd}$ d'activité de 10 mCi	Co et Cu (métaux et alliages purs de $\text{Co}_x\text{Cu}_{1-x}$ : $x = 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3$ et $0.2$ )	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 160 FWHM eV à 5.9 keV
(Han and Demir, 2010d)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive de $^{109}\text{Cd}$ d'activité de 10 mCi	Ti et Ni (échantillons de poudre de métaux purs et alliages de $\text{Ti}_x\text{Ni}_{1-x}$ : $x=0.7, 0.6, 0.5, 0.4$ et $0.3$ )	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 160 FWHM eV à 5.9 keV
(Kup Aylikci et al., 2010a)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$	Co et Zn (éléments purs et leurs alliages $\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x}$ )	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Kup Aylikci et al., 2010b)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$	Ni (métaux purs superalliages)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV

(Cengiz et al., 2011)	$K\beta/K\alpha$ , $K\beta'_1/K\alpha_1$ , & $K\beta'_2/K\alpha_1$	123.6 keV de rayons gamma émis par une faible source de $^{57}\text{Co}$ d'activité de 925 MBq	Z = 73-81 (échantillons en poudre d'éléments purs et de leurs composés)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.96 keV
(Kup Aylikci et al., 2011)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$	Co et Zn (métaux purs et alliages de $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x$ )	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Porikli et al., 2011)	$K\beta_1/K\alpha$ , $K\beta_2/K\alpha$ , $K\beta_2/K\beta_1$ , & $K\beta/K\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source radioactive de $^{109}\text{Cd}$	Y, Zr, Nb et Mo (éléments purs et composés de métaux de transition 4d sous forme de poudre, puis transformés en pastilles)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 180 eV à 5.9 keV
(Porikli and Kurucu, 2011a)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive de $^{109}\text{Cd}$	Cr (élément pur et ses composés sous forme de poudre, puis transformés en granulés)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 155 eV à 5.9 keV
(Porikli and Kurucu, 2011b)	$K\beta/K\alpha$ , $K\beta_{1,3}/K\alpha$ , $K\beta_{2,4}/K\alpha$ , & $K\beta_{2,4}/K\beta_{1,3}$	Désintégration d'une source radioactive de $^{109}\text{Cd}$ d'activité de 10 mCi et d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Y (élément pur et ses composés sous forme de poudre, puis transformés en granulés)	Si(Li)
(Saydam et al., 2012)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$	Fe, Se, Te (échantillons de poids et d'épaisseur variables d'éléments purs et de leurs complexes : FeSe, FeTe, TeSe)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Turşucu et al., 2012)	$K\beta/K\alpha$	Source de $^{133}\text{Ba}$ d'activité de 5,66 $\mu\text{Ci}$ à 80.997 keV d'énergie d'excitation	Z = 40-50 (cibles en feuille mince)	Détecteur à semi-conducteur CdTe ayant une résolution inférieure à 1.2 keV à 122 keV
(Anand et al., 2013)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 32.86 keV qui ont conduit à la conversion interne de $\text{Cs}^{137}$	Mo et Ag (feuilles fines d'éléments purs)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 140 eV à 5.9 keV
(Demir and Şahin, 2013)	$K\beta/K\alpha$	59.537 keV de rayons gamma produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Z = 24-65 (échantillons spectroscopiquement purs)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 180 eV à 5.9 keV

(Doğan et al., 2013)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' <sup>241</sup> Am	Zn et Cr (éléments purs et alliages de Zn <sub>1-x</sub> Cr <sub>x</sub> )	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.96 keV
(Onder et al., 2013)	K $\beta$ /K $\alpha$	80.998 keV de rayons gamma émis par une source radioactive de <sup>133</sup> Ba d'activité de 10 mCi	Z = 40-50 (échantillons minces)	Détecteur CdTe
(Sreevidya et al., 2013)	K $\beta$ /K $\alpha$	Conversion interne de <sup>80</sup> Hg <sup>203</sup> et <sup>55</sup> Cs <sup>137</sup>	Tl et Ba	Si(Li)
(Turşucu and Demir, 2013)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' <sup>241</sup> Am d'activité de 5Ci	Ce (échantillons de différentes épaisseurs d'élément pur et de ses composés : CeCl <sub>3</sub> , CeF <sub>3</sub> , Ce (NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , Ce <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> et Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ). Les échantillons ont ensuite été transformés en granulés cylindriques	Détecteur HPGe ayant une résolution de 182 eV à 5.9 keV
(Turşucu et al., 2013)	K $\beta$ /K $\alpha$	59.537 keV de rayons gamma produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' <sup>241</sup> Am	Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd et Sn (cibles spectroscopiquement pures avec différentes épaisseurs, à l'exception de Ru qui est sous forme de poudre)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 180 eV à 5.9 keV
(Anand et al., 2014)	K $\alpha_2$ /K $\alpha_1$ K $\beta_2$ /K $\alpha_1$ K $\beta'_1$ /K $\alpha_1$ & K $\beta$ /K $\alpha$	Photons de 123.6 keV produits à partir d'une source radioactive faible de <sup>57</sup> Co d'activité de ~10 <sup>4</sup> Bq	Pt, Au et Pb (feuilles minces d'éléments purs)	Détecteur HPGe ayant une résolution de 200 eV à 5.9 keV
(Cengiz et al., 2014)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' <sup>241</sup> Am	Ni et Ti (échantillons de poudre de métaux purs et d'alliages NiTi)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Doğan et al., 2014a)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' <sup>241</sup> Am d'activité de 50 mCi	Co, Ni, Cu et Zn (échantillons en poudre d'éléments purs et de complexes de phtalocyanines)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Doğan et al., 2014b)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' <sup>241</sup> Am d'activité de 50 mCi	Cr et Zn (métaux purs et divers alliages de Zn <sub>1-x</sub> Cr <sub>x</sub> )	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(George et al., 2014)	K $\beta$ /K $\alpha$	Désintégration par conversion électronique de	Fe, Ag et Te	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 140 eV à 5.9 keV

		sources de $^{57}\text{Co}$ , $^{109}\text{Cd}$ et $^{125}\text{I}$ d'activité de $\sim 2 \mu\text{Ci}$		
(Sita Mahalakshmi et al., 2014)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Sb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy et Ho (échantillons en poudre)	Détecteur HPGe
(Sreevidya et al., 2014)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ $K\beta'_1/K\alpha_1$ & $K\beta/K\alpha$	Désintégration par conversion interne de sources de $^{137}\text{Cs}$ et $^{203}\text{Hg}$ d'activité de $\sim 2 \mu\text{Ci}$	Ba et Tl	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 140 eV à 5.9 keV
(Akman et al., 2015)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Ce et Gd (échantillons purs, minces et uniformes de $\text{La}_2\text{O}_3$ , Ce, Gd)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Aksoy et al., 2015)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire de d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 50 mCi	Zr et Sb (échantillons de poudre d'éléments purs et de leurs composés : Zr, $\text{ZrF}_4$ , $\text{ZrI}_4$ , $\text{ZrCl}_4$ , $\text{ZrBr}_4$ , $\text{ZrC}$ , Sb, $\text{SbI}_3$ , $\text{O}_3\text{Sb}_2$ , $\text{S}_3\text{Sb}_2$ et $\text{Br}_3\text{Sb}$ )	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Anand et al., 2015)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 32,86 keV provenant d'une source de $^{137}\text{Cs}$ d'activité de $10^4$ Bq	Co, Ni, Cu et Zn (feuilles minces de haute pureté)	Détecteur HPGe ayant une résolution de 200 eV à 5.9 keV
(Aylikci et al., 2015)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$	$Z = 21-30$ (éléments de transition 3d)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Ito et al., 2015)	$K\alpha_2/K\alpha_1$	Tube à rayons X composé d'une anode en Rh fonctionnant à 40 kV et 70 mA	Zn (feuille métallique de haute pureté)	Spectromètre à double cristal
(Kaçal et al., 2015)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 22.6 keV produits à partir d'une source radioactive de $^{109}\text{Cd}$ d'activité de 10 mCi	Ti, Cr, Fe, Co, Ni et Cu (échantillons circulaires de haute pureté et d'épaisseurs variées)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Mirji et al., 2015a)	$K\beta/K\alpha$	Rayonnement synchrotron de 6.5, 10 et 11 keV	Cr, Cu et Zn (éléments purs et leurs composés)	Détecteur en silicium avec une résolution de 130 eV à 5.9 keV
(Mirji et al., 2015b)	$K\beta/K\alpha$	Rayonnement synchrotron de 6.5, 10 et 11 keV	Cr, Cu et Zn (éléments purs et leurs composés)	Détecteur en silicium avec une résolution de 130 eV à 5.9 keV
(Perişanoğlu and Demir, 2015)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Ni et Cr (échantillons d'éléments purs et alliages de $\text{Ni}_x\text{Cr}_{1-x}$ : $x = 0.40; 0.50; 0.60; 0.80$ )	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV

(Akman., 2016a)	$K\alpha_2/K\alpha_1$ , $K\beta'_1/K\alpha_1$ , $K\beta'_2/K\alpha_1$ , & $K\beta/K\alpha$	Photons de 59.5 keV provenant d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy et Er (cibles spectroscopiquement pures d'épaisseurs variées)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Akman, 2016b)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	$Z = 30-58$ (échantillons en poudre d'éléments purs et de leurs composés)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Akman et al., 2016a)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	$Z = 56-68$ (échantillons minces et uniformes de haute pureté)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Alim et al., 2016)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive de d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Fe et Ni (feuilles métalliques d'Invar ( $\text{Fe}_{0.64}\text{Ni}_{0.36}$ ); Permalloy ( $\text{Fe}_{0.20}\text{Ni}_{0.80}$ ); et alliages de $\text{Fe}_x\text{Ni}_{1-x}$ ( $x = 0.40, 0.52, 0.55, 0.61$ et 1))	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Doğan et al., 2016)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 50 mCi	Cu et Sn (films minces de métaux purs et d'alliages divers de $\text{Cu}_x\text{Sn}_{1-x}$ : $x = 0.48, 0.41, 0.14$ et 0.06)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Köksal et al., 2016)	$K\beta/K\alpha$	Photons de 5.96 keV produits à partir d'une source radioactive de $^{55}\text{Fe}$ d'activité de 50 mCi	Ti (échantillons en poudre d'élément pur et d'une partie de ses composés $\text{TiCl}_3$ , $\text{TiO}$ , $\text{Ti}_2\text{O}_3$ et $\text{TiS}_2$ )	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 140 eV à 5.9 keV
(Özdemir et al., 2016)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 100 mCi	Mo, Nb, Zr et Y (échantillons minces et uniformes de haute pureté, pressés afin d'obtenir différents poids et épaisseurs)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Perişanoğlu et al., 2016)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi	Ti et Ni (échantillons de poudre d'éléments purs et d'alliages de $\text{Ti}_x\text{Ni}_{1-x}$ ( $x = 0.30; 0.40; 0.50; 0.60; 0.70$ ), qui ont ensuite été transformés en granulés)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV

ANNEXES

(Akkuş et al., 2017)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' <sup>241</sup> Am d'activité de 100 mCi	Sc, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Br, Y, Zr et Nb (échantillons en poudre transformés en pastilles cylindriques)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Cengiz et al., 2017)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' <sup>241</sup> Am d'activité de 50 mCi	Zn (élément pur et complexes de phtalocyanine de zinc (II) tétrasubstitués périphériques et non périphériques)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 140 eV à 5.9 keV
(Kup Aylikci et al., 2017)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' <sup>241</sup> Am	Zn, Fe (éléments purs et alliages de Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>x</sub> )	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Ménesguen et al., 2017)	K $\beta$ /K $\alpha$ & K $\beta_{1,3}$ / K $\alpha_{1,2}$	Photons d'énergies incidentes allant de 3.75 keV à 30 keV	Ni (feuilles métalliques de haute pureté)	Diffraction de Bragg. Le monochromateur contient un double cristal Si(111)
(Sakar et al., 2017)	K $\alpha_2$ /K $\alpha_1$ , K $\beta'_1$ /K $\alpha_1$ , & K $\beta'_2$ /K $\alpha_1$	Rayons gamma d'énergies de 59.54 keV et 100.934 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' <sup>241</sup> Am d'activité de ~185 GBq	Lu, W, Hg, Ti et Pb (PbO, HgCl <sub>2</sub> , Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiCl <sub>3</sub> .4H <sub>2</sub> O, et WCl <sub>4</sub> sous forme de poudre)	Spectromètre de fluorescence X à dispersion d'énergie et un détecteur HPGe avec une résolution de ~182 eV à 5.9 keV
(Uğurlu et al., 2017)	K $\beta$ /K $\alpha$	Photons de 22.69 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive de <sup>109</sup> Cd d'activité de 10 mCi	Fe, Ni, Co, Ti et V (feuilles métalliques d'éléments purs, Fe <sub>49</sub> Co <sub>49</sub> V <sub>2</sub> , Fe <sub>54</sub> Ni <sub>29</sub> Co <sub>17</sub> , et Ti <sub>50</sub> Co <sub>50</sub> )	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Yilmaz, 2017)	K $\beta$ /K $\alpha$	Photons d'énergies de 16.896 keV produits à partir de source secondaire	Cu, Ge, As, Br et Rb (échantillons en poudre de haute pureté)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.96 keV
(Anand et al., 2018)	K $\beta$ /K $\alpha$	Photons d'énergies de 32.86 keV provenant d'une source de <sup>137</sup> Cs d'activité de 10 <sup>4</sup> Bq	Co, Ni et Zn (feuilles minces pures)	Détecteur HPGe basse énergie
(Köksal et al., 2018)	K $\beta$ /K $\alpha$	Photons de 5.96 keV émis par une source radioactive annulaire de <sup>55</sup> Fe d'activité de 50 mCi	Ti (échantillons en poudre d'élément pur et de certains de ses composés et complexes)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Singh et al., 2018)	K $\beta$ /K $\alpha$	Électrons d'énergies incidentes allant de 10 à 25 keV	Ti et Cu (éléments purs)	Détecteur de photodiode Si PIN à dispersion d'énergie ayant une résolution FWHM de 160 eV à 5.9 keV

ANNEXES

(Sögüt et al., 2018)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive d' <sup>241</sup> Am d'activité de 50 mCi	Zn (films minces d'élément pur, de ZnO non dopé et de ZnO dopé au bore et au fluor)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Yilmaz, 2018)	K $\beta$ /K $\alpha$	Photons d'énergies de 16.896 keV produits à partir de source secondaire	Cr, Mn, Fe et Co (échantillons en poudre pure)	Détecteur Si(Li) ayant une résolution de 160 eV à 5.9 keV
(Cengiz et al., 2019)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.5 keV produits à partir d'une source radioactive annulaire d' <sup>241</sup> Am	Ni (élément pur et alliage de Ni-B)	Détecteur Ultra-LEGe ayant une résolution de 150 eV à 5.9 keV
(Ugurlu et al., 2019)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' <sup>241</sup> Am d'activité de 200 mCi dans un collimateur à capsule en Pb	Mo et Ag (échantillons de poudre de métaux purs et alliages de Mo <sub>x</sub> Ag <sub>1-x</sub> (0 ≤ x ≤ 1)) Divers champs magnétiques et gamme de concentration ont été utilisés	Détecteur Si(Li)
(Ugurlu, 2019)	K $\beta$ /K $\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source radioactive d' <sup>241</sup> Am d'activité de 200 mCi	La, Ce, Pr, Nd, Sm et Eu (échantillons en poudre dans divers champs magnétiques (B= 0. 0.4, 0.8 T))	Détecteur Si(Li) haute résolution
(Gójska et al., 2020)	K $\beta_{1,2,3}$ / K $\alpha_{1,2}$	Tube à rayons X	Ag (élément pur et alliages d'Ag-Cu avec 5%, 10%, 30%, 75%, 80% et 90% d'argent)	Détecteur Si ayant une résolution de 150 ± 5 eV à 5.9 keV
(Ito et al., 2020)	K $\alpha_2$ /K $\alpha_1$ & K $\beta_3$ /K $\beta_1$	Générateur de rayons X composé d'une anode en Rh fonctionnant à 40 kV et 60 mA	Se, Y et Zr (poudre métallique de haute pureté pour le Se, plaques métalliques pour le Y et feuilles métalliques pour le Zr)	Spectromètre à rayons X à double cristal antiparallèle
(Perişanoğlu et al., 2020)	K $\beta$ /K $\alpha$	Désintégration d'une source ponctuelle radioactive de <sup>109</sup> Cd d'activité de 40 mCi et d'une source annulaire d' <sup>241</sup> Am d'activité de 3 Ci en émettant des photons de 22.1 et 59.54 keV	Zn et Mn (échantillons nanométriques et en poudre de métaux purs et de ferrites de spinelle mixtes Zn-Mn, Zn-Co, Zn-Ni )	Détecteur HPGe

## ANNEXES

---

(Uğurlu and Demir, 2020)	$K\beta/K\alpha$	Rayons gamma de 59.54 keV produits à partir d'une source ponctuelle radioactive d' $^{241}\text{Am}$ d'activité de 200 mCi dans un collimateur à capsule en Pb	Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu et Zn (éléments de transition 3d) et Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag et Cd (éléments de transition 4d) échantillons en poudre dans divers champs magnétiques	Détecteur Si(Li) recouvert d'un filtre de Pb, de Fe et d'Al
--------------------------	------------------	--	--	---

## Annexe II : Base De Données

Résumé des rapports d'intensité expérimentaux suivants :  $K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$  des éléments allant de  $_{11}\text{Na}$  à  $_{99}\text{Es}$  en fonction de leurs numéros atomiques cibles. Les références dont sont extraites les bases de données et les valeurs moyennes pondérées  $(R)_W$  ont également été répertoriées. A noter que pour le rapport  $K\beta/K\alpha$ , les valeurs qui sont en romain sont tirées de l'article (Daoudi et al., 2020), tandis que les valeurs en italique sont celles que nous avons ajoutées dans notre travail.

$K\beta/K\alpha$			
Z, Élément	$(K\beta/K\alpha)_{\text{EXP}-i}$ $\pm \Delta(K\beta/K\alpha)_{\text{EXP}-i}$	Références	$(K\beta/K\alpha)_W \pm \varepsilon$
Z=11, Na	0.008 ± 0.0020 0.009 ± 0.0023	(Salem et al., 1972) (Salem et al., 1972)	0.0084 ± 0.0015
Z=12, Mg	0.011 ± 0.0028 0.012 ± 0.0030	(Salem et al., 1972) (Salem et al., 1972)	0.01147 ± 0.0020
Z=13, Al	0.018 ± 0.00036 <i>0.02</i>	(Salem et al., 1972) (Perino et al., 2002)	0.018 ± 0.00036
Z=14, Si	0.030 ± 0.00060 <i>0.0318 ± 0.0103</i> <i>0.03</i>	(Salem et al., 1972) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Perino et al., 2002)	0.030 ± 0.001
Z=15, P	0.038 ± 0.00076 <i>0.0415 ± 0.0127</i> 0.0378 ± 0.0018	(Salem et al., 1972) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Zararsiz, 1994)	0.0380 ± 0.0007
Z=16, S	0.059 ± 0.0012 <i>0.0597 ± 0.0152</i> 0.0609 ± 0.0027 <i>0.06 ± 0.01</i> 0.0525 ± 0.0021 0.0591 ± 0.004	(Salem et al., 1972) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Zararsiz, 1994) (Perino et al., 2002) (Şahin et al., 2005) (Ertuğral et al., 2007)	0.0579 ± 0.0009
Z=17, Cl	0.095 ± 0.0019 <i>0.0836 ± 0.0071</i> 0.0911 ± 0.0038 0.0678 ± 0.0027 0.0698 ± 0.005	(Salem et al., 1972) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Zararsiz, 1994) (Şahin et al., 2005) (Ertuğral et al., 2007)	0.0854 ± 0.0014
Z=18, Ar	0.1032 ± 0.0067 <i>0.1032 ± 0.0067</i>	(Slivinsky and Ebert, 1972a) (Slivinsky and Ebert, 1972b)	0.1032 ± 0.0047
Z=19, K	0.123 ± 0.0025 0.124 ± 0.0025 0.1217 ± 0.0055 <i>0.1217 ± 0.0055</i> <i>0.1242 ± 0.0101</i> 0.1220 ± 0.0040 0.0951 ± 0.0038 0.1126 ± 0.008	(Salem et al., 1972) (Salem et al., 1972) (Slivinsky and Ebert, 1972a) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Zararsiz, 1994) (Şahin et al., 2005) (Ertuğral et al., 2007)	0.1192 ± 0.0014
Z=20, Ca	0.1280 ± 0.0040 0.128 ± 0.0026 0.130 ± 0.0026 0.105 ± 0.005 <i>0.1297 ± 0.005</i> <i>0.1289 ± 0.0019</i> 0.1280 ± 0.0050 <i>0.122 ± 0.004</i> 0.1050 ± 0.0042 0.1228 ± 0.006	(McCrary et al., 1971) (Salem et al., 1972) (Salem et al., 1972) (Rao et al., 1986) (Bhan et al., 1987) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Zararsiz, 1994) (Castellano et al., 2002) (Şahin et al., 2005) (Ertuğral et al., 2007)	0.1256 ± 0.0011
Z=21, Sc	0.133 ± 0.0027 0.1302 ± 0.0026	(Salem et al., 1972) (Slivinsky and Ebert, 1972a)	0.1284 ± 0.0008

	<p> <math>0.1302 \pm 0.0026</math>  <math>0.1359 \pm 0.0028</math>  <math>0.1290 \pm 0.0050</math>  <math>0.1292 \pm 0.0056</math>  <math>0.1296 \pm 0.0013</math>  <math>0.1268 \pm 0.005</math>  <math>0.1215 \pm 0.0063</math>  <math>0.1119 \pm 0.0060</math>  <math>0.1124 \pm 0.0056</math>  <math>0.1224 \pm 0.0054</math>  <math>0.1127 \pm 0.0054</math>  <math>0.1140 \pm 0.0061</math>  <math>0.1140 \pm 0.0078</math>  <math>0.1282 \pm 0.006</math>  <math>0.1249 \pm 0.005</math>  <math>0.1232 \pm 0.007</math> </p>	<p> <i>(Slivinsky and Ebert, 1972b)</i>  <i>(Stoev and Dlouhy, 1993)</i>  <i>(Zararsiz, 1994)</i>  <i>(Cipolla, 1999)</i>  <i>(Hatzistergos and Lifshi, 2006)</i>  <i>(Ertuğral et al., 2007)</i>  <i>(Aylikci et al., 2015)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i>  <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i>  <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i> </p>	
Z=22, Ti	<p> <math>0.1320 \pm 0.0040</math>  <math>0.135 \pm 0.0027</math>  <math>0.1319 \pm 0.0017</math>  <math>0.1319 \pm 0.0017</math>  <math>0.1321 \pm 0.0066</math>  <math>0.129 \pm 0.002</math>  <math>0.128 \pm 0.001</math>  <math>0.128 \pm 0.002</math>  <math>0.130 \pm 0.003</math>  <math>0.127 \pm 0.003</math>  <math>0.126 \pm 0.002</math>  <math>0.126 \pm 0.002</math>  <math>0.127 \pm 0.001</math>  <math>0.1402 \pm 0.0014</math>  <math>0.121 \pm 0.016</math>  <math>0.133 \pm 0.002</math>  <math>0.123 \pm 0.002</math>  <math>0.1309 \pm 0.0004</math>  <math>0.1310 \pm 0.0004</math>  <math>0.1306 \pm 0.0004</math>  <math>0.130 \pm 0.013</math>  <math>0.127 \pm 0.013</math>  <math>0.1340 \pm 0.005</math>  <math>0.1271 \pm 0.0010</math>  <math>0.1304 \pm 0.0010</math>  <math>0.1282 \pm 0.0014</math>  <math>0.1289 \pm 0.0014</math>  <math>0.1364 \pm 0.0006</math>  <math>0.1354 \pm 0.0039</math>  <math>0.1320 \pm 0.0060</math>  <math>0.1395 \pm 0.0016</math>  <math>0.1359 \pm 0.0017</math>  <math>0.1368 \pm 0.0017</math>  <math>0.1265 \pm 0.0006</math>  <math>0.1350 \pm 0.0081</math>  <math>0.1265 \pm 0.0006</math>  <math>0.1265 \pm 0.0006</math>  <math>0.121 \pm 0.010</math>  <math>0.135 \pm 0.004</math>  <math>0.1265 \pm 0.0006</math>  <math>0.1265 \pm 0.0006</math>  <math>0.1364 \pm 0.0134</math>  <math>0.094 \pm 0.003</math>  <math>0.1089 \pm 0.0043</math> </p>	<p> <i>(McCrary et al., 1971)</i>  <i>(Salem et al., 1972)</i>  <i>(Slivinsky and Ebert, 1972a)</i>  <i>(Slivinsky and Ebert, 1972b)</i>  <i>(Close et al., 1973)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Bodart et al, 1975)</i>  <i>(McDaniel et al., 1975)</i>  <i>(Paić and Pečar, 1976)</i>  <i>(Paić and Pečar, 1976)</i>  <i>(Möser, 1985)</i>  <i>(Möser, 1985)</i>  <i>(Möser, 1985)</i>  <i>(Braziewicz et al., 1986)</i>  <i>(Braziewicz et al., 1986)</i>  <i>(Bhan et al., 1987)</i>  <i>(Perujo et al., 1987)</i>  <i>(Perujo et al., 1987)</i>  <i>(Bhuinya and Padhi, 1992)</i>  <i>(Bhuinya and Padhi, 1993)</i>  <i>(Bhuinya and Padhi, 1993)</i>  <i>(Stoev and Dlouhy, 1993)</i>  <i>(Zararsiz, 1994)</i>  <i>(Rebohle et al., 1996)</i>  <i>(Bé et al., 1998)</i>  <i>(Bé et al., 1998)</i>  <i>(Raj et al., 1998b)</i>  <i>(Cipolla, 1999)</i>  <i>(Raj et al., 1999a)</i>  <i>(Pawłowski and Polasik, 2000)</i>  <i>(Ertuğrul et al., 2001b)</i>  <i>(Castellano et al., 2002)</i>  <i>(Pawłowski et al., 2002)</i>  <i>(Raj et al., 2002)</i>  <i>(Sögüt et al., 2002)</i>  <i>(Baydaş et al., 2003)</i>  <i>(Şahin et al., 2005)</i> </p>	<p> <math>0.1269 \pm 0.0001</math> </p>



	<p> <math>0.128 \pm 0.001</math>  <math>0.128 \pm 0.002</math>  <math>0.129 \pm 0.001</math>  <math>0.129 \pm 0.001</math>  <math>0.1331 \pm 0.0008</math>  <math>0.128 \pm 0.006</math>  <math>0.134 \pm 0.002</math>  <math>0.121 \pm 0.002</math>  <math>0.1330 \pm 0.0013</math>  <math>0.1371 \pm 0.0014</math>  <math>0.128 \pm 0.005</math>  <math>0.1348 \pm 0.0035</math>  <math>0.1479 \pm 0.0003</math>  <math>0.1456 \pm 0.0021</math>  <math>0.1363 \pm 0.0017</math>  <math>0.1385 \pm 0.0017</math>  <math>0.1312 \pm 0.0008</math>  <math>0.1287 \pm 0.0136</math>  <math>0.1312 \pm 0.0008</math>  <math>0.1312 \pm 0.0008</math>  <math>0.1327 \pm 0.0007</math>  <math>0.1312 \pm 0.0008</math>  <math>0.135 \pm 0.004</math>  <math>0.1312 \pm 0.0008</math>  <math>0.1316 \pm 0.0111</math>  <math>0.096 \pm 0.003</math>  <math>0.136 \pm 0.0054</math>  <math>0.1244 \pm 0.0050</math>  <math>0.1384 \pm 0.0025</math>  <math>0.1294 \pm 0.006</math>  <math>0.113 \pm 0.009</math>  <math>0.1166 \pm 0.0009</math>  <math>0.1227 \pm 0.0007</math>  <math>0.1363 \pm 0.044</math>  <math>0.1213 \pm 0.046</math>  <math>0.1129 \pm 0.049</math>  <math>0.1232 \pm 0.0063</math>  <math>0.1178 \pm 0.0076</math>  <math>0.1283 \pm 0.0067</math>  <math>0.1334 \pm 0.0063</math>  <math>0.1228 \pm 0.0063</math>  <math>0.1243 \pm 0.0059</math>  <math>0.1253 \pm 0.0065</math>  <math>0.1256 \pm 0.0023</math>  <math>0.1303 \pm 0.007</math>  <math>0.1286 \pm 0.006</math>  <math>0.1271 \pm 0.005</math>  <math>0.134</math>  <math>0.132</math>  <math>0.132</math> </p>	<p> <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Bodart et al, 1975)</i>  <i>(McDaniel et al., 1975)</i>  <i>(Paić and Pečar, 1976)</i>  <i>(Paić and Pečar, 1976)</i>  <i>(Campbell et al., 1986)</i>  <i>(Campbell et al., 1986)</i>  <i>(Rao et al., 1986)</i>  <i>(Stoev and Dlouhy, 1993)</i>  <i>(Chang et al., 1994)</i>  <i>(Rebohle et al., 1996)</i>  <i>(Bé et al., 1998)</i>  <i>(Bé et al., 1998)</i>  <i>(Raj et al., 1998b)</i>  <i>(Cipolla, 1999)</i>  <i>(Raj et al., 1999a)</i>  <i>(Raj et al., 1999b)</i>  <i>(Raj et al., 1999c)</i>  <i>(Pawłowski and Polasik, 2000)</i>  <i>(Castellano et al., 2002)</i>  <i>(Raj et al., 2002)</i>  <i>(Söğüt et al., 2002)</i>  <i>(Baydaş et al., 2003)</i>  <i>(Ximeng et al., 2003)</i>  <i>(Şahin et al., 2005)</i>  <i>(Hatzistergos and Lifshi, 2006)</i>  <i>(Ertuğral et al., 2007)</i>  <i>(Han et al., 2007)</i>  <i>(Yalçın, 2007)</i>  <i>(Yalçın, 2007)</i>  <i>(Porikli and Kurucu, 2008b)</i>  <i>(Porikli and Kurucu, 2008b)</i>  <i>(Porikli and Kurucu, 2008b)</i>  <i>(Aylikci et al., 2015)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Akkuş et al., 2017)</i>  <i>(Uğurlu et al., 2017)</i>  <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i>  <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i>  <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i>  <i>(Smith et al., 1974)</i>  <i>(Smith et al., 1974)</i>  <i>(Smith et al., 1974)</i> </p>	
Z=24, Cr	<p> <math>0.1350 \pm 0.0040</math>  <math>0.138 \pm 0.0028</math>  <math>0.1344 \pm 0.0011</math>  <math>0.1344 \pm 0.0011</math>  <math>0.128 \pm 0.001</math>  <math>0.130 \pm 0.001</math>  <math>0.130 \pm 0.002</math>  <math>0.130 \pm 0.002</math>  <math>0.129 \pm 0.002</math>  <math>0.129 \pm 0.002</math> </p>	<p> <i>(McCrary et al., 1971)</i>  <i>(Salem et al., 1972)</i>  <i>(Slivinsky and Ebert, 1972a)</i>  <i>(Slivinsky and Ebert, 1972b)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i>  <i>(Li and Watson, 1974)</i> </p>	<p> <math>0.1321 \pm 0.0002</math> </p>

0.130 ± 0.002	(Li and Watson, 1974)
0.129 ± 0.002	(Li and Watson, 1974)
0.1452 ± 0.0011	(Bodart et al, 1975)
0.124 ± 0.006	(McDaniel et al., 1975)
0.134 ± 0.002	(Paić and Pečar, 1976)
0.127 ± 0.002	(Paić and Pečar, 1976)
0.128 ± 0.004	(Shearer-Izumi et al., 1980)
0.1334 ± 0.0013	(Campbell et al., 1986)
0.1358 ± 0.0014	(Campbell et al., 1986)
0.121 ± 0.012	(Braziewicz et al., 1986)
0.132 ± 0.005	(Rao et al., 1986)
0.1356 ± 0.0045	(Bhan et al., 1987)
0.1345 ± 0.0011	(Perujo et al., 1987)
0.1317 ± 0.0011	(Perujo et al., 1987)
0.1234 ± 0.0025	(Tham and Preiss, 1988)
0.1232 ± 0.0025	(Tham and Preiss, 1988)
0.1334 ± 0.0009	(Bhuinya and Padhi, 1992)
0.1338 ± 0.0009	(Bhuinya and Padhi, 1993)
0.1378 ± 0.0005	(Bhuinya and Padhi, 1993)
0.1124 ± 0.0013	(Küçükönder et al., 1993a)
0.1124 ± 0.0013	(Küçükönder et al., 1993b)
0.1374 ± 0.0022	(Stoev and Dlouhy, 1993)
0.1124 ± 0.0022	(Büyükkasap et al., 1994)
0.1174 ± 0.0023	(Büyükkasap et al., 1994)
0.1341 ± 0.0033	(Sögüt et al., 1995)
0.1341 ± 0.0033	(Sögüt et al., 1995)
0.1469 ± 0.0016	(Rebohle et al., 1996)
0.1394 ± 0.0017	(Bé et al., 1998)
0.1400 ± 0.0017	(Bé et al., 1998)
0.1314 ± 0.0008	(Raj et al., 1998b)
0.1314 ± 0.0008	(Raj et al., 1999a)
0.1314 ± 0.0008	(Raj et al., 1999b)
0.1314 ± 0.0008	(Pawłowski and Polasik, 2000)
0.1314 ± 0.0008	(Raj et al., 2000a)
0.128 ± 0.010	(Ertuğrul et al., 2001b)
0.134 ± 0.003	(Castellano et al., 2002)
0.1314 ± 0.0008	(Pawłowski et al., 2002)
0.1314 ± 0.0008	(Raj et al., 2002)
0.1341 ± 0.0130	(Sögüt et al., 2002)
0.096 ± 0.003	(Baydaş et al., 2003)
0.133 ± 0.0053	(Ximeng et al., 2003)
0.1379 ± 0.0013	(Hatzistergos and Lifshi, 2006)
0.132 ± 0.005	(Çevik et al., 2007)
0.1342 ± 0.005	(Ertuğral et al., 2007)
0.113 ± 0.009	(Han et al., 2007)
0.1325 ± 0.039	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.1134 ± 0.047	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.0922 ± 0.041	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.1325 ± 0.0045	(Porikli and Kurucu, 2011a)
0.1134 ± 0.0047	(Porikli and Kurucu, 2011a)
0.0922 ± 0.051	(Porikli and Kurucu, 2011a)
0.119 ± 0.006	(Demir and Şahin, 2013)
0.125 ± 0.006	(Demir and Şahin, 2013)
0.124 ± 0.006	(Demir and Şahin, 2013)
0.1173 ± 0.0060	(Doğan et al., 2013)
0.1182 ± 0.0060	(Doğan et al., 2014b)
0.1222 ± 0.0062	(Aylikci et al., 2015)
0.127 ± 0.0076	(Kaçal et al., 2015)
0.116 ± 0.004	(Mirji et al., 2015a)
0.116 ± 0.004	(Mirji et al., 2015b)

	<p>0.1320 ± 0.0039  0.1311 ± 0.0052  0.1264 ± 0.0050  0.1161 ± 0.0084  0.1259 ± 0.0073  0.1320 ± 0.0079  0.1218 ± 0.0069  0.1222 ± 0.0066  0.1232 ± 0.0076  0.1142 ± 0.008  0.1321 ± 0.007  0.1300 ± 0.005  0.1289 ± 0.006  0.134  0.133  0.1273</p>	<p>(Perişanoğlu and Demir, 2015)  (Perişanoğlu and Demir, 2015)  (Perişanoğlu and Demir, 2015)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Yılmaz, 2018)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Smith et al., 1974)  (Smith et al., 1974)  (Han and Demir, 2009)</p>	
Z=25, Mn	<p>0.1219 ± 0.0024  0.138 ± 0.0028  0.1361 ± 0.0011  0.1361 ± 0.0011  0.129 ± 0.002  0.130 ± 0.002  0.131 ± 0.001  0.131 ± 0.003  0.129 ± 0.002  0.130 ± 0.001  0.130 ± 0.002  0.130 ± 0.004  0.1333 ± 0.0010  0.1369 ± 0.0014  0.1395 ± 0.004  0.132 ± 0.004  0.126 ± 0.004  0.129 ± 0.0032  0.1151 ± 0.0010  0.1362 ± 0.0039  0.1151 ± 0.0023  0.1201 ± 0.0024  0.1471 ± 0.0042  0.1383 ± 0.0017  0.1396 ± 0.0017  0.1344 ± 0.0009  0.131 ± 0.013  0.131 ± 0.003  0.134 ± 0.004  0.1344 ± 0.0009  0.1235 ± 0.0104  0.135 ± 0.0054  0.127 ± 0.006  0.1397 ± 0.0031  0.132 ± 0.011  0.1440 ± 0.004  0.106 ± 0.008  0.1188 ± 0.0011  0.1214 ± 0.0008  0.1302 ± 0.037  0.1227 ± 0.041  0.1146 ± 0.043  0.102 ± 0.005  0.111 ± 0.006</p>	<p>(Hansen et al., 1970b)  (Salem et al., 1972)  (Slivinsky and Ebert, 1972a)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Bodart et al, 1975)  (Campbell et al., 1986)  (Bhan et al., 1987)  (Rao et al., 1987)  (Rao et al., 1987)  (Coelho et al., 1989)  (Küçükönder et al., 1993a)  (Stoev and Dlouhy, 1993)  (Büyükkasap et al., 1994)  (Büyükkasap et al., 1994)  (Rebohle et al., 1996)  (Bé et al., 1998)  (Bé et al., 1998)  (Raj et al., 2000a)  (Ertuğrul et al., 2001b)  (Castellano et al., 2002)  (Jonnard et al., 2002)  (Raj et al., 2002)  (Söğüt et al., 2002)  (Ximeng et al., 2003)  (Çevik et al., 2005)  (Hatzistergos and Lifshi, 2006)  (Öz, 2006)  (Ertuğral et al., 2007)  (Han et al., 2007)  (Yalçın, 2007)  (Yalçın, 2007)  (Porikli and Kurucu, 2008b)  (Porikli and Kurucu, 2008b)  (Porikli and Kurucu, 2008b)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)</p>	0.1295 ± 0.0003

	<p>0.111 ± 0.006  0.1262 ± 0.0064  0.1205 ± 0.006  0.1300 ± 0.0058  0.1296 ± 0.0058  0.1332 ± 0.008  0.1313 ± 0.006  0.1300 ± 0.006  0.135</p>	<p>(Demir and Şahin, 2013)  (Aylikci et al., 2015)  (Yilmaz, 2018)  (Perişanoğlu et al., 2020)  (Perişanoğlu et al., 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Smith et al., 1974)</p>	
Z=26, Fe	<p>0.1283 ± 0.0025  0.1360 ± 0.0041  0.136 ± 0.0027  0.1366 ± 0.0011  0.1366 ± 0.0011  0.1359 ± 0.0068  0.1399 ± 0.0035  0.1369 ± 0.0035  0.129 ± 0.002  0.128 ± 0.002  0.129 ± 0.002  0.129 ± 0.002  0.127 ± 0.002  0.126 ± 0.002  0.126 ± 0.001  0.127 ± 0.002  0.1308 ± 0.0007  0.129 ± 0.006  0.135 ± 0.002  0.129 ± 0.002  0.1364 ± 0.0041  0.131 ± 0.003  0.1312 ± 0.0013  0.1367 ± 0.0014  0.133 ± 0.005  0.1374 ± 0.004  0.1350 ± 0.0010  0.1349 ± 0.0010  0.133 ± 0.004  0.128 ± 0.004  0.1383 ± 0.0018  0.1160 ± 0.0023  0.1210 ± 0.0024  0.1290 ± 0.0005  0.1362 ± 0.0018  0.1372 ± 0.0017  0.1419 ± 0.0019  0.1307 ± 0.0007  0.1380 ± 0.0093  0.1307 ± 0.0007  0.1307 ± 0.0007  0.1307 ± 0.0007  0.133 ± 0.011  0.1307 ± 0.0007  0.145 ± 0.005  0.1307 ± 0.0007  0.1307 ± 0.0007  0.1287 ± 0.0110  0.096 ± 0.003  0.137 ± 0.0055  0.1400 ± 0.0039</p>	<p>(Hansen et al., 1970b)  (McCrary et al., 1971)  (Salem et al., 1972)  (Slivinsky and Ebert, 1972a)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Close et al., 1973)  (Lear and Gray, 1973)  (Akselsson and Johansson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Bodart et al, 1975)  (McDaniel et al., 1975)  (Paić and Pečar, 1976)  (Paić and Pečar, 1976)  (Berényi et al., 1978)  (Shearer-Izumi et al., 1980)  (Campbell et al., 1986)  (Campbell et al., 1986)  (Rao et al., 1986)  (Bhan et al., 1987)  (Perujo et al., 1987)  (Perujo et al., 1987)  (Rao et al., 1987)  (Rao et al., 1987)  (Stoev and Dlouhy, 1993)  (Büyükkasap et al., 1994)  (Büyükkasap et al., 1994)  (Padhi and Dhal, 1995)  (Rebohle et al., 1996)  (Bé et al., 1998)  (Bé et al., 1998)  (Raj et al., 1998b)  (Cipolla, 1999)  (Raj et al., 1999b)  (Pawłowski and Polasik, 2000)  (Raj et al., 2000b)  (Ertuğrul et al., 2001b)  (Raj et al., 2001)  (Castellano et al., 2002)  (Pawłowski et al., 2002)  (Raj et al., 2002)  (Söğüt et al., 2002)  (Baydaş et al., 2003)  (Ximeng et al., 2003)  (Hatzistergos and Lifshi, 2006)</p>	0.1310 ± 0.0002

	<p>0.134 ± 0.012  0.135 ± 0.007  0.1324 ± 0.005  0.120 ± 0.010  0.1329 ± 0.040  0.1303 ± 0.043  0.1204 ± 0.046  0.124 ± 0.007  0.1284 ± 0.0051  0.1283 ± 0.0051  0.1283 ± 0.0051  0.1336 ± 0.0053  0.1333 ± 0.0053  0.1307 ± 0.0052  0.1247 ± 0.0050  0.1246 ± 0.0050  0.1393 ± 0.0056  0.1411 ± 0.0056  0.1334 ± 0.007  0.123 ± 0.006  0.134 ± 0.007  0.134 ± 0.007  0.116 ± 0.003  0.1267 ± 0.0065  0.132 ± 0.0079  0.1323 ± 0.0019  0.1306 ± 0.0020  0.1291 ± 0.0019  0.1267 ± 0.0064  0.1298 ± 0.0026  0.1197 ± 0.007  0.1308 ± 0.0058  0.1301 ± 0.0058  0.1348 ± 0.009  0.1329 ± 0.007  0.1312 ± 0.007  0.136  0.137  0.137  0.1160  0.1488</p>	<p>(Öz, 2006)  (Çevik et al., 2007)  (Ertuğral et al., 2007)  (Han et al., 2007)  (Porikli and Kurucu, 2008b)  (Porikli and Kurucu, 2008b)  (Porikli and Kurucu, 2008b)  (Söğüt et al., 2008)  (Han and Demir, 2010b)  (Han and Demir, 2010b)  (Han and Demir, 2010b)  (Han and Demir, 2010b)  (Han and Demir, 2010b)  (Han and Demir, 2010b)  (Han and Demir, 2010b)  (Han and Demir, 2010b)  (Han and Demir, 2010b)  (Han and Demir, 2010b)  (Han and Demir, 2010b)  (Saydam et al., 2012)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (George et al., 2014)  (Aylikci et al., 2015)  (Kaçal et al., 2015)  (Alim et al., 2016)  (Alim et al., 2016)  (Alim et al., 2016)  (Kup Aylikci et al., 2017)  (Uğurlu et al., 2017)  (Yilmaz, 2018)  (Perişanoğlu et al., 2020)  (Perişanoğlu et al., 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Smith et al., 1974)  (Smith et al., 1974)  (Smith et al., 1974)  (Küçükönder et al., 1993c)  (Han and Demir, 2009)</p>	
Z=27, Co	<p>0.1317 ± 0.0026  0.138 ± 0.0028  0.1376 ± 0.0011  0.1376 ± 0.0011  0.1302 ± 0.0032  0.1399 ± 0.0025  0.130 ± 0.001  0.129 ± 0.003  0.130 ± 0.002  0.131 ± 0.001  0.128 ± 0.003  0.127 ± 0.002  0.128 ± 0.001  0.128 ± 0.002  0.1296 ± 0.0010  0.1344 ± 0.0040  0.134 ± 0.013  0.135 ± 0.006  0.1348 ± 0.0035</p>	<p>(Hansen et al., 1970b)  (Salem et al., 1972)  (Slivinsky and Ebert, 1972a)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Lear and Gray, 1973)  (Akselsson and Johansson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Bodart et al, 1975)  (Berényi et al., 1978)  (Braziewicz et al., 1986)  (Rao et al., 1986)  (Bhan et al., 1987)</p>	0.1317 ± 0.0002

0.135 ± 0.0014	(LaBrecque and Rosales, 1990)
0.1194 ± 0.0009	(Küçükönder et al., 1993a)
0.1388 ± 0.0016	(Stoev and Dlouhy, 1993)
0.1285 ± 0.0006	(Padhi and Dhal, 1995)
0.1400 ± 0.0022	(Rebohle et al., 1996)
0.1379 ± 0.0017	(Bé et al., 1998)
0.1385 ± 0.0017	(Bé et al., 1998)
0.1335 ± 0.0008	(Raj et al., 1999a)
0.1335 ± 0.0008	(Pawłowski and Polasik, 2000)
0.1335 ± 0.0008	(Raj et al., 2000a)
0.133 ± 0.010	(Ertuğrul et al., 2001b)
0.140 ± 0.005	(Castellano et al., 2002)
0.1335 ± 0.0008	(Pawłowski et al., 2002)
0.1335 ± 0.0008	(Raj et al., 2002)
0.1387 ± 0.0140	(Söğüt et al., 2002)
0.095 ± 0.003	(Baydaş et al., 2003)
0.1390 ± 0.0019	(Hatzistergos and Lifshi, 2006)
0.137 ± 0.011	(Öz, 2006)
0.137 ± 0.008	(Çevik et al., 2007)
0.1390 ± 0.007	(Ertuğral et al., 2007)
0.139 ± 0.003	(Porikli and Kurucu, 2008a)
0.131 ± 0.005	(Porikli and Kurucu, 2008a)
0.124 ± 0.005	(Porikli and Kurucu, 2008a)
0.1310 ± 0.037	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.1267 ± 0.038	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.1215 ± 0.042	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.1313 ± 0.0087	(Kup Aylikci et al., 2009)
0.1207 ± 0.0062	(Cengiz et al., 2010a)
0.1342 ± 0.0013	(Han and Demir, 2010a)
0.1342 ± 0.0054	(Han and Demir, 2010b)
0.1340 ± 0.0054	(Han and Demir, 2010b)
0.1337 ± 0.0053	(Han and Demir, 2010b)
0.1334 ± 0.0053	(Han and Demir, 2010b)
0.1357 ± 0.0054	(Han and Demir, 2010b)
0.1374 ± 0.0055	(Han and Demir, 2010b)
0.1333 ± 0.0053	(Han and Demir, 2010b)
0.1325 ± 0.0053	(Han and Demir, 2010b)
0.1324 ± 0.0053	(Han and Demir, 2010b)
0.1324 ± 0.0053	(Han and Demir, 2010b)
0.1342 ± 0.0063	(Han and Demir, 2010c)
0.1230 ± 0.0062	(Kup Aylikci et al., 2010a)
0.1230 ± 0.0062	(Kup Aylikci et al., 2011)
0.122 ± 0.006	(Demir and Şahin, 2013)
0.143 ± 0.007	(Demir and Şahin, 2013)
0.142 ± 0.007	(Demir and Şahin, 2013)
0.12346 ± 0.0063	(Doğan et al., 2014a)
0.123 ± 0.008	(Anand et al., 2015)
0.1273 ± 0.0065	(Aylikci et al., 2015)
0.134 ± 0.0080	(Kaçal et al., 2015)
0.1302 ± 0.0087	(Akkuş et al., 2017)
0.1319 ± 0.0078	(Akkuş et al., 2017)
0.1377 ± 0.0067	(Akkuş et al., 2017)
0.1225 ± 0.0061	(Akkuş et al., 2017)
0.1248 ± 0.0072	(Akkuş et al., 2017)
0.1269 ± 0.0063	(Akkuş et al., 2017)
0.1327 ± 0.0022	(Uğurlu et al., 2017)
0.122 ± 0.003	(Anand et al., 2018)
0.1211 ± 0.009	(Yilmaz, 2018)
0.1356 ± 0.006	(Uğurlu and Demir, 2020)
0.1341 ± 0.007	(Uğurlu and Demir, 2020)

## ANNEXES

	0.1341 ± 0.007 0.138 0.1227	(Uğurlu and Demir, 2020) (Smith et al., 1974) (Apaydin et al., 2008)	
Z=28, Ni	0.1328 ± 0.0027 0.136 ± 0.0027 0.1385 ± 0.0011 0.1385 ± 0.0011 0.1435 ± 0.0072 0.1359 ± 0.0018 0.135 ± 0.001 0.134 ± 0.003 0.133 ± 0.001 0.132 ± 0.001 0.134 ± 0.001 0.133 ± 0.001 0.133 ± 0.001 0.132 ± 0.001 0.1376 ± 0.0011 0.137 ± 0.007 0.1427 ± 0.0043 0.1447 ± 0.00063 0.136 ± 0.006 0.1380 ± 0.0035 0.1361 ± 0.0010 0.1357 ± 0.0010 0.1390 ± 0.0001 0.1389 ± 0.0001 0.1359 ± 0.0006 0.1356 ± 0.0006 0.1368 ± 0.0006 0.1380 ± 0.0005 0.1371 ± 0.0006 0.1380 ± 0.0005 0.1388 ± 0.0009 0.1336 ± 0.0005 0.1265 ± 0.0031 0.1403 ± 0.0015 0.1377 ± 0.0017 0.1386 ± 0.0017 0.1363 ± 0.0006 0.1363 ± 0.0005 0.1363 ± 0.0006 0.1346 ± 0.0012 0.135 ± 0.012 0.1346 ± 0.0012 0.156 ± 0.008 0.1346 ± 0.0012 0.1466 ± 0.0124 0.095 ± 0.003 0.136 ± 0.0054 0.141 ± 0.012 0.1429 ± 0.0017 0.138 ± 0.011 0.1330 ± 0.003 0.119 ± 0.009 0.1378 ± 0.0010 0.145 ± 0.004 0.141 ± 0.005 0.135 ± 0.005 0.1315 ± 0.039	(Hansen et al., 1970b) (Salem et al., 1972) (Slivinsky and Ebert, 1972a) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Close et al., 1973) (Akselsson and Johansson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Bodart et al., 1975) (McDaniel et al., 1975) (Berényi et al., 1978) (Keith and Loomis, 1978) (Rao et al., 1986) (Bhan et al., 1987) (Perujo et al., 1987) (Perujo et al., 1987) (Tham and Preiss, 1988) (Tham and Preiss, 1988) (Bhuinya and Padhi, 1992) (Bhuinya and Padhi, 1992) (Bhuinya and Padhi, 1993) (Bhuinya and Padhi, 1993) (Bhuinya and Padhi, 1993) (Bhuinya and Padhi, 1993) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Padhi and Dhal, 1995) (Sögüt et al., 1995) (Rebohle et al., 1996) (Bé et al., 1998) (Bé et al., 1998) (Raj et al., 1998a) (Raj et al., 1999c) (Pawłowski and Polasik, 2000) (Raj et al., 2000b) (Ertuğrul et al., 2001b) (Raj et al., 2001) (Castellano et al., 2002) (Raj et al., 2002) (Sögüt et al., 2002) (Baydaş et al., 2003) (Ximeng et al., 2003) (Çevik et al., 2005) (Hatzistergos and Lifshi, 2006) (Öz, 2006) (Ertuğral et al., 2007) (Han et al., 2007) (Kalayci et al., 2007) (Porikli and Kurucu, 2008a) (Porikli and Kurucu, 2008a) (Porikli and Kurucu, 2008a) (Porikli and Kurucu, 2008b)	0.1384 ± 0.0001

0.1265 ± 0.040	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.1225 ± 0.040	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.1210 ± 0.0062	(Cengiz et al., 2010a)
0.1311 ± 0.0052	(Han and Demir, 2010b)
0.1347 ± 0.0054	(Han and Demir, 2010b)
0.1427 ± 0.0057	(Han and Demir, 2010b)
0.1345 ± 0.0054	(Han and Demir, 2010b)
0.1285 ± 0.0051	(Han and Demir, 2010b)
0.1359 ± 0.0054	(Han and Demir, 2010b)
0.1384 ± 0.0055	(Han and Demir, 2010b)
0.1436 ± 0.0057	(Han and Demir, 2010b)
0.1384 ± 0.0055	(Han and Demir, 2010b)
0.1375 ± 0.0055	(Han and Demir, 2010b)
0.1319 ± 0.0053	(Han and Demir, 2010b)
0.1414 ± 0.0057	(Han and Demir, 2010b)
0.1549 ± 0.0062	(Han and Demir, 2010b)
0.1400 ± 0.0056	(Han and Demir, 2010b)
0.1428 ± 0.0057	(Han and Demir, 2010b)
0.1401 ± 0.0056	(Han and Demir, 2010b)
0.1444 ± 0.0058	(Han and Demir, 2010b)
0.1561 ± 0.0062	(Han and Demir, 2010b)
0.1122 ± 0.0057	(Kup Aylikci et al., 2010b)
0.121 ± 0.006	(Demir and Şahin, 2013)
0.162 ± 0.008	(Demir and Şahin, 2013)
0.162 ± 0.008	(Demir and Şahin, 2013)
0.1216 ± 0.0068	(Cengiz et al., 2014)
0.1239 ± 0.0063	(Doğan et al., 2014a)
0.125 ± 0.004	(Anand et al., 2015)
0.1283 ± 0.0065	(Aylikci et al., 2015)
0.133 ± 0.0080	(Kaçal et al., 2015)
0.1404 ± 0.0042	(Perişanoğlu and Demir, 2015)
0.1399 ± 0.0056	(Perişanoğlu and Demir, 2015)
0.1379 ± 0.005	(Perişanoğlu and Demir, 2015)
0.1404 ± 0.0032	(Alim et al., 2016)
0.1399 ± 0.0033	(Alim et al., 2016)
0.1379 ± 0.0031	(Alim et al., 2016)
0.1343 ± 0.0040	(Perişanoğlu et al., 2016)
0.1338 ± 0.0040	(Perişanoğlu et al., 2016)
0.1338 ± 0.0047	(Perişanoğlu et al., 2016)
0.1334 ± 0.0047	(Perişanoğlu et al., 2016)
0.1325 ± 0.0053	(Perişanoğlu et al., 2016)
0.1322 ± 0.0053	(Perişanoğlu et al., 2016)
0.1314 ± 0.0084	(Akkuş et al., 2017)
0.1323 ± 0.0085	(Akkuş et al., 2017)
0.1326 ± 0.0078	(Akkuş et al., 2017)
0.1245 ± 0.0076	(Akkuş et al., 2017)
0.1254 ± 0.0056	(Akkuş et al., 2017)
0.1297 ± 0.0062	(Akkuş et al., 2017)
0.133 ± 0.007	(Ménesguen et al., 2017)
0.132 ± 0.006	(Ménesguen et al., 2017)
0.1346 ± 0.0025	(Uğurlu et al., 2017)
0.125 ± 0.004	(Anand et al., 2018)
0.1238 ± 0.0069	(Cengiz et al., 2019)
0.1379 ± 0.008	(Uğurlu and Demir, 2020)
0.1365 ± 0.009	(Uğurlu and Demir, 2020)
0.1346 ± 0.007	(Uğurlu and Demir, 2020)
0.139	(Smith et al., 1974)
0.1122	(Apaydin et al., 2008)
0.1333	(Han and Demir, 2009)
0.1325	(Han and Demir, 2010d)

Z=29, Cu	0.1468 ± 0.0073 0.1339 ± 0.0027 0.1282 ± 0.0016 0.1383 ± 0.0047 0.134 ± 0.0020 0.1387 ± 0.0011 0.1387 ± 0.0011 0.1474 ± 0.007 0.1346 ± 0.0067 0.1451 ± 0.0036 0.1385 ± 0.0018 0.137 ± 0.001 0.136 ± 0.002 0.136 ± 0.001 0.137 ± 0.002 0.135 ± 0.002 0.134 ± 0.001 0.134 ± 0.002 0.134 ± 0.001 0.1295 ± 0.0010 0.133 ± 0.007 0.1381 ± 0.0069 0.136 ± 0.002 0.137 ± 0.002 0.1401 ± 0.0041 0.1396 ± 0.0084 0.1398 ± 0.0084 0.1395 ± 0.0084 0.136 ± 0.003 0.1382 ± 0.0016 0.136 ± 0.014 0.1371 ± 0.0014 0.1364 ± 0.0014 0.136 ± 0.006 0.1367 ± 0.0035 0.1372 ± 0.0010 0.1374 ± 0.0010 0.1388 ± 0.0008 0.1387 ± 0.0008 0.133 ± 0.0033 0.131 ± 0.002 0.1211 ± 0.0019 0.1211 ± 0.0019 0.1404 ± 0.0017 0.1335 ± 0.0006 0.1412 ± 0.0016 0.1358 ± 0.0017 0.1388 ± 0.0017 0.1360 ± 0.0006 0.1402 ± 0.0079 0.1360 ± 0.0006 0.1343 ± 0.0014 0.134 ± 0.013 0.160 ± 0.008 0.1343 ± 0.0012 0.1374 ± 0.0113 0.095 ± 0.003 0.136 ± 0.0054 0.137 ± 0.011 0.1430 ± 0.0014	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b) (Richard et al, 1970) (McCrary et al., 1971) (Salem et al., 1972) (Slivinsky and Ebert, 1972a) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Close et al., 1973) (Lear and Gray, 1973) (Akselsson and Johansson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Bodart et al, 1975) (McDaniel et al., 1975) (Tawara et al., 1975) (Paić and Pečar, 1976) (Paić and Pečar, 1976) (Berényi et al., 1978) (Kamal et al., 1980) (Kamal et al., 1980) (Kamal et al., 1980) (Shearer-Izumi et al., 1980) (Casnati et al., 1985) (Braziewicz et al., 1986) (Campbell et al., 1986) (Campbell et al., 1986) (Rao et al., 1986) (Bhan et al., 1987) (Perujo et al., 1987) (Perujo et al., 1987) (Tham and Preiss, 1988) (Tham and Preiss, 1988) (Coelho et al., 1989) (Marchetti and Franck, 1989) (Küçükönder et al., 1993a) (Küçükönder et al., 1993b) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Padhi and Dhal, 1995) (Rebohle et al., 1996) (Bé et al., 1998) (Bé et al., 1998) (Raj et al., 1998a) (Cipolla, 1999) (Pawłowski and Polasik, 2000) (Pawłowski and Polasik, 2000) (Ertuğrul et al., 2001b) (Castellano et al., 2002) (Raj et al., 2002) (Söğüt et al., 2002) (Baydaş et al., 2003) (Ximeng et al., 2003) (Çevik et al., 2005) (Hatzistergos and Lifshi, 2006)	0.1324 ± 0.0002
----------	--	--	-----------------

0.139 ± 0.013	(Öz, 2006)
0.136 ± 0.005	(Çevik et al., 2007)
0.1359 ± 0.003	(Ertuğral et al., 2007)
0.122 ± 0.010	(Han et al., 2007)
0.132 ± 0.010	(Porikli et al., 2008)
0.124 ± 0.011	(Porikli et al., 2008)
0.121 ± 0.011	(Porikli et al., 2008)
0.1366 ± 0.033	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.1344 ± 0.033	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.1220 ± 0.034	(Porikli and Kurucu, 2008b)
0.1314 ± 0.0087	(Kup Aylikci et al., 2009)
0.1197 ± 0.0061	(Cengiz et al., 2010a)
0.1390 ± 0.0056	(Han and Demir, 2010b)
0.1381 ± 0.0055	(Han and Demir, 2010b)
0.1379 ± 0.0055	(Han and Demir, 2010b)
0.1354 ± 0.0054	(Han and Demir, 2010b)
0.1384 ± 0.0055	(Han and Demir, 2010b)
0.1388 ± 0.0056	(Han and Demir, 2010b)
0.1390 ± 0.0056	(Han and Demir, 2010b)
0.1422 ± 0.0057	(Han and Demir, 2010b)
0.1444 ± 0.0058	(Han and Demir, 2010b)
0.1450 ± 0.0058	(Han and Demir, 2010b)
0.1370 ± 0.0052	(Han and Demir, 2010c)
0.120 ± 0.006	(Demir and Şahin, 2013)
0.111 ± 0.006	(Demir and Şahin, 2013)
0.111 ± 0.006	(Demir and Şahin, 2013)
0.1210 ± 0.0062	(Doğan et al., 2014a)
0.124 ± 0.009	(Anand et al., 2015)
0.1258 ± 0.0064	(Aylikci et al., 2015)
0.137 ± 0.0082	(Kaçal et al., 2015)
0.123 ± 0.007	(Mirji et al., 2015a)
0.123 ± 0.007	(Mirji et al., 2015b)
0.1296 ± 0.0066	(Doğan <i>et al.</i> , 2016)
0.1287 ± 0.0085	(Akkuş et al., 2017)
0.1289 ± 0.0086	(Akkuş et al., 2017)
0.1314 ± 0.0079	(Akkuş et al., 2017)
0.1226 ± 0.0075	(Akkuş et al., 2017)
0.1244 ± 0.0069	(Akkuş et al., 2017)
0.1244 ± 0.0071	(Akkuş et al., 2017)
0.1212 ± 0.009	(Yilmaz, 2017)
0.124 ± 0.003	(Anand et al., 2018)
0.1225 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1207 ± 0.0014	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1213 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1215 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1231 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1206 ± 0.0014	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1211 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1223 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1226 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1211 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1232 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1211 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1239 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1239 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1213 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1217 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1221 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1210 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)
0.1230 ± 0.0015	(Singh <i>et al.</i> , 2018)

## ANNEXES

	<p>0.1247 ± 0.0015  0.1394 ± 0.007  0.1380 ± 0.006  0.1362 ± 0.009  0.141  0.1314</p>	<p>(Singh et al., 2018)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Smith et al., 1974)  (Apaydin et al., 2008)</p>	
Z=30, Zn	<p>0.1517 ± 0.0076  0.1352 ± 0.0027  0.132 ± 0.0020  0.1418 ± 0.0011  0.1418 ± 0.0011  0.152 ± 0.0076  0.1456 ± 0.0036  0.139 ± 0.003  0.140 ± 0.002  0.139 ± 0.001  0.142 ± 0.002  0.138 ± 0.002  0.138 ± 0.002  0.137 ± 0.001  0.139 ± 0.003  0.139 ± 0.007  0.1385 ± 0.0069  0.137 ± 0.002  0.136 ± 0.002  0.138 ± 0.006  0.1415 ± 0.003  0.1378 ± 0.0010  0.1390 ± 0.0010  0.134 ± 0.0034  0.1441 ± 0.0031  0.1528 ± 0.0015  0.1488 ± 0.0082  0.136 ± 0.010  0.147 ± 0.008  0.158 ± 0.005  0.147 ± 0.008  0.146 ± 0.008  0.144 ± 0.008  0.143 ± 0.008  0.141 ± 0.008  0.142 ± 0.008  0.146 ± 0.008  0.150 ± 0.008  0.148 ± 0.008  0.147 ± 0.008  0.145 ± 0.008  0.144 ± 0.008  0.147 ± 0.008  0.149 ± 0.008  0.1254 ± 0.0102  0.137 ± 0.0055  0.127 ± 0.0020  0.1565 ± 0.0031  0.141 ± 0.010  0.136 ± 0.005  0.1379 ± 0.005  0.126 ± 0.010  0.1225 ± 0.0007  0.1267 ± 0.0011</p>	<p>(Slivinsky and Ebert, 1969)  (Hansen et al., 1970b)  (Salem et al., 1972)  (Slivinsky and Ebert, 1972a)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Lear and Gray, 1973)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (McDaniel et al., 1975)  (Tawara et al., 1975)  (Paić and Pečar, 1976)  (Paić and Pečar, 1976)  (Rao et al., 1986)  (Bhan et al., 1987)  (Perujo et al., 1987)  (Perujo et al., 1987)  (Coelho et al., 1989)  (Stoev and Dlouhy, 1993)  (Rebohle et al., 1996)  (Cipolla, 1999)  (Ertuğrul et al., 2001b)  (Castellano et al., 2002)  (Ertuğrul, 2002a)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (İçelli and Erzeneoğlu, 2002)  (Söğüt et al., 2002)  (Ximeng et al., 2003)  (Doğan and Bacaksiz, 2005)  (Hatzistergos and Lifshi, 2006)  (Öz, 2006)  (Çevik et al., 2007)  (Ertuğral et al., 2007)  (Han et al., 2007)  (Yalçın, 2007)  (Yalçın, 2007)</p>	0.1354 ± 0.0003

	<p>0.147 ± 0.011  0.139 ± 0.012  0.130 ± 0.012  0.1359 ± 0.028  0.1334 ± 0.031  0.1247 ± 0.030  0.130 ± 0.008  0.1167 ± 0.0060  0.1200 ± 0.0061  0.1200 ± 0.0061  0.126 ± 0.006  0.116 ± 0.006  0.116 ± 0.006  0.1200 ± 0.0061  0.1168 ± 0.0060  0.1221 ± 0.0062  0.127 ± 0.004  0.1278 ± 0.0065  0.127 ± 0.005  0.127 ± 0.005  0.1317 ± 0.0059  0.1299 ± 0.0061  0.1305 ± 0.0064  0.1307 ± 0.0059  0.1243 ± 0.0066  0.1244 ± 0.0062  0.1271 ± 0.0059  0.1304 ± 0.0074  0.1200 ± 0.0061  0.127 ± 0.003  0.1338 ± 0.0096  0.1503 ± 0.0067  0.1492 ± 0.0067  0.1484 ± 0.0066  0.1476 ± 0.0066  0.1415 ± 0.007  0.1357 ± 0.005  0.1374 ± 0.006  0.143  0.1197</p>	<p>(Porikli et al., 2008)  (Porikli et al., 2008)  (Porikli et al., 2008)  (Porikli and Kurucu, 2008b)  (Porikli and Kurucu, 2008b)  (Porikli and Kurucu, 2008b)  (Söğüt et al., 2008)  (Cengiz et al., 2010a)  (Kup Aylikci et al., 2010a)  (Kup Aylikci et al., 2011)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Doğan et al., 2013)  (Doğan et al., 2014a)  (Doğan et al., 2014b)  (Anand et al., 2015)  (Aylikci et al., 2015)  (Mirji et al., 2015a)  (Mirji et al., 2015b)  (Akman, 2016b)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Cengiz et al., 2017)  (Kup Aylikci et al., 2017)  (Anand et al., 2018)  (Söğüt et al., 2018)  (Perişanoğlu et al., 2020)  (Perişanoğlu et al., 2020)  (Perişanoğlu et al., 2020)  (Perişanoğlu et al., 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Smith et al., 1974)  (Apaydin et al., 2008)</p>	
Z=31, Ga	<p>0.1371 ± 0.0027  0.143 ± 0.0029  0.1548 ± 0.0038  0.142 ± 0.007  0.1503 ± 0.0033  0.134 ± 0.011  0.143 ± 0.006  0.1435 ± 0.0048</p>	<p>(Hansen et al., 1970b)  (Salem et al., 1972)  (Lear and Gray, 1973)  (McDaniel et al., 1975)  (Stoev and Dlouhy, 1993)  (Öz, 2006)  (Çevik et al., 2007)  (Akman, 2016b)</p>	0.1442 ± 0.0014
Z=32, Ge	<p>0.1395 ± 0.0028  0.1507 ± 0.0048  0.150 ± 0.0030  0.1493 ± 0.0012  0.1493 ± 0.0012  0.1477 ± 0.0074  0.148 ± 0.002  0.149 ± 0.004  0.150 ± 0.001  0.150 ± 0.001  0.149 ± 0.002  0.147 ± 0.002</p>	<p>(Hansen et al., 1970b)  (McCrary et al., 1971)  (Salem et al., 1972)  (Slivinsky and Ebert, 1972a)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Close et al., 1973)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)</p>	0.1498 ± 0.0003

	<p>0.147 ± 0.003  0.148 ± 0.003  0.1450 ± 0.0011  0.1449 ± 0.0011  0.1499 ± 0.0024  0.1498 ± 0.0023  0.1537 ± 0.0006  0.1534 ± 0.0102  0.153 ± 0.008  0.1597 ± 0.0032  0.152 ± 0.012  0.131 ± 0.010  0.1465 ± 0.005  0.1311 ± 0.010</p>	<p>(Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Perujo et al., 1987)  (Perujo et al., 1987)  (Tham and Preiss, 1988)  (Tham and Preiss, 1988)  (Stoev and Dlouhy, 1993)  (Cipolla, 1999)  (Castellano et al., 2002)  (Hatzistergos and Lifshi, 2006)  (Öz, 2006)  (Han et al., 2007)  (Akman, 2016b)  (Yilmaz, 2017)</p>	
Z=33, As	<p>0.1440 ± 0.0029  0.1534 ± 0.0038  0.152 ± 0.008  0.1543 ± 0.025  0.1533 ± 0.0015  0.1526 ± 0.0015  0.156 ± 0.006  0.1574 ± 0.0006  0.152 ± 0.011  0.164 ± 0.009  0.163 ± 0.007  0.152 ± 0.0061  0.157 ± 0.011  0.1511 ± 0.005  0.136 ± 0.011  0.142 ± 0.007  0.125 ± 0.006  0.125 ± 0.006  0.1367 ± 0.009</p>	<p>(Hansen et al., 1970b)  (Lear and Gray, 1973)  (McDaniel et al., 1975)  (Marques et al., 1980)  (Campbell et al., 1986)  (Campbell et al., 1986)  (Rao et al., 1986)  (Stoev and Dlouhy, 1993)  (Ertuğrul et al., 2001b)  (Castellano et al., 2002)  (Ertuğrul, 2002a)  (Ximeng et al., 2003)  (Öz, 2006)  (Ertuğral et al., 2007)  (Han et al., 2007)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Yilmaz, 2017)</p>	0.1553 ± 0.0005
Z=34, Se	<p>0.1692 ± 0.0051  0.1511 ± 0.0030  0.1569 ± 0.0047  0.1595 ± 0.0013  0.1595 ± 0.0013  0.169 ± 0.0051  0.162 ± 0.015  0.164 ± 0.001  0.163 ± 0.004  0.163 ± 0.001  0.165 ± 0.001  0.162 ± 0.002  0.162 ± 0.001  0.163 ± 0.001  0.165 ± 0.002  0.152 ± 0.010  0.1572 ± 0.0079  0.1605 ± 0.0049  0.156 ± 0.016  0.1616 ± 0.0010  0.1615 ± 0.0010  0.1635 ± 0.0010  0.157 ± 0.012  0.164 ± 0.010  0.162 ± 0.011  0.167 ± 0.006  0.1612 ± 0.005</p>	<p>(Slivinsky and Ebert, 1969)  (Hansen et al., 1970b)  (McCrary et al., 1971)  (Slivinsky and Ebert, 1972a)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Criswell and Gray, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (McDaniel et al., 1975)  (Tawara et al., 1975)  (Berényi et al., 1978)  (Braziewicz et al., 1986)  (Tham and Preiss, 1988)  (Tham and Preiss, 1988)  (Stoev and Dlouhy, 1993)  (Ertuğrul et al., 2001b)  (Ertuğrul, 2002a)  (Öz, 2006)  (Çevik et al., 2007)  (Ertuğral et al., 2007)</p>	0.1622 ± 0.0003

	0.1645 ± 0.009 0.138 ± 0.007 0.130 ± 0.007 0.130 ± 0.007 0.1474 ± 0.0065 0.1426	(Saydam et al., 2012) (Demir and Şahin, 2013) (Demir and Şahin, 2013) (Demir and Şahin, 2013) (Akman, 2016b) (Küçükönder et al., 1993c)	
Z=35, Br	0.1573 ± 0.0031 0.168 ± 0.0034 0.169 ± 0.013 0.166 ± 0.003 0.164 ± 0.002 0.165 ± 0.003 0.166 ± 0.002 0.164 ± 0.003 0.165 ± 0.002 0.164 ± 0.004 0.166 ± 0.001 0.1713 ± 0.0006 0.168 ± 0.010 0.169 ± 0.010 0.1682 ± 0.006 0.143 ± 0.011 0.1504 ± 0.0054 0.1521 ± 0.0057 0.1553 ± 0.0052 0.1589 ± 0.0057 0.1594 ± 0.0054 0.1650 ± 0.0066 0.1485 ± 0.011	(Hansen et al., 1970b) (Salem et al., 1972) (Criswell and Gray, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Li and Watson, 1974) (Stoiev and Dlouhy, 1993) (Ertuğrul et al., 2001b) (Öz, 2006) (Ertuğral et al., 2007) (Han et al., 2007) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Yilmaz, 2017)	0.1680 ± 0.0004
Z=36, Kr	0.1634 ± 0.0033 0.1715 ± 0.0014 0.1715 ± 0.0014 0.189 ± 0.010	(Hansen et al., 1970b) (Slivinsky and Ebert, 1972a) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Winters et al., 1973)	0.1710 ± 0.0009
Z=37, Rb	0.1682 ± 0.0034 0.1748 ± 0.0048 0.1779 ± 0.0089 0.175 ± 0.014 0.165 ± 0.010 0.1629 ± 0.0098 0.166 ± 0.010 0.1670 ± 0.010 0.1766 ± 0.0018 0.183 ± 0.018 0.178 ± 0.018 0.1751 ± 0.0008 0.171 ± 0.015 0.170 ± 0.009 0.175 ± 0.011 0.1806 ± 0.007 0.158 ± 0.013 0.1588 ± 0.012	(Hansen et al., 1970b) (McCrary et al., 1971) (Close et al., 1973) (Criswell and Gray, 1974) (McDaniel et al., 1975) (Kamal et al., 1980) (Kamal et al., 1980) (Kamal et al., 1980) (Marques et al., 1980) (Braziewicz et al., 1986) (Braziewicz et al., 1986) (Stoiev and Dlouhy, 1993) (Ertuğrul et al., 2001b) (Ertuğrul, 2002a) (Öz, 2006) (Ertuğral et al., 2007) (Han et al., 2007) (Yilmaz, 2017)	0.1748 ± 0.0007
Z=38, Sr	0.1815 ± 0.0054 0.1732 ± 0.0035 0.181 ± 0.0054 0.199 ± 0.016 0.176 ± 0.009 0.1828 ± 0.0018 0.1834 ± 0.003 0.1782 ± 0.0026 0.181 ± 0.016	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Criswell and Gray, 1974) (McDaniel et al., 1975) (Marques et al., 1980) (Bhan et al., 1987) (Stoiev and Dlouhy, 1993) (Ertuğrul et al., 2001b)	0.1798 ± 0.0011

	$0.162 \pm 0.006$ $0.186 \pm 0.010$ $0.1812 \pm 0.009$ $0.164 \pm 0.008$ $0.180 \pm 0.009$ $0.181 \pm 0.009$	(Ertuğrul, 2002a) (Öz, 2006) (Ertuğral et al., 2007) (Demir and Şahin, 2013) (Demir and Şahin, 2013) (Demir and Şahin, 2013)	
Z=39, Y	$0.1859 \pm 0.0056$ $0.1791 \pm 0.0036$ $0.190 \pm 0.0038$ $0.1842 \pm 0.0015$ $0.1842 \pm 0.0015$ $0.186 \pm 0.0056$ $0.181 \pm 0.015$ $0.183 \pm 0.009$ $0.193 \pm 0.010$ $0.1919 \pm 0.0059$ $0.183 \pm 0.007$ $0.1791 \pm 0.0038$ $0.186 \pm 0.009$ $0.174 \pm 0.009$ $0.188 \pm 0.010$ $0.191 \pm 0.007$ $0.1856 \pm 0.009$ $0.169 \pm 0.014$ $0.1822 \pm 0.008$ $0.1822 \pm 0.008$ $0.1753 \pm 0.011$ $0.1712 \pm 0.011$ $0.169 \pm 0.009$ $0.182 \pm 0.009$ $0.182 \pm 0.009$ $0.1675 \pm 0.0070$ $0.1686 \pm 0.0076$ $0.1691 \pm 0.0076$ $0.1693 \pm 0.0076$ $0.1705 \pm 0.0077$ $0.1707 \pm 0.0077$ $0.1705 \pm 0.0077$ $0.1702 \pm 0.0077$ $0.1706 \pm 0.0077$ $0.1815 \pm 0.0063$ $0.1836 \pm 0.0066$ $0.1841 \pm 0.0059$ $0.1764 \pm 0.0058$ $0.1763 \pm 0.0053$ $0.1844 \pm 0.0062$ $0.1853 \pm 0.007$ $0.1842 \pm 0.006$ $0.1822 \pm 0.008$	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b) (Salem et al., 1972) (Slivinsky and Ebert, 1972a) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Criswell and Gray, 1974) (McDaniel et al., 1975) (Tawara et al., 1975) (Berényi et al., 1978) (Rao et al., 1986) (Stoiev and Dlouhy, 1993) (Ximeng et al., 2001) (Ertuğrul, 2002a) (Öz, 2006) (Çevik et al., 2007) (Ertuğral et al., 2007) (Han et al., 2007) (Porikli et al., 2011) (Porikli and Kurucu, 2011b) (Porikli and Kurucu, 2011b) (Porikli and Kurucu, 2011b) (Demir and Şahin, 2013) (Demir and Şahin, 2013) (Demir and Şahin, 2013) (Akman, 2016b) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Uğurlu and Demir, 2020) (Uğurlu and Demir, 2020) (Uğurlu and Demir, 2020)	$0.1823 \pm 0.0007$
Z=40, Zr	$0.1838 \pm 0.0037$ $0.1878 \pm 0.0050$ $0.192 \pm 0.0038$ $0.190 \pm 0.0057$ $0.192 \pm 0.010$ $0.194 \pm 0.019$ $0.196 \pm 0.020$ $0.190 \pm 0.006$ $0.1896 \pm 0.0035$ $0.191 \pm 0.016$ $0.192 \pm 0.016$	(Hansen et al., 1970b) (McCrary et al., 1971) (Salem et al., 1972) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Close et al., 1973) (Braziewicz et al., 1986) (Braziewicz et al., 1986) (Rao et al., 1986) (Bhan et al., 1987) (Ertuğrul et al., 2001b) (Castellano et al., 2002)	$0.1838 \pm 0.0011$

	0.185 ± 0.006 0.176 ± 0.018 0.193 ± 0.014 0.1898 ± 0.008 0.171 ± 0.014 0.1877 ± 0.009 0.1737 ± 0.004 0.177 ± 0.009 0.193 ± 0.010 0.192 ± 0.010 0.1737 ± 0.0078 0.195 ± 0.023 0.17 ± 0.01 0.1848 ± 0.0071 0.1693 ± 0.0076 0.1695 ± 0.0076 0.1698 ± 0.0076 0.1717 ± 0.0077 0.1738 ± 0.0078 0.1743 ± 0.0078 0.1740 ± 0.0078 0.1741 ± 0.0078 0.1941 ± 0.0085 0.1981 ± 0.0072 0.1991 ± 0.0075 0.1744 ± 0.0082 0.1757 ± 0.0069 0.1853 ± 0.0068 0.1866 ± 0.008 0.1849 ± 0.006 0.1831 ± 0.006 0.1780	(Ertuğrul, 2002a) (Ertuğrul et al., 2002) (Öz, 2006) (Ertuğral et al., 2007) (Han et al., 2007) (Porikli et al., 2011) (Turşucu et al., 2012) (Demir and Şahin, 2013) (Demir and Şahin, 2013) (Demir and Şahin, 2013) (Onder et al., 2013) (Turşucu et al., 2013) (Aksoy et al., 2015) (Akman, 2016b) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Akkuş et al., 2017) (Uğurlu and Demir, 2020) (Uğurlu and Demir, 2020) (Uğurlu and Demir, 2020) (Küçükönder et al., 1993c)	
Z=41, Nb	0.1886 ± 0.0038 0.193 ± 0.0039 0.15 ± 0.015 0.18 ± 0.018 0.17 ± 0.017 0.18 ± 0.018 0.19 ± 0.019 0.19 ± 0.019 0.19 ± 0.019 0.17 ± 0.017 0.19 ± 0.019 0.23 ± 0.023 0.20 ± 0.020 0.20 ± 0.020 0.20 ± 0.020 0.19 ± 0.019 0.18 ± 0.018 0.18 ± 0.018 0.16 ± 0.016 0.20 ± 0.020 0.201 ± 0.020 0.200 ± 0.020 0.194 ± 0.006 0.1981 ± 0.0035 0.1756 ± 0.0024 0.186 ± 0.011 0.196 ± 0.012 0.1993 ± 0.008	(Hansen et al., 1970b) (Salem et al., 1972) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Braziewicz et al., 1986) (Braziewicz et al., 1986) (Rao et al., 1986) (Bhan et al., 1987) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Çalışkan et al., 2002) (Öz, 2006) (Ertuğral et al., 2007)	0.1851 ± 0.0010

	<p>0.178 ± 0.014  0.177 ± 0.012  0.1984 ± 0.010  0.1772 ± 0.004  0.175 ± 0.009  0.190 ± 0.010  0.191 ± 0.010  0.1772 ± 0.0080  0.197 ± 0.022  0.1783 ± 0.0064  0.1758 ± 0.0079  0.1758 ± 0.0079  0.1761 ± 0.0079  0.1783 ± 0.0080  0.1788 ± 0.0080  0.1813 ± 0.0082  0.1812 ± 0.0082  0.1815 ± 0.0082  0.1997 ± 0.0073  0.2020 ± 0.0084  0.2098 ± 0.0069  0.1788 ± 0.0074  0.1797 ± 0.0059  0.1864 ± 0.0059  0.1890 ± 0.009  0.1866 ± 0.007  0.1840 ± 0.007</p>	<p>(Han et al., 2007)  (Cengiz et al., 2008)  (Porikli et al., 2011)  (Turşucu et al., 2012)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Onder et al., 2013)  (Turşucu et al., 2013)  (Akman, 2016b)  (Özdemir et al., 2016)  (Özdemir et al., 2016)  (Özdemir et al., 2016)  (Özdemir et al., 2016)  (Özdemir et al., 2016)  (Özdemir et al., 2016)  (Özdemir et al., 2016)  (Özdemir et al., 2016)  (Özdemir et al., 2016)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Akkuş et al., 2017)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)</p>	
Z=42, Mo	<p>0.1969 ± 0.0059  0.1930 ± 0.0039  0.2016 ± 0.0056  0.197 ± 0.0059  0.196 ± 0.015  0.193 ± 0.003  0.197 ± 0.002  0.198 ± 0.002  0.199 ± 0.003  0.192 ± 0.002  0.195 ± 0.002  0.197 ± 0.004  0.198 ± 0.003  0.21 ± 0.021  0.21 ± 0.021  0.18 ± 0.018  0.19 ± 0.019  0.17 ± 0.017  0.16 ± 0.016  0.15 ± 0.015  0.17 ± 0.017  0.1974 ± 0.0015  0.206 ± 0.021  0.204 ± 0.020  0.199 ± 0.006  0.2013 ± 0.003  0.1871 ± 0.0025  0.2048 ± 0.0005  0.193 ± 0.014  0.1898 ± 0.015  0.179 ± 0.021  0.203 ± 0.008  0.182 ± 0.009</p>	<p>(Slivinsky and Ebert, 1969)  (Hansen et al., 1970b)  (McCrary et al., 1971)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Criswell and Gray, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Li and Watson, 1974)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Casnati et al., 1985)  (Braziewicz et al., 1986)  (Braziewicz et al., 1986)  (Rao et al., 1986)  (Bhan et al., 1987)  (Stoev and Dlouhy, 1993)  (Padhi and Dhal, 1995)  (Ertuğrul et al., 2001b)  (Söğüt et al., 2001)  (Castellano et al., 2002)  (Çalışkan et al., 2002)  (Ertuğrul et al., 2002)</p>	0.2006 ± 0.0004

## ANNEXES

	0.202 ± 0.010 0.185 ± 0.005 0.197 ± 0.006 0.2016 ± 0.004 0.185 ± 0.005 0.2007 ± 0.010 0.1809 ± 0.004 0.184 ± 0.007 0.193 ± 0.010 0.203 ± 0.010 0.203 ± 0.010 0.1809 ± 0.0081 0.201 ± 0.022 0.1804 ± 0.0063 0.1860 ± 0.0084 0.1881 ± 0.0085 0.1902 ± 0.0086 0.1912 ± 0.0086 0.1917 ± 0.0086 0.1942 ± 0.0087 0.1963 ± 0.0088 0.1958 ± 0.0088 0.1917 ± 0.007 0.1891 ± 0.006 0.1877 ± 0.009 0.2028 0.2026 0.2024	(Öz, 2006) (Bennal and Badiger, 2007) (Çevik et al., 2007) (Ertuğral et al., 2007) (Bennal et al., 2010) (Porikli et al., 2011) (Turşucu et al., 2012) (Anand et al., 2013) (Demir and Şahin, 2013) (Demir and Şahin, 2013) (Demir and Şahin, 2013) (Onder et al., 2013) (Turşucu et al., 2013) (Akman, 2016b) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Özdemir et al., 2016) (Uğurlu and Demir, 2020) (Uğurlu and Demir, 2020) (Uğurlu and Demir, 2020) (Uğurlu et al., 2019) (Uğurlu et al., 2019) (Uğurlu et al., 2019)	
Z=43, Tc	0.1973 ± 0.0039 0.1776 ± 0.0008 0.1853 ± 0.0008	(Hansen et al., 1970b) (Yalçın, 2007) (Yalçın, 2007)	0.1818 ± 0.0006
Z=44, Ru	0.2018 ± 0.0040 0.2126 ± 0.0005 0.198 ± 0.016 0.1714 ± 0.0013 0.2034 ± 0.0010 0.1875 ± 0.004 0.1875 ± 0.0084 0.204 ± 0.018 0.1946 ± 0.0058 0.1988 ± 0.009 0.1957 ± 0.007 0.1939 ± 0.007	(Hansen et al., 1970b) (Padhi and Dhal, 1995) (Ertuğrul et al., 2001b) (Yalçın, 2007) (Yalçın, 2007) (Turşucu et al., 2012) (Onder et al., 2013) (Turşucu et al., 2013) (Akman, 2016b) (Uğurlu and Demir, 2020) (Uğurlu and Demir, 2020) (Uğurlu and Demir, 2020)	0.2061 ± 0.0004
Z=45, Rh	0.2055 ± 0.0041 0.2120 ± 0.0056 0.250 ± 0.0050 0.19 ± 0.019 0.22 ± 0.022 0.19 ± 0.019 0.20 ± 0.020 0.20 ± 0.020 0.18 ± 0.018 0.22 ± 0.022 0.18 ± 0.018 0.19 ± 0.019 0.21 ± 0.021 0.18 ± 0.018 0.18 ± 0.018 0.21 ± 0.021 0.19 ± 0.019	(Hansen et al., 1970b) (McCrary et al., 1971) (Salem et al., 1972) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977)	0.2070 ± 0.0004

	$0.16 \pm 0.016$ $0.23 \pm 0.023$ $0.19 \pm 0.019$ $0.20 \pm 0.020$ $0.2033 \pm 0.0020$ $0.2033 \pm 0.0020$ $0.210 \pm 0.004$ $0.2055 \pm 0.004$ $0.2053 \pm 0.0061$ $0.1951 \pm 0.0040$ $0.2078 \pm 0.0005$ $0.212 \pm 0.017$ $0.1906 \pm 0.004$ $0.1905 \pm 0.0086$ $0.207 \pm 0.018$ $0.2019 \pm 0.008$ $0.1987 \pm 0.008$ $0.1966 \pm 0.006$	<i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Marques et al., 1978)</i> <i>(Marques et al., 1980)</i> <i>(Rao et al., 1986)</i> <i>(Bhan et al., 1987)</i> <i>(Chand et al., 1988)</i> <i>(Stoev and Dlouhy, 1993)</i> <i>(Padhi and Dhal, 1995)</i> <i>(Ertuğrul et al., 2001b)</i> <i>(Turşucu et al., 2012)</i> <i>(Onder et al., 2013)</i> <i>(Turşucu et al., 2013)</i> <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i> <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i> <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i>	
Z=46, Pd	$0.2101 \pm 0.0063$ $0.2091 \pm 0.0042$ $0.210 \pm 0.0063$ $0.158 \pm 0.014$ $0.2061 \pm 0.0016$ $0.2061 \pm 0.0016$ $0.211 \pm 0.004$ $0.2014 \pm 0.0033$ $0.2124 \pm 0.0005$ $0.207 \pm 0.014$ $0.186 \pm 0.009$ $0.198 \pm 0.009$ $0.1993 \pm 0.004$ $0.1932 \pm 0.0087$ $0.211 \pm 0.019$ $0.2109 \pm 0.0062$ $0.2066 \pm 0.007$ $0.2046 \pm 0.006$ $0.2026 \pm 0.007$	<i>(Slivinsky and Ebert, 1969)</i> <i>(Hansen et al., 1970b)</i> <i>(Slivinsky and Ebert, 1972b)</i> <i>(Criswell and Gray, 1974)</i> <i>(Marques et al., 1978)</i> <i>(Marques et al., 1980)</i> <i>(Rao et al., 1986)</i> <i>(Stoev and Dlouhy, 1993)</i> <i>(Padhi and Dhal, 1995)</i> <i>(Ertuğrul et al., 2001b)</i> <i>(Çalışkan et al., 2002)</i> <i>(Ertuğrul et al., 2002)</i> <i>(Turşucu et al., 2012)</i> <i>(Onder et al., 2013)</i> <i>(Turşucu et al., 2013)</i> <i>(Akman, 2016b)</i> <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i> <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i> <i>(Uğurlu and Demir, 2020)</i>	0.2107 ± 0.0004
Z=47, Ag	$0.2110 \pm 0.0042$ $0.2185 \pm 0.0058$ $0.2119 \pm 0.0040$ $0.214 \pm 0.015$ $0.207 \pm 0.015$ $0.217 \pm 0.011$ $0.2123 \pm 0.0068$ $0.203 \pm 0.004$ $0.206 \pm 0.006$ $0.210 \pm 0.005$ $0.210 \pm 0.006$ $0.203 \pm 0.004$ $0.204 \pm 0.006$ $0.208 \pm 0.004$ $0.208 \pm 0.006$ $0.192 \pm 0.044$ $0.20 \pm 0.020$ $0.23 \pm 0.023$ $0.21 \pm 0.021$ $0.22 \pm 0.022$ $0.21 \pm 0.021$ $0.21 \pm 0.021$ $0.22 \pm 0.022$	<i>(Hansen et al., 1970b)</i> <i>(McCrary et al., 1971)</i> <i>(Mistry and Quarles, 1971a)</i> <i>(Bissinger et al., 1972)</i> <i>(Bissinger et al., 1972)</i> <i>(Close et al., 1973)</i> <i>(Akselsson and Johansson, 1974)</i> <i>(Li and Watson, 1974)</i> <i>(Li and Watson, 1974)</i> <i>(Li and Watson, 1974)</i> <i>(Li and Watson, 1974)</i> <i>(Li and Watson, 1974)</i> <i>(Li and Watson, 1974)</i> <i>(Li and Watson, 1974)</i> <i>(Li and Watson, 1974)</i> <i>(Li and Watson, 1974)</i> <i>(Li and Watson, 1974)</i> <i>(Khelil and Gray, 1975)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i>	0.2016 ± 0.0003

	0.21 ± 0.021	(Wilson et al., 1977)	
	0.22 ± 0.022	(Wilson et al., 1977)	
	0.22 ± 0.022	(Wilson et al., 1977)	
	0.21 ± 0.021	(Wilson et al., 1977)	
	0.21 ± 0.021	(Wilson et al., 1977)	
	0.22 ± 0.022	(Wilson et al., 1977)	
	0.22 ± 0.022	(Wilson et al., 1977)	
	0.23 ± 0.023	(Wilson et al., 1977)	
	0.23 ± 0.023	(Wilson et al., 1977)	
	0.21 ± 0.021	(Wilson et al., 1977)	
	0.21 ± 0.021	(Wilson et al., 1977)	
	0.24 ± 0.024	(Wilson et al., 1977)	
	0.22 ± 0.022	(Wilson et al., 1977)	
	0.207 ± 0.010	(Berényi et al., 1978)	
	0.207 ± 0.012	(Kamal et al., 1980)	
	0.210 ± 0.013	(Kamal et al., 1980)	
	0.2127 ± 0.013	(Kamal et al., 1980)	
	0.2105 ± 0.0021	(Marques et al., 1980)	
	0.206 ± 0.004	(Shearer-Izumi et al., 1980)	
	0.226 ± 0.023	(Braziewicz et al., 1986)	
	0.212 ± 0.004	(Rao et al., 1986)	
	0.2157 ± 0.004	(Bhan et al., 1987)	
	0.203 ± 0.0051	(Coelho et al., 1989)	
	0.2010 ± 0.0010	(Stoev and Dlouhy, 1993)	
	0.2009 ± 0.0003	(Dhal and Padhi, 1994)	
	0.217 ± 0.015	(Ertuğrul et al., 2001b)	
	0.216 ± 0.008	(Çalışkan et al., 2002)	
	0.198 ± 0.010	(Ertuğrul et al., 2002)	
	0.212 ± 0.015	(Baydaş, 2005)	
	0.198 ± 0.003	(Bennal and Badiger, 2007)	
	0.2096 ± 0.004	(Ertuğral et al., 2007)	
	0.2101 ± 0.0139	(Kup Aylikci et al., 2009)	
	0.198 ± 0.003	(Bennal et al., 2010)	
	0.1964 ± 0.004	(Turşucu et al., 2012)	
	0.192 ± 0.005	(Anand et al., 2013)	
	0.186 ± 0.009	(Demir and Şahin, 2013)	
	0.172 ± 0.009	(Demir and Şahin, 2013)	
	0.172 ± 0.009	(Demir and Şahin, 2013)	
	0.1963 ± 0.0088	(Onder et al., 2013)	
	0.214 ± 0.022	(Turşucu et al., 2013)	
	0.212 ± 0.003	(George et al., 2014)	
	0.2154 ± 0.0065	(Akman, 2016b)	
	0.1962 ± 0.0038	(Gójska et al., 2020)	
	0.2099 ± 0.008	(Uğurlu and Demir, 2020)	
	0.2061 ± 0.008	(Uğurlu and Demir, 2020)	
	0.2039 ± 0.008	(Uğurlu and Demir, 2020)	
	0.2087	(Uğurlu et al., 2019)	
	0.2084	(Uğurlu et al., 2019)	
	0.2075	(Uğurlu et al., 2019)	
Z=48, Cd	0.2155 ± 0.0043	(Hansen et al., 1970b)	0.2080 ± 0.0004
	0.204 ± 0.046	(Khelil and Gray, 1975)	
	0.2141 ± 0.0012	(Casnati et al., 1985)	
	0.214 ± 0.004	(Rao et al., 1986)	
	0.210 ± 0.0053	(Coelho et al., 1989)	
	0.2043 ± 0.0006	(Stoev and Dlouhy, 1993)	
	0.2141 ± 0.0009	(Dhal and Padhi, 1994)	
	0.217 ± 0.015	(Ertuğrul et al., 2001b)	
	0.2127 ± 0.013	(Söğüt et al., 2001)	
	0.220 ± 0.013	(Çalışkan et al., 2002)	
	0.210 ± 0.011	(Baydaş, 2005)	

	<p>0.206 ± 0.011  0.210 ± 0.021  0.199 ± 0.004  0.212 ± 0.007  0.2035 ± 0.006  0.200 ± 0.016  0.2068 ± 0.0011  0.2106 ± 0.0022  0.199 ± 0.004  0.1995 ± 0.004  0.200 ± 0.010  0.184 ± 0.009  0.184 ± 0.009  0.2057 ± 0.0093  0.221 ± 0.024  0.2133 ± 0.0063  0.2127 ± 0.006  0.2105 ± 0.005  0.2093 ± 0.005</p>	<p>(Doğan and Bacaksiz, 2005)  (Bacaksiz <i>et al.</i>, 2006)  (Bennal and Badiger, 2007)  (Çevik <i>et al.</i>, 2007)  (Ertuğral <i>et al.</i>, 2007)  (Han <i>et al.</i>, 2007)  (Yalçin, 2007)  (Yalçin, 2007)  (Bennal <i>et al.</i>, 2010)  (Turşucu <i>et al.</i>, 2012)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Onder <i>et al.</i>, 2013)  (Turşucu <i>et al.</i>, 2013)  (Akman, 2016b)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)  (Uğurlu and Demir, 2020)</p>	
Z=49, In	<p>0.2192 ± 0.0044  0.216 ± 0.011  0.22 ± 0.022  0.22 ± 0.022  0.23 ± 0.023  0.22 ± 0.022  0.22 ± 0.022  0.22 ± 0.022  0.22 ± 0.022  0.22 ± 0.022  0.23 ± 0.023  0.22 ± 0.022  0.222 ± 0.011  0.2147 ± 0.0021  0.2147 ± 0.0021  0.209 ± 0.003  0.219 ± 0.004  0.2148 ± 0.004  0.219 ± 0.006  0.218 ± 0.006  0.217 ± 0.0054  0.2079 ± 0.0008  0.220 ± 0.018  0.231 ± 0.011  0.205 ± 0.003  0.219 ± 0.008  0.2098 ± 0.009  0.203 ± 0.016  0.205 ± 0.003  0.204 ± 0.010  0.188 ± 0.010  0.189 ± 0.010  0.2179 ± 0.0067</p>	<p>(Hansen <i>et al.</i>, 1970b)  (Tawara <i>et al.</i>, 1975)  (Wilson <i>et al.</i>, 1977)  (Wilson <i>et al.</i>, 1977)  (Wilson <i>et al.</i>, 1977)  (Wilson <i>et al.</i>, 1977)  (Wilson <i>et al.</i>, 1977)  (Wilson <i>et al.</i>, 1977)  (Wilson <i>et al.</i>, 1977)  (Wilson <i>et al.</i>, 1977)  (Wilson <i>et al.</i>, 1977)  (Wilson <i>et al.</i>, 1977)  (Berényi <i>et al.</i>, 1978)  (Marques <i>et al.</i>, 1978)  (Marques <i>et al.</i>, 1980)  (Shearer-Izumi <i>et al.</i>, 1980)  (Rao <i>et al.</i>, 1986)  (Bhan <i>et al.</i>, 1987)  (Rao <i>et al.</i>, 1987)  (Rao <i>et al.</i>, 1987)  (Coelho <i>et al.</i>, 1989)  (Stoiev and Dlouhy, 1993)  (Ertuğrul <i>et al.</i>, 2001b)  (Çalışkan <i>et al.</i>, 2002)  (Bennal and Badiger, 2007)  (Çevik <i>et al.</i>, 2007)  (Ertuğral <i>et al.</i>, 2007)  (Han <i>et al.</i>, 2007)  (Bennal <i>et al.</i>, 2010)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Akman, 2016b)</p>	0.2100 ± 0.0006
Z=50, Sn	<p>0.2226 ± 0.0045  0.2306 ± 0.0064  0.224 ± 0.011  0.189 ± 0.046  0.189 ± 0.036  0.200 ± 0.032  0.208 ± 0.030  0.213 ± 0.023</p>	<p>(Hansen <i>et al.</i>, 1970b)  (McCrary <i>et al.</i>, 1971)  (Close <i>et al.</i>, 1973)  (Mohler and Cothorn, 1973)  (Mohler and Cothorn, 1973)  (Mohler and Cothorn, 1973)  (Mohler and Cothorn, 1973)  (Mohler and Cothorn, 1973)</p>	0.2171 ± 0.0005

	0.222 ± 0.015	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.227 ± 0.015	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.222 ± 0.015	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.222 ± 0.015	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.227 ± 0.015	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.233 ± 0.016	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.227 ± 0.015	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.227 ± 0.015	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.233 ± 0.016	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.227 ± 0.010	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.233 ± 0.016	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.233 ± 0.011	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.233 ± 0.011	(Mohler and Cothorn, 1973)	
	0.213 ± 0.050	( <i>Khelil and Gray, 1975</i> )	
	0.226 ± 0.011	( <i>Tawara et al., 1975</i> )	
	0.23 ± 0.023	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.22 ± 0.022	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.22 ± 0.022	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.19 ± 0.019	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.21 ± 0.021	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.20 ± 0.020	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.20 ± 0.020	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.19 ± 0.019	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.226 ± 0.011	( <i>Berényi et al., 1978</i> )	
	0.211 ± 0.004	( <i>Dost et al., 1981</i> )	
	0.218 ± 0.010	( <i>Dost et al., 1981</i> )	
	0.222 ± 0.005	( <i>Rao et al., 1986</i> )	
	0.215 ± 0.0054	( <i>Coelho et al., 1989</i> )	
	0.2126 ± 0.0020	( <i>Stoev and Dlouhy, 1993</i> )	
	0.2183 ± 0.0006	( <i>Dhal and Padhi, 1994</i> )	
	0.226 ± 0.020	( <i>Ertuğrul et al., 2001b</i> )	
	0.209 ± 0.012	( <i>Çalışkan et al., 2002</i> )	
	0.218 ± 0.011	( <i>Baydaş, 2005</i> )	
	0.208 ± 0.003	( <i>Bennal and Badiger, 2007</i> )	
	0.221 ± 0.009	( <i>Çevik et al., 2007</i> )	
	0.2086 ± 0.011	( <i>Ertuğral et al., 2007</i> )	
	0.206 ± 0.017	( <i>Han et al., 2007</i> )	
	0.208 ± 0.003	( <i>Bennal et al., 2010</i> )	
	0.2061 ± 0.004	( <i>Turşucu et al., 2012</i> )	
	0.205 ± 0.010	( <i>Demir and Şahin, 2013</i> )	
	0.225 ± 0.011	( <i>Demir and Şahin, 2013</i> )	
	0.224 ± 0.011	( <i>Demir and Şahin, 2013</i> )	
	0.2029 ± 0.0091	( <i>Onder et al., 2013</i> )	
	0.235 ± 0.033	( <i>Turşucu et al., 2013</i> )	
	0.2148 ± 0.0067	( <i>Akman, 2016b</i> )	
	0.1949 ± 0.0099	( <i>Doğan et al., 2016</i> )	
Z=51, Sb	0.2254 ± 0.0045	( <i>Hansen et al., 1970b</i> )	0.2141 ± 0.0008
	0.226 ± 0.011	( <i>Close et al., 1973</i> )	
	0.213 ± 0.050	( <i>Khelil and Gray, 1975</i> )	
	0.21 ± 0.021	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.21 ± 0.021	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.22 ± 0.022	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.21 ± 0.021	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.22 ± 0.022	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.20 ± 0.020	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.20 ± 0.020	( <i>Wilson et al., 1977</i> )	
	0.2132 ± 0.0009	( <i>Stoev and Dlouhy, 1993</i> )	
	0.228 ± 0.016	( <i>Ertuğrul et al., 2001b</i> )	
	0.207 ± 0.010	( <i>Ximeng et al., 2001</i> )	
	0.241 ± 0.007	( <i>Çalışkan et al., 2002</i> )	



	$0.24 \pm 0.024$ $0.22 \pm 0.022$ $0.26 \pm 0.026$ $0.24 \pm 0.024$ $0.2355 \pm 0.0035$ $0.238 \pm 0.006$ $0.236 \pm 0.006$ $0.2427 \pm 0.0064$ $0.2236 \pm 0.0029$ $0.2369 \pm 0.0047$ $0.2293 \pm 0.0046$ $0.200 \pm 0.021$ $0.234 \pm 0.018$ $0.239 \pm 0.014$ $0.239 \pm 0.014$ $0.229 \pm 0.011$ $0.2165 \pm 0.0007$ $0.2021 \pm 0.0010$ $0.2287 \pm 0.0012$ $0.2287 \pm 0.0012$ $0.2326 \pm 0.007$ $0.2328 \pm 0.0073$	<i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Martins et al., 1981)</i> <i>(Rao et al., 1987)</i> <i>(Rao et al., 1987)</i> <i>(Chand et al., 1988)</i> <i>(Stoev and Dlouhy, 1993)</i> <i>(Büyükkasap et al., 1994)</i> <i>(Büyükkasap et al., 1994)</i> <i>(Durak and Özdemir, 2000)</i> <i>(Ertuğrul et al., 2001b)</i> <i>(Çalışkan et al., 2002)</i> <i>(Ertuğrul, 2002c)</i> <i>(Baydaş, 2005)</i> <i>(Yalçın, 2007)</i> <i>(Yalçın, 2007)</i> <i>(Yalçın, 2007)</i> <i>(Yalçın, 2007)</i> <i>(Sita Mahalakshmi et al., 2014)</i> <i>(Akman, 2016b)</i>	
Z=56, Ba	$0.2370 \pm 0.0048$ $0.2446 \pm 0.0067$ $0.303 \pm 0.083$ $0.240 \pm 0.012$ $0.21 \pm 0.021$ $0.23 \pm 0.023$ $0.26 \pm 0.026$ $0.22 \pm 0.022$ $0.22 \pm 0.022$ $0.2372 \pm 0.0071$ $0.238 \pm 0.007$ $0.2351 \pm 0.0090$ $0.2268 \pm 0.0033$ $0.2376 \pm 0.0048$ $0.2364 \pm 0.0047$ $0.2385 \pm 0.0047$ $0.2386 \pm 0.0047$ $0.2387 \pm 0.0047$ $0.2369 \pm 0.0047$ $0.2357 \pm 0.0047$ $0.235 \pm 0.017$ $0.243 \pm 0.007$ $0.243 \pm 0.007$ $0.236 \pm 0.014$ $0.238 \pm 0.010$ $0.2472 \pm 0.005$ $0.227 \pm 0.018$ $0.2118 \pm 0.0013$ $0.2355 \pm 0.0008$ $0.227 \pm 0.012$ $0.245 \pm 0.012$ $0.245 \pm 0.012$ $0.251 \pm 0.021$ $0.251 \pm 0.004$ $0.2268 \pm 0.0097$ $0.2353 \pm 0.0079$	<i>(Hansen et al., 1970b)</i> <i>(McCrary et al., 1971)</i> <i>(Khelil and Gray, 1975)</i> <i>(Tawara et al., 1975)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Wilson et al., 1977)</i> <i>(Martins et al., 1981)</i> <i>(Mehta et al., 1987b)</i> <i>(Chand et al., 1988)</i> <i>(Stoev and Dlouhy, 1993)</i> <i>(Büyükkasap et al., 1994)</i> <i>(Büyükkasap et al., 1994)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Ertuğrul et al., 2001b)</i> <i>(Çalışkan et al., 2002)</i> <i>(Ertuğrul, 2002c)</i> <i>(Baydaş, 2005)</i> <i>(Çevik et al., 2007)</i> <i>(Ertuğral et al., 2007)</i> <i>(Han et al., 2007)</i> <i>(Yalçın, 2007)</i> <i>(Yalçın, 2007)</i> <i>(Demir and Şahin, 2013)</i> <i>(Demir and Şahin, 2013)</i> <i>(Demir and Şahin, 2013)</i> <i>(Sreevidya et al., 2013)</i> <i>(Sreevidya et al., 2014)</i> <i>(Akman et al., 2016a)</i> <i>(Akman, 2016b)</i>	$0.2313 \pm 0.0006$
Z=57, La	$0.2435 \pm 0.0049$ $0.2347 \pm 0.0044$	<i>(Hansen et al., 1970b)</i> <i>(Mistry and Quarles, 1971b)</i>	$0.2378 \pm 0.0010$



	0.235 ± 0.010 0.2478 ± 0.0080 0.234 ± 0.005 0.234 ± 0.005 0.234 ± 0.006 0.2311	(Akman, 2016a) (Akman, 2016b) (Uğurlu, 2019) (Uğurlu, 2019) (Uğurlu, 2019) (Küçükönder et al., 1993c)	
Z=59, Pr	0.2427 ± 0.0073 0.2433 ± 0.0049 0.2475 ± 0.0049 0.243 ± 0.0073 0.2386 ± 0.0052 0.235 ± 0.028 0.255 ± 0.002 0.247 ± 0.019 0.240 ± 0.012 0.240 ± 0.012 0.247 ± 0.017 0.2376 ± 0.005 0.2376 ± 0.005 0.2338 ± 0.007 0.230 ± 0.010 0.236 ± 0.006 0.236 ± 0.006 0.236 ± 0.006	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b) (Mistry and Quarles, 1971b) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Mehta et al., 1987a) (Durak and Özdemir, 2000) (Ertuğrul et al., 2001a) (Ertuğrul et al., 2001b) (Çalışkan et al., 2002) (Ertuğrul, 2003) (Baydaş, 2005) (Ertuğral et al., 2007) (Ertuğral, 2007) (Sita Mahalakshmi et al., 2014) (Akman, 2016a) (Uğurlu, 2019) (Uğurlu, 2019) (Uğurlu, 2019)	0.2457 ± 0.0013
Z=60, Nd	0.2442 ± 0.0049 0.2415 ± 0.0058 0.25 ± 0.025 0.23 ± 0.023 0.28 ± 0.028 0.27 ± 0.027 0.28 ± 0.028 0.27 ± 0.027 0.25 ± 0.025 0.28 ± 0.028 0.25 ± 0.025 0.26 ± 0.026 0.235 ± 0.020 0.237 ± 0.014 0.24 ± 0.016 0.247 ± 0.002 0.248 ± 0.018 0.260 ± 0.008 0.247 ± 0.014 0.260 ± 0.008 0.242 ± 0.006 0.249 ± 0.015 0.249 ± 0.015 0.2418 ± 0.006 0.2495 ± 0.015 0.2495 ± 0.015 0.2402 ± 0.005 0.2402 ± 0.005 0.2384 ± 0.007 0.228 ± 0.013 0.244 ± 0.006 0.244 ± 0.006 0.244 ± 0.006	(Hansen et al., 1970b) (Mistry and Quarles, 1971b) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Wilson et al., 1977) (Durak and Özdemir, 1998) (Durak and Özdemir, 2000) (Hajivaliei et al., 2000) (Ertuğrul et al., 2001a) (Ertuğrul et al., 2001b) (Çalışkan et al., 2002) (Ertuğrul et al., 2002) (Ertuğrul, 2003) (Demir and Şahin, 2007a) (Demir and Şahin, 2007a) (Demir and Şahin, 2007a) (Demir and Şahin, 2007b) (Demir and Şahin, 2007b) (Demir and Şahin, 2007b) (Ertuğral et al., 2007) (Ertuğral, 2007) (Sita Mahalakshmi et al., 2014) (Akman, 2016a) (Uğurlu, 2019) (Uğurlu, 2019) (Uğurlu, 2019)	0.2453 ± 0.0012
Z=61, Pm	0.2452 ± 0.0049	(Hansen et al., 1970b)	0.2452 ± 0.0049
Z=62, Sm	0.2584 ± 0.0078 0.2459 ± 0.0049	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b)	0.2498 ± 0.0009

	<p>0.2539 ± 0.0066  0.254 ± 0.0076  0.242 ± 0.005  0.2525 ± 0.0018  0.245 ± 0.0074  0.2632 ± 0.0036  0.2491 ± 0.0050  0.2492 ± 0.0050  0.2495 ± 0.0050  0.2469 ± 0.0049  0.2472 ± 0.0049  0.240 ± 0.022  0.242 ± 0.028  0.26 ± 0.017  0.252 ± 0.002  0.251 ± 0.019  0.239 ± 0.012  0.236 ± 0.011  0.236 ± 0.011  0.250 ± 0.015  0.2451 ± 0.008  0.2451 ± 0.008  0.239 ± 0.019  0.204 ± 0.012  0.205 ± 0.012  0.203 ± 0.012  0.202 ± 0.012  0.202 ± 0.012  0.207 ± 0.012  0.252 ± 0.013  0.284 ± 0.014  0.284 ± 0.014  0.2429 ± 0.007  0.233 ± 0.012  0.253 ± 0.005  0.254 ± 0.005  0.253 ± 0.005</p>	<p>(McCrary et al., 1971)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Shearer-Izumi et al., 1980)  (Kasagi et al., 1986)  (Mehta et al., 1986)  (Borowski et al., 1987)  (Büyükkasap, 1997)  (Büyükkasap, 1997)  (Büyükkasap, 1997)  (Büyükkasap, 1997)  (Büyükkasap, 1997)  (Durak and Özdemir, 1998)  (Durak and Özdemir, 2000)  (Hajivaliei et al., 2000)  (Ertuğrul et al., 2001a)  (Ertuğrul et al., 2001b)  (Ximeng et al., 2001)  (Çalışkan et al., 2002)  (Ertuğrul, 2002b)  (Baydaş, 2005)  (Ertuğral et al., 2007)  (Ertuğral, 2007)  (Han et al., 2007)  (Han et al., 2008)  (Han et al., 2008)  (Han et al., 2008)  (Han et al., 2008)  (Han et al., 2008)  (Han et al., 2008)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Demir and Şahin, 2013)  (Sita Mahalakshmi et al., 2014)  (Akman, 2016a)  (Uğurlu, 2019)  (Uğurlu, 2019)  (Uğurlu, 2019)</p>	
Z=63, Eu	<p>0.2519 ± 0.0076  0.2485 ± 0.0050  0.256 ± 0.0077  0.30 ± 0.030  0.27 ± 0.027  0.28 ± 0.028  0.25 ± 0.025  0.29 ± 0.029  0.26 ± 0.026  0.28 ± 0.028  0.28 ± 0.028  0.29 ± 0.029  0.247 ± 0.016  0.243 ± 0.016  0.2446 ± 0.016  0.252 ± 0.007  0.251 ± 0.007  0.242 ± 0.018  0.27 ± 0.018  0.254 ± 0.003  0.254 ± 0.020  0.300 ± 0.015  0.253 ± 0.020</p>	<p>(Slivinsky and Ebert, 1969)  (Hansen et al., 1970b)  (Slivinsky and Ebert, 1972b)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Wilson et al., 1977)  (Kamal et al., 1980)  (Kamal et al., 1980)  (Kamal et al., 1980)  (Rao et al., 1987)  (Rao et al., 1987)  (Durak and Özdemir, 1998)  (Hajivaliei et al., 2000)  (Ertuğrul et al., 2001a)  (Ertuğrul et al., 2001b)  (Ximeng et al., 2001)  (Baydaş, 2005)</p>	0.2486 ± 0.0009



	$0.215 \pm 0.013$ $0.217 \pm 0.013$ $0.215 \pm 0.013$ $0.217 \pm 0.013$ $0.213 \pm 0.013$ $0.215 \pm 0.013$ $0.2496 \pm 0.007$ $0.2650 \pm 0.019$ $0.2650 \pm 0.0074$ $0.239 \pm 0.014$	<i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Sita Mahalakshmi et al., 2014)</i> <i>(Akman et al., 2015)</i> <i>(Akman et al., 2016a)</i> <i>(Akman, 2016a)</i>	
Z=65, Tb	$0.2485 \pm 0.0050$ $0.2644 \pm 0.0117$ $0.248 \pm 0.029$ $0.259 \pm 0.003$ $0.258 \pm 0.020$ $0.303 \pm 0.018$ $0.303 \pm 0.018$ $0.258 \pm 0.018$ $0.2515 \pm 0.007$ $0.215 \pm 0.013$ $0.214 \pm 0.013$ $0.217 \pm 0.013$ $0.215 \pm 0.013$ $0.216 \pm 0.013$ $0.215 \pm 0.013$ $0.263 \pm 0.013$ $0.290 \pm 0.015$ $0.291 \pm 0.015$ $0.2618 \pm 0.0089$ $0.247 \pm 0.014$	<i>(Hansen et al., 1970b)</i> <i>(Borowski et al., 1987)</i> <i>(Durak and Özdemir, 2000)</i> <i>(Ertuğrul et al., 2001a)</i> <i>(Ertuğrul et al., 2001b)</i> <i>(Çalışkan et al., 2002)</i> <i>(Ertuğrul, 2002b)</i> <i>(Baydaş, 2005)</i> <i>(Ertuğral et al., 2007)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Demir and Şahin, 2013)</i> <i>(Demir and Şahin, 2013)</i> <i>(Demir and Şahin, 2013)</i> <i>(Akman et al., 2016a)</i> <i>(Akman, 2016a)</i>	$0.2530 \pm 0.0020$
Z=66, Dy	$0.2502 \pm 0.0050$ $0.2639 \pm 0.0056$ $0.255 \pm 0.0077$ $0.2549 \pm 0.0051$ $0.2570 \pm 0.0051$ $0.2565 \pm 0.0051$ $0.2554 \pm 0.0051$ $0.2555 \pm 0.0051$ $0.247 \pm 0.021$ $0.249 \pm 0.041$ $0.28 \pm 0.018$ $0.263 \pm 0.003$ $0.259 \pm 0.020$ $0.265 \pm 0.013$ $0.272 \pm 0.010$ $0.260 \pm 0.018$ $0.277 \pm 0.030$ $0.278 \pm 0.003$ $0.278 \pm 0.003$ $0.2774 \pm 0.030$ $0.2779 \pm 0.003$ $0.2780 \pm 0.003$ $0.2461 \pm 0.009$ $0.246 \pm 0.020$ $0.205 \pm 0.012$ $0.206 \pm 0.012$ $0.207 \pm 0.012$ $0.205 \pm 0.012$ $0.203 \pm 0.012$ $0.203 \pm 0.012$	<i>(Hansen et al., 1970b)</i> <i>(Mistry and Quarles, 1971b)</i> <i>(Mehta et al., 1986)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Büyükkasap, 1997)</i> <i>(Durak and Özdemir, 1998)</i> <i>(Durak and Özdemir, 2000)</i> <i>(Hajivaliei et al., 2000)</i> <i>(Ertuğrul et al., 2001a)</i> <i>(Ertuğrul et al., 2001b)</i> <i>(Ximeng et al., 2001)</i> <i>(Çalışkan et al., 2002)</i> <i>(Baydaş, 2005)</i> <i>(Demir and Şahin, 2007a)</i> <i>(Demir and Şahin, 2007a)</i> <i>(Demir and Şahin, 2007a)</i> <i>(Demir and Şahin, 2007b)</i> <i>(Demir and Şahin, 2007b)</i> <i>(Demir and Şahin, 2007b)</i> <i>(Ertuğral et al., 2007)</i> <i>(Han et al., 2007)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i> <i>(Han et al., 2008)</i>	$0.2646 \pm 0.0010$

	0.2507 ± 0.008 0.2534 ± 0.0054 0.260 ± 0.017	(Sita Mahalakshmi et al., 2014) (Akman et al., 2016a) (Akman, 2016a)	
Z=67, Ho	0.2511 ± 0.0050 0.2609 ± 0.0068 0.2551 ± 0.0052 0.252 ± 0.015 0.2608 ± 0.0012 0.2609 ± 0.0052 0.2594 ± 0.0052 0.2598 ± 0.0052 0.2566 ± 0.0051 0.2586 ± 0.0052 0.250 ± 0.019 0.250 ± 0.032 0.260 ± 0.002 0.260 ± 0.021 0.267 ± 0.013 0.273 ± 0.014 0.265 ± 0.019 0.259 ± 0.013 0.262 ± 0.004 0.261 ± 0.004 0.2596 ± 0.013 0.2616 ± 0.004 0.2613 ± 0.004 0.2609 ± 0.008 0.247 ± 0.020 0.206 ± 0.012 0.205 ± 0.012 0.205 ± 0.012 0.206 ± 0.012 0.205 ± 0.012 0.206 ± 0.012 0.205 ± 0.012 0.2525 ± 0.008 0.2575 ± 0.0037	(Hansen et al., 1970b) (McCrary et al., 1971) (Mistry and Quarles, 1971b) (Deconninck and Longree, 1977) (Kasagi et al., 1986) (Büyükkasap, 1997) (Büyükkasap, 1997) (Büyükkasap, 1997) (Büyükkasap, 1997) (Büyükkasap, 1997) (Durak and Özdemir, 1998) (Durak and Özdemir, 2000) (Ertuğrul et al., 2001a) (Ertuğrul et al., 2001b) (Ximeng et al., 2001) (Çalışkan et al., 2002) (Baydaş, 2005) (Demir and Şahin, 2007a) (Demir and Şahin, 2007a) (Demir and Şahin, 2007a) (Demir and Şahin, 2007b) (Demir and Şahin, 2007b) (Demir and Şahin, 2007b) (Ertuğral et al., 2007) (Han et al., 2007) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Sita Mahalakshmi et al., 2014) (Akman et al., 2016a)	0.2586 ± 0.0008
Z=68, Er	0.2564 ± 0.0077 0.2521 ± 0.0050 0.2538 ± 0.0064 0.256 ± 0.0077 0.263 ± 0.007 0.262 ± 0.007 0.2420 ± 0.0043 0.251 ± 0.011 0.251 ± 0.023 0.251 ± 0.038 0.28 ± 0.018 0.261 ± 0.003 0.262 ± 0.021 0.294 ± 0.015 0.266 ± 0.008 0.271 ± 0.016 0.2549 ± 0.007 0.247 ± 0.020 0.213 ± 0.012 0.205 ± 0.012 0.216 ± 0.013 0.209 ± 0.013 0.215 ± 0.013 0.218 ± 0.013	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b) (Mistry and Quarles, 1971b) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Rao et al., 1987) (Rao et al., 1987) (Chand et al., 1988) (Chand et al., 1989) (Durak and Özdemir, 1998) (Durak and Özdemir, 2000) (Hajivaliei et al., 2000) (Ertuğrul et al., 2001a) (Ertuğrul et al., 2001b) (Ximeng et al., 2001) (Çalışkan et al., 2002) (Baydaş, 2005) (Ertuğral et al., 2007) (Han et al., 2007) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008) (Han et al., 2008)	0.2529 ± 0.0015

	0.2555 ± 0.0053 0.272 ± 0.017	(Akman et al., 2016a) (Akman, 2016a)	
Z=69, Tm	0.2535 ± 0.0051 0.274 ± 0.014 0.2611 ± 0.0012 0.248 ± 0.0074 0.253 ± 0.026 0.266 ± 0.003 0.264 ± 0.020 0.2609 ± 0.005 0.256 ± 0.010	(Hansen et al., 1970b) (Deconninck and Longree, 1977) (Kasagi et al., 1986) (Mehta et al., 1986) (Ertuğrul et al., 1997) (Ertuğrul et al., 2001a) (Ertuğrul et al., 2001b) (Ertuğral et al., 2007) (Kaya et al., 2007)	0.2611 ± 0.0010
Z=70, Yb	0.2681 ± 0.0080 0.2550 ± 0.0051 0.2651 ± 0.0074 0.2703 ± 0.0058 0.268 ± 0.0080 0.256 ± 0.022 0.255 ± 0.022 0.28 ± 0.018 0.2589 ± 0.005 0.270 ± 0.014	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b) (McCrary et al., 1971) (Mistry and Quarles, 1971b) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Ertuğrul et al., 1997) (Durak and Özdemir, 1998) (Hajivaliei et al., 2000) (Ertuğral et al., 2007) (Kaya et al., 2007)	0.2630 ± 0.0024
Z=71, Lu	0.2572 ± 0.0051 0.276 ± 0.014 0.2636 ± 0.0012 0.2483 ± 0.0049 0.259 ± 0.019 0.2669 ± 0.009 0.260 ± 0.013	(Hansen et al., 1970b) (Deconninck and Longree, 1977) (Kasagi et al., 1986) (Borowski et al., 1987) (Ertuğrul et al., 1997) (Ertuğral et al., 2007) (Kaya et al., 2007)	0.2626 ± 0.0011
Z=72, Hf	0.2688 ± 0.0081 0.2593 ± 0.0052 0.269 ± 0.0081 0.307 ± 0.0138 0.2658 ± 0.008 0.268 ± 0.009 0.250 ± 0.003	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Aylikci et al., 2007) (Ertuğral et al., 2007) (Kaya et al., 2007) (Bennal et al., 2010)	0.2580 ± 0.0022
Z=73, Ta	0.2615 ± 0.0052 0.2648 ± 0.0073 0.252 ± 0.020 0.2682 ± 0.0017 0.268 ± 0.007 0.268 ± 0.007 0.265 ± 0.021 0.261 ± 0.018 0.251 ± 0.004 0.271 ± 0.012 0.2704 ± 0.005 0.273 ± 0.011 0.251 ± 0.004	(Hansen et al., 1970b) (McCrary et al., 1971) (Deconninck and Longree, 1977) (Kasagi et al., 1986) (Rao et al., 1987) (Rao et al., 1987) (Ertuğrul et al., 1997) (Durak and Özdemir, 1998) (Bennal and Badiger, 2006) (Çevik et al., 2007) (Ertuğral et al., 2007) (Kaya et al., 2007) (Bennal et al., 2010)	0.2644 ± 0.0013
Z=74, W	0.2710 ± 0.0081 0.2632 ± 0.0052 0.271 ± 0.0081 0.284 ± 0.014 0.2723 ± 0.0018 0.267 ± 0.024 0.264 ± 0.017 0.274 ± 0.012 0.2710 ± 0.005 0.266 ± 0.012 0.265 ± 0.016	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Deconninck and Longree, 1977) (Kasagi et al., 1986) (Ertuğrul et al., 1997) (Durak and Özdemir, 1998) (Çevik et al., 2007) (Ertuğral et al., 2007) (Kaya et al., 2007) (Cengiz et al., 2011)	0.2712 ± 0.0015
Z=75, Re	0.2653 ± 0.0053	(Hansen et al., 1970b)	0.2658 ± 0.0041

	0.261 ± 0.019 0.2684 ± 0.009 0.274 ± 0.015 0.258 ± 0.015	(Ertuğrul et al., 1997) (Ertuğral et al., 2007) (Kaya et al., 2007) (Cengiz et al., 2011)	
Z=76, Os	0.2671 ± 0.0053 0.259 ± 0.0078 0.2710 ± 0.008 0.275 ± 0.017 0.272 ± 0.016	(Hansen et al., 1970b) (Mehta et al., 1986) (Ertuğral et al., 2007) (Kaya et al., 2007) (Cengiz et al., 2011)	0.2668 ± 0.0037
Z=77, Ir	0.2693 ± 0.0054 0.2738 ± 0.0079 0.2724 ± 0.005	(Hansen et al., 1970b) (McCrary et al., 1971) (Ertuğral et al., 2007)	0.2715 ± 0.0033
Z=78, Pt	0.2705 ± 0.0054 0.265 ± 0.021 0.270 ± 0.0081 0.2682 ± 0.005 0.259 ± 0.016 0.260 ± 0.006	(Hansen et al., 1970b) (Deconninck and Longree, 1977) (Mehta et al., 1986) (Ertuğral et al., 2007) (Cengiz et al., 2011) (Anand et al., 2014)	0.2669 ± 0.0028
Z=79, Au	0.2786 ± 0.0084 0.2734 ± 0.0055 0.268 ± 0.016 0.2721 ± 0.0079 0.279 ± 0.0084 0.280 ± 0.017 0.252 ± 0.025 0.2758 ± 0.028 0.29 ± 0.03 0.2770 ± 0.0023 0.2755 ± 0.0012 0.269 ± 0.024 0.262 ± 0.003 0.2680 ± 0.005 0.262 ± 0.003 0.280 ± 0.020 0.264 ± 0.010	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b) (de Pinho, 1971) (McCrary et al., 1971) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Deconninck and Longree, 1977) (Kamal et al., 1980) (Kamal et al., 1980) (Kamal et al., 1980) (Kasagi et al., 1986) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertuğrul et al., 1997) (Bennal and Badiger, 2006) (Ertuğral et al., 2007) (Bennal et al., 2010) (Cengiz et al., 2010b) (Anand et al., 2014)	0.2729 ± 0.0009
Z=80, Hg	0.2755 ± 0.0055 0.276 ± 0.016 0.2794 ± 0.0086 0.2743 ± 0.0055 0.2786 ± 0.0022 0.276 ± 0.018 0.272 ± 0.025 0.2794 ± 0.003 0.2553 ± 0.0006 0.2772 ± 0.0007	(Hansen et al., 1970b) (de Pinho, 1971) (Chand et al., 1989) (Chand et al., 1989) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertuğrul et al., 1997) (Durak and Özdemir, 1998) (Ertuğral et al., 2007) (Yalçın, 2007) (Yalçın, 2007)	0.2656 ± 0.0004
Z=81, Tl	0.2795 ± 0.0056 0.276 ± 0.013 0.281 ± 0.006 0.276 ± 0.008 0.2779 ± 0.0023 0.281 ± 0.027 0.2695 ± 0.005 0.287 ± 0.026 0.287 ± 0.009	(Hansen et al., 1970b) (de Pinho, 1971) (Schmidt-Ott et al., 1972) (Mehta et al., 1987b) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertuğrul et al., 1997) (Ertuğral et al., 2007) (Sreevidya et al., 2013) (Sreevidya et al., 2014)	0.2776 ± 0.0018
Z=82, Pb	0.2710 ± 0.0081 0.2810 ± 0.0056 0.275 ± 0.015 0.2712 ± 0.0079 0.282 ± 0.0085 0.269 ± 0.022	(Slivinsky and Ebert, 1969) (Hansen et al., 1970b) (de Pinho, 1971) (McCrary et al., 1971) (Slivinsky and Ebert, 1972b) (Deconninck and Longree, 1977)	0.2769 ± 0.0011

## ANNEXES

	$0.2826 \pm 0.0025$ $0.279 \pm 0.007$ $0.280 \pm 0.007$ $0.2832 \pm 0.0022$ $0.281 \pm 0.033$ $0.275 \pm 0.021$ $0.268 \pm 0.003$ $0.2822 \pm 0.007$ $0.268 \pm 0.003$ $0.262 \pm 0.006$	<i>(Kasagi et al., 1986)</i> <i>(Rao et al., 1987)</i> <i>(Rao et al., 1987)</i> <i>(Dasmahapatra and Mukherjee, 1995)</i> <i>(Ertuğral et al., 1997)</i> <i>(Durak and Özdemir, 1998)</i> <i>(Bennal and Badiger, 2006)</i> <i>(Ertuğral et al., 2007)</i> <i>(Bennal et al., 2010)</i> <i>(Anand et al., 2014)</i>	
Z=83, Bi	$0.279 \pm 0.011$ $0.2744 \pm 0.0079$ $0.272 \pm 0.022$ $0.283 \pm 0.026$ $0.295 \pm 0.014$ $0.2896 \pm 0.009$	<i>(de Pinho, 1971)</i> <i>(McCrary et al., 1971)</i> <i>(Deconninck and Longree, 1977)</i> <i>(Ertuğral et al., 1997)</i> <i>(Çevik et al., 2007)</i> <i>(Ertuğral et al., 2007)</i>	$0.2819 \pm 0.0047$
Z=86, Rn	$0.278 \pm 0.012$ $0.2606 \pm 0.0012$ $0.2847 \pm 0.0013$	<i>(de Pinho, 1971)</i> <i>(Yalçın, 2007)</i> <i>(Yalçın, 2007)</i>	$0.2717 \pm 0.0009$
Z=88, Ra	$0.284 \pm 0.012$	<i>(de Pinho, 1971)</i>	$0.284 \pm 0.012$
Z=90, Th	$0.2899 \pm 0.0087$ $0.282 \pm 0.011$ $0.2857 \pm 0.0080$ $0.294 \pm 0.0088$ $0.287 \pm 0.029$ $0.3141 \pm 0.010$	<i>(Slivinsky and Ebert, 1969)</i> <i>(de Pinho, 1971)</i> <i>(McCrary et al., 1971)</i> <i>(Slivinsky and Ebert, 1972b)</i> <i>(Ertuğral et al., 1997)</i> <i>(Ertuğral et al., 2007)</i>	$0.2925 \pm 0.0040$
Z=92, U	$0.2933 \pm 0.0088$ $0.281 \pm 0.010$ $0.2762 \pm 0.0079$ $0.300 \pm 0.006$ $0.295 \pm 0.0089$ $0.286 \pm 0.032$ $0.3152 \pm 0.009$	<i>(Slivinsky and Ebert, 1969)</i> <i>(de Pinho, 1971)</i> <i>(McCrary et al., 1971)</i> <i>(Schmidt-Ott et al., 1972)</i> <i>(Slivinsky and Ebert, 1972b)</i> <i>(Ertuğral et al., 1997)</i> <i>(Ertuğral et al., 2007)</i>	$0.2941 \pm 0.0033$
Z=94, Pu	$0.2809 \pm 0.0080$ $0.308 \pm 0.008$	<i>(McCrary et al., 1971)</i> <i>(Schmidt-Ott et al., 1972)</i>	$0.2945 \pm 0.0057$
Z=96, Cm	$0.327 \pm 0.010$ $0.310 \pm 0.008$	<i>(Hansen et al., 1970a)</i> <i>(Schmidt-Ott et al., 1972)</i>	$0.3166 \pm 0.0062$

$K\alpha_2/K\alpha_1$			
Z, Élément	Références	$K\alpha_2/K\alpha_1 \pm \Delta$ ( $K\alpha_2/K\alpha_1$ )	$(\overline{K\alpha_2/K\alpha_1})_{WR} \pm \varepsilon$
Z=13, Al	(Perino et al., 2002)	0.53±0.27	0.53±0.27
Z=14, Si	(Perino et al., 2002)	0.50±0.15	0.50±0.15
Z=16, S	(Perino et al., 2002) (Kavčič et al., 2004)	0.52±0.11 0.4921±0.0027	0.4921±0.0027
Z=21, Sc	(Salem and Wimmer, 1970)	0.507±0.010	0.507±0.010
Z=22, Ti	(Salem and Wimmer, 1970)	0.502±0.010	0.502±0.010
Z=23, V	(Salem and Wimmer, 1970) (Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007)	0.507±0.010 0.5026±0.0013 0.5084±0.0009	0.5065±0.0007
Z=24, Cr	(Salem and Wimmer, 1970) (Gürol, 2008)	0.505±0.010 0.504±0.015	0.5047±0.0083
Z=25, Mn	(Salem and Wimmer, 1970) (Hölzer et al., 1997) (Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007)	0.500±0.010 0.51±0.026 0.5063±0.0016 0.5074±0.0009	0.5071±0.0008
Z=26, Fe	(Salem and Wimmer, 1970) (Mccrory et al., 1971) (Hölzer et al., 1997) (Gürol, 2008)	0.506±0.010 0.507±0.010 0.51±0.026 0.506±0.015	0.5066±0.0062
Z=27, Co	(Salem and Wimmer, 1970) (Hölzer et al., 1997) (Gürol, 2008)	0.502±0.010 0.52±0.026 0.510±0.015	0.5059±0.0079
Z=28, Ni	(Salem and Wimmer, 1970) (Hölzer et al., 1997) (Gürol, 2008) (Ménesguen et al., 2017)	0.507±0.010 0.52±0.026 0.507±0.015 0.5143±0.0007	0.5143±0.0007
Z=29, Cu	(Salem and Wimmer, 1970) (Mccrory et al., 1971) (Hölzer et al., 1997) (Gürol, 2008)	0.507±0.010 0.511±0.010 0.52±0.026 0.509±0.015	0.5096±0.0062
Z=30, Zn	(Salem and Wimmer, 1970) (Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007) (Gürol, 2008) (Ito et al., 2015)	0.513±0.010 0.5114±0.0014 0.5177±0.0008 0.511±0.015 0.5071±0.0018	0.5150±0.0006
Z=32, Ge	(Salem and Wimmer, 1970) (Mccrory et al., 1971)	0.512±0.010 0.506±0.010	0.5090±0.0071
Z=34, Se	(Mccrory et al., 1971) (Ito et al., 2020)	0.523±0.011 0.5178±0.0020	0.5180±0.0020
Z=35, Br	(Gürol, 2008)	0.523±0.016	0.523±0.016
Z=37, Rb	(Mccrory et al., 1971)	0.510±0.010	0.510±0.010
Z=38, Sr	(Salem and Wimmer, 1970)	0.521±0.010	0.521±0.010
Z=39, Y	(Salem and Wimmer, 1970) (Ito et al., 2020)	0.523±0.010 0.5223±0.0023	0.5223±0.0022
Z=40, Zr	(Salem and Wimmer, 1970) (Mccrory et al., 1971) (Ito et al., 2020)	0.524±0.010 0.523±0.011 0.5253±0.0027	0.5251±0.0025

## ANNEXES

Z=41, Nb	(Salem and Wimmer, 1970) (Gürol, 2008)	0.526±0.011 0.531±0.016	0.5276±0.0091
Z=42, Mo	(Salem and Wimmer, 1970) (Mccrory et al., 1971)	0.525±0.011 0.528±0.011	0.5265±0.0078
Z=43, Tc	(Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007)	0.5280±0.0020 0.5330±0.0007	0.5325±0.0007
Z=44, Ru	(Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007)	0.5253±0.0018 0.5331±0.0013	0.5304±0.0011
Z=45, Rh	(Salem and Wimmer, 1970) (Mccrory et al., 1971)	0.525±0.011 0.519±0.011	0.5220±0.0078
Z=46, Pd	(Salem and Wimmer, 1970)	0.526±0.011	0.526±0.011
Z=47, Ag	(Salem and Wimmer, 1970) (Mccrory et al., 1971) (Martins et al., 1989)	0.522±0.010 0.524±0.011 0.518±0.018	0.5222±0.0068
Z=48, Cd	(Salem and Wimmer, 1970) (Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007)	0.544±0.011 0.5277±0.0017 0.5329±0.0009	0.5318±0.0008
Z=49, In	(Salem and Wimmer, 1970) (Martins et al., 1989)	0.539±0.011 0.530±0.010	0.5341±0.0074
Z=50, Sn	(Salem and Wimmer, 1970) (Mccrory et al., 1971)	0.541±0.011 0.531±0.011	0.5360±0.0078
Z=51, Sb	(Nelson and Saunders, 1969)	0.517±0.021	0.5170±0.0210
Z=52, Te	(Nelson and Saunders, 1969) (Marques et al., 1987) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.527±0.021 0.509±0.010 0.516±0.039	0.5125±0.0088
Z=53, I	(Nelson and Saunders, 1969) (Mccrory et al., 1971) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.536±0.021 0.541±0.011 0.519±0.039	0.5387±0.0095
Z=54, Xe	(Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007)	0.5322±0.0016 0.5383±0.0007	0.5373±0.0006
Z=55, Cs	(Nelson and Saunders, 1969) (Marques et al., 1987) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Durak and Özdemir, 2000) (Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007)	0.540±0.022 0.522±0.009 0.542±0.041 0.540±0.032 0.5376±0.0012 0.5411±0.0009 0.5310±0.0015 0.5411±0.0009	0.5391±0.0005
Z=56, Ba	(Nelson and Saunders, 1969) (Mccrory et al., 1971) (Marques et al., 1987) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Yalçin, 2007) (Yalçin, 2007) (Gürol, 2008)	0.562 ±0.023 0.533±0.011 0.541±0.009 0.548±0.041 0.5319±0.0016 0.5463±0.0007 0.535±0.016	0.5439±0.0006
Z=57, La	(Nelson and Saunders, 1969) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Akman, 2016a)	0.564±0.023 0.553±0.041 0.592±0.014	0.5820±0.0115
Z=58, Ce	(Nelson and Saunders, 1969) (Mccrory et al., 1971) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.508±0.020 0.536±0.011 0.557±0.042	0.5343±0.0076

## ANNEXES

	(Akman, 2016a)	0.541±0.013	
Z=59, Pr	(Nelson and Saunders, 1969) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Durak and Özdemir, 2000) (Akman, 2016a)	0.530±0.021 0.569±0.043 0.543±0.024 0.583±0.020	0.5550±0.0119
Z=60. Nd	(Nelson and Saunders, 1969) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Durak et Ozdemir, 1998) (Durak and Özdemir, 2000) (Hajivaliei et al., 2000) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.532±0.021 0.573±0.043 0.552±0.031 0.548±0.018 0.57±0.04 0.546 ±0.006 0.527 ±0.015 0.527 ±0.015 0.541±0.016 0.548±0.019	0.5426±0.0044
Z=62, Sm	(Nelson and Saunders, 1969) (Mccrory et al., 1971) (Kasagi et al., 1986) (Stoev and Dlouhy, 1993) (Durak and Özdemir, 1998) (Durak and Özdemir, 2000) (Hajivaliei et al., 2000) (Ximeng et al., 2001) (Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.540±0.022 0.560±0.011 0.5542±0.0075 0.569±0.043 0.550±0.024 0.550±0.012 0.56±0.04 0.54±0.03 0.549±0.017 0.526±0.018	0.5514±0.0047
Z=63, Eu	(Nelson and Saunders, 1969) (Marques et al., 1987) (Durak and Özdemir, 1998) (Hajivaliei et al., 2000) (Ximeng et al., 2001) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.549±0.022 0.552±0.009 0.552±0.026 0.57±0.04 0.56±0.03 0.548 ±0.015 0.538 ±0.003 0.538 ±0.003 0.551±0.017 0.504±0.017	0.5389±0.0020
Z=64, Gd	(Nelson and Saunders, 1969) (Mccrory et al., 1971) (Mehta et al., 1986) (Durak and Özdemir, 1998) (Durak and Özdemir, 2000) (Hajivaliei et al., 2000) (Ximeng et al., 2001) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.569±0.023 0.550±0.011 0.517±0.029 0.553±0.027 0.553±0.028 0.56±0.04 0.58±0.03 0.528 ±0.005 0.506 ±0.006 0.507 ±0.006 0.553±0.017 0.539±0.020	0.5216±0.0029
Z=65, Tb	(Nelson and Saunders, 1969) (Durak and Özdemir, 2000) (Apaydin et al., 2008b) (Akman, 2016a)	0.562±0.023 0.555±0.030 0.543±0.026 0.578±0.023	0.5611±0.0125
Z=66, Dy	(Nelson and Saunders, 1969)	0.551±0.022	0.5187±0.0020

	(Mistry and Quarles, 1971a) (Durak and Özdemir, 1998) (Durak and Özdemir, 2000) (Hajivaliei et al., 2000) (Ximeng et al., 2001) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Apaydin et al., 2008b) (Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.54±0.05 0.556±0.021 0.558±0.014 0.56±0.04 0.62±0.03 0.537 ±0.030 0.516 ±0.003 0.516 ±0.003 0.557±0.027 0.556±0.017 0.573±0.026	
Z=67, Ho	(Nelson and Saunders, 1969) (Mccrary et al., 1971) (Deconninck and Longree, 1977) (Dost et al., 1981) (Kasagi et al., 1986) (Chand et al., 1988) (Chand et al., 1989) (Durak and Özdemir, 1998) (Durak and Özdemir, 2000) (Ximeng et al., 2001) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Apaydin et al., 2008b) (Gürol, 2008)	0.560±0.022 0.564±0.011 0.576±0.019 0.568±0.005 0.5586±0.0030 0.594±0.021 0.564±0.038 0.558±0.018 0.561±0.028 0.58±0.03 0.559 ±0.013 0.554 ±0.004 0.554 ±0.004 0.565±0.026 0.560±0.017	0.5587±0.0018
Z=68, Er	(Nelson and Saunders, 1969) (Durak and Özdemir, 1998) (Durak and Özdemir, 2000) (Hajivaliei et al., 2000) (Ximeng et al., 2001) (Apaydin et al., 2008b) (Akman, 2016a)	0.522±0.021 0.560±0.025 0.562±0.040 0.60±0.04 0.57±0.03 0.551±0.026 0.530±0.023	0.5476±0.0102
Z=69, Tm	(Nelson and Saunders, 1969) (Boehm, 1970) (Deconninck and Longree, 1977) (Dost et al., 1981) (Kasagi et al., 1986) (Mehta et al., 1986) (Marques et al., 1987) (Ertuğrul et al., 1997) (Apaydin et al., 2008b)	0.576±0.023 0.51±0.01 0.570±0.018 0.565±0.007 0.5681±0.0031 0.5728±0.0165 0.551±0.009 0.561±0.028 0.558±0.025	0.5628±0.0025
Z=70. Yb	(Nelson and Saunders, 1969) (Mccrary et al., 1971) (Campbell and Schulte, 1980) (Marques et al., 1987) (Mehta et al., 1987a) (Ertuğrul et al., 1997) (Durak and Özdemir, 1998) (Hajivaliei et al., 2000) (Apaydin et al., 2008b)	0.587±0.024 0.569±0.011 0.576 ± 0.006 0.560±0.009 0.554±0.015 0.561±0.033 0.563±0.021 0.56±0.04 0.608±0.031	0.5700±0.0041

## ANNEXES

Z=71, Lu	(Nelson and Saunders, 1969) (Deconninck and Longree, 1977) (Kasagi et al., 1986) (Mehta et al., 1987a) (Ertuğrul et al., 1997) (Apaydin et al., 2008b) (Sakar et al., 2017)	0.585±0.023 0.585±0.023 0.5698±0.0027 0.582±0.018 0.566±0.031 0.602±0.031 0.547±0.022	0.5703±0.0026
Z=72, Hf	(Nelson and Saunders, 1969) (Aylikci et al., 2007) (Apaydin et al., 2008b)	0.571±0.023 0.580±0.0261 0.589±0.026	0.5792±0.0144
Z=73, Ta	(Nelson and Saunders, 1969) (Middleman et al., 1970) (Mccrary et al., 1971) (Campbell and Schulte, 1980) (Kasagi et al., 1986) (Marques et al., 1987) (Ertuğrul et al., 1997) (Durak and Özdemir, 1998) (Bennal and Badiger, 2006) (Apaydin et al., 2008b)	0.554±0.022 0.63±0.03 0.575±0.011 0.582 ±0.006 0.5708±0.0027 0.571±0.009 0.573±0.023 0.570±0.023 0.573±0.004 0.601±0.031	0.5727±0.0020
Z=74, W	(Nelson and Saunders, 1969) (Deconninck and Longree, 1977) (Kasagi et al., 1986) (Saleh et al., 1989) (Ertuğrul et al., 1997) (Durak and Özdemir, 1998) (Apaydin et al., 2008b) (Cengiz et al., 2011) (Sakar et al., 2017)	0.578±0.023 0.568±0.022 0.5761±0.0028 0.543±0.027 0.574±0.029 0.572±0.020 0.617±0.033 0.548±0.033 0.545±0.022	0.5752±0.0027
Z=75, Re	(Nelson and Saunders, 1969) (Ertuğrul et al., 1997) (Apaydin et al., 2008b) (Cengiz et al., 2011)	0.587±0.024 0.580±0.026 0.599±0.033 0.613±0.037	0.5838±0.0176
Z=76, Os	(Nelson and Saunders, 1969) (Mehta et al., 1986) (Apaydin et al., 2008b) (Cengiz et al., 2011)	0.602±0.024 0.569±0.015 0.619±0.037 0.577±0.035	0.5820±0.0114
Z=77, Ir	(Nelson and Saunders, 1969) (Mccrary et al., 1971) (Apaydin et al., 2008b)	0.577±0.023 0.578±0.011 0.588±0.035	0.5786±0.0095
Z=78, Pt	(Nelson and Saunders, 1969) (Campbell and Schulte, 1980) (Mehta et al., 1986) (Marques et al., 1987) (Apaydin et al., 2008b) (Cengiz et al., 2011) (Anand et al., 2014)	0.563±0.023 0.591±0.015 0.575±0.011 0.577±0.009 0.574±0.02 0.584±0.035 0.597±0.010	0.5824±0.0050
Z=79, Au	(Nelson and Saunders, 1969) (Middleman et al., 1970) (de Pinho et al., 1971) (Mccrary et al., 1971) (Mistry and Quarles, 1971a)	0.585±0.023 0.63±0.03 0.57±0.03 0.584±0.012 0.60±0.03	0.5917±0.0016

	(Deconninck and Longree, 1977) (Helmer and Gehrke, 1979) (Dost et al., 1981) (Kasagi et al., 1986) (Chand et al., 1989) (Chand et al., 1989) (Saleh et al., 1989) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertuğrul et al., 1997) (Bennal and Badiger, 2006) (Apaydin et al., 2008b) (Cengiz et al., 2010) (Anand et al., 2014)	0.575±0.020 0.628±0.005 0.582±0.026 0.5862±0.0026 0.579±0.033 0.579±0.023 0.553±0.028 0.5908±0.0041 0.5934±0.0041 0.591±0.012 0.581±0.029 0.585±0.004 0.591±0.032 0.618±0.043 0.583±0.011	
Z=80, Hg	(Nelson and Saunders, 1969) (de Pinho et al., 1971) (Mehta et al., 1987b) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertuğrul et al., 1997) (Durak and Özdemir, 1998) (Yalçın, 2007) (Yalçın, 2007) (Apaydin et al., 2008b) (Sakar et al., 2017)	0.595±0.024 0.58±0.03 0.592±0.018 0.5939±0.0041 0.588 ±0.012 0.586±0.024 0.588±0.018 0.5792±0.0014 0.5921±0.0011 0.665±0.041 0.589±0.024	0.5875±0.0008
Z=81, Tl	(Nelson and Saunders, 1969) (Hansen et al., 1970b) (de Pinho et al., 1971) (Schmidtott et al., 1972) (Marques et al., 1987) (Saleh et al., 1989) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertuğrul et al., 1997) (Apaydin et al., 2008b) (Sreevidya et al., 2013) (Sreevidya et al., 2014) (Sakar et al., 2017)	0.574±0.023 0.580±0.030 0.585±0.025 0.589±0.008 0.600±0.009 0.562±0.028 0.5939±0.0041 0.5915±0.0041 0.589±0.012 0.587±0.036 0.637±0.032 0.609±0.041 0.609±0.009 0.579±0.023	0.5934±0.0024
Z=82, Pb	(Nelson and Saunders, 1969) (Hansen et al., 1970b) (de Pinho et al., 1971) (Mccrary et al., 1971) (Campbell and Schulte, 1980) (Dost et al., 1981) (Kasagi et al., 1986) (Saleh et al., 1989) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertuğrul et al., 1997)	0.596±0.024 0.588 ±0.030 0.59±0.03 0.589±0.012 0.597±0.010 0.592±0.003 0.5938±0.0026 0.583±0.029 0.5984±0.0042 0.5998±0.0043 0.594±0.012 0.589±0.020	0.5946±0.0014

ANNEXES

	(Durak and Özdemir, 1998) (Bennal and Badiger, 2006) (Apaydin et al., 2008b) (Anand et al., 2014) (Sakar et al., 2017)	0.593±0.019 0.594±0.003 0.606±0.042 0.596±0.010 0.595±0.024	
Z=83, Bi	(Nelson and Saunders, 1969) (Middleman et al., 1970) (de Pinho et al., 1971) (Mccrary et al., 1971) (Dost et al., 1981) (Saleh et al., 1989) (Ertuğrul et al., 1997) (Apaydin et al., 2008b)	0.599±0.024 0.67±0.03 0.593±0.025 0.596±0.012 0.613±0.006 0.582±0.029 0.594±0.022 0.590±0.041	0.6067±0.0049
Z=86, Rn	(de Pinho et al., 1971) (Yalçın, 2007) (Yalçın, 2007)	0.598±0.025 0.5837±0.0021 0.6183±0.0014	0.6076±0.0012
Z=88, Ra	(de Pinho et al., 1971)	0.593±0.025	0.593±0.025
Z=90, Th	(Nelson and Saunders, 1969) (de Pinho et al., 1971) (Mccrary et al., 1971) (Barreau and Borner, 1982) (Saleh et al., 1989) (Ertuğrul et al., 1997) (Apaydin et al., 2008b)	0.610±0.024 0.598±0.025 0.617±0.012 0.61±0.01 0.605±0.030 0.622±0.041 0.624±0.044	0.6117±0.0068
Z=91, Pa	(Barreau and Borner, 1982)	0.62±0.01	0.62±0.01
Z=92, U	(Nelson and Saunders, 1969) (de Pinho et al., 1971) (Mccrary et al., 1971) (Schmidtott et al., 1972) (Barreau and Borner, 1982) (Saleh et al., 1989) (Ertuğrul et al., 1997) (Apaydin et al., 2008b)	0.610±0.024 0.608±0.022 0.633±0.012 0.611±0.008 0.62±0.01 0.613±0.031 0.632±0.038 0.653±0.046	0.6180±0.0051
Z=93, Np	(Nelson and Saunders, 1969) (Barreau and Borner, 1982)	0.635±0.025 0.63±0.01	0.6307±0.0093
Z=94, Pu	(Nelson and Saunders, 1969) (Mccrary et al., 1971) (Schmidtott et al., 1972) (Barreau et Borner, 1982)	0.630±0.025 0.641±0.013 0.610±0.008 0.62±0.01	0.6195±0.0055
Z=95, Am	(Nelson and Saunders, 1969) (Barreau and Borner, 1982)	0.619±0.025 0.63±0.01	0.6285±0.0093
Z=96, Cm	(Hansen et al., 1970) (Dittner and Bemis, 1972) (Schmidtott et al., 1972) (Barreau and Borner, 1982)	0.626±0.006 0.632±0.006 0.627±0.008 0.65±0.01	0.6312±0.0035
Z=97, Bk	(Dittner and Bemis, 1972) (Barreau and Borner, 1982)	0.643±0.008 0.61±0.01	0.6301±0.0062
Z=98, Cf	(Dittner and Bemis, 1972) (Barreau and Borner, 1982)	0.657±0.008 0.64±0.01	0.6504±0.0062
Z=99, Es	(Dittner and Bemis, 1972)	0.666±0.011	0.666±0.011

$K\beta'_1/K\alpha_1$			
Z, Élément	Références	$K\beta'_1/K\alpha_1 \pm \Delta (K\beta'_1/K\alpha_1)$	$(\overline{K\beta'_1/K\alpha_1})_{WR} \pm \varepsilon$
Z=24, Cr	(Gürol, 2008)	0.176±0.0088	0.176±0.0088
Z=26, Fe	(Gürol, 2008)	0.180±0.0090	0.180±0.0090
Z=27, Co	(Gürol, 2008)	0.180±0.0090	0.180±0.0090
Z=28, Ni	(Gürol, 2008)	0.181±0.0091	0.181±0.0091
Z=29, Cu	(Gürol, 2008)	0.189±0.0095	0.189±0.0095
Z=30, Zn	(Gürol, 2008)	0.183±0.0092	0.183±0.0092
Z=35, Br	(Gürol, 2008)	0.213±0.011	0.213±0.011
Z=40, Zr	(Campbell, 2001)	0.252 ± 0.001	0.252 ± 0.001
Z=41, Nb	(Campbell, 2001) (Gürol, 2008)	0.258 ± 0.001 0.239±0.012	0.2579±0.0010
Z=42, Mo	(Campbell, 2001)	0.259 ± 0.001	0.259 ± 0.001
Z=44, Ru	(Campbell, 2001)	0.265 ± 0.002	0.265 ± 0.002
Z=45, Rh	(Campbell, 2001)	0.272 ± 0.002	0.272 ± 0.002
Z=46, Pd	(Campbell, 2001)	0.270 ± 0.003	0.270 ± 0.003
Z=47, Ag	(Martins et al., 1989) (Campbell, 2001)	0.2745±0.0055 0.272 ± 0.003	0.2726±0.0026
Z=48, Cd	(Campbell, 2001)	0.273 ± 0.004	0.273 ± 0.004
Z=49, In	(Martins et al., 1989) (Campbell, 2001)	0.2818±0.0028 0.279 ± 0.005	0.2811±0.0024
Z=50, Sn	(Campbell, 2001)	0.283 ± 0.006	0.283 ± 0.006
Z=52, Te	(Marques et al., 1987)	0.2833±0.0025	0.2833±0.0025
Z=55, Cs	(Martins et al., 1989) (Durak and Özdemir, 2000)	0.2919±0.0029 0.283±0.040	0.2919±0.0029
Z=56, Ba	(Martins et al., 1989) (Gürol, 2008)	0.2899±0.0029 0.289±0.014	0.2899±0.0028
Z=57, La	(Akman, 2016a)	0.313±0.013	0.313±0.013
Z=58, Ce	(Akman, 2016a)	0.289 ± 0.009	0.289 ± 0.009
Z=59, Pr	(Durak and Özdemir, 2000) (Akman, 2016a)	0.294±0.019 0.289 ± 0.009	0.2899±0.0081
Z=60, Nd	(Durak and Özdemir, 2000) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.298±0.024 0.296 ± 0.006 0.295 ± 0.015 0.295 ± 0.015 0.302±0.015 0.280 ± 0.011	0.2938±0.0044
Z=62, Sm	(Durak and Özdemir, 2000) (Ximeng et al., 2001) (Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.301±0.026 0.32±0.02 0.306±0.015 0.289 ± 0.011	0.2992±0.0077
Z=63, Eu	(Ximeng et al., 2001) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.34±0.03 0.297 ± 0.015 0.298 ± 0.003 0.298 ± 0.003 0.312±0.015 0.297±0.012	0.2982±0.0020
Z=64, Gd	(Durak and Özdemir, 2000) (Ximeng et al., 2001)	0.306±0.042 0.36±0.03	0.3025±0.0031

## ANNEXES

	(Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.305 ±0.005 0.301 ±0.006 0.301 ±0.006 0.314±0.016 0.293 ±0.012	
Z=65, Tb	(Durak and Özdemir, 2000) (Akman, 2016a)	0.309±0.032 0.314±0.011	0.3135±0.0104
Z=66, Dy	(Durak and Özdemir, 2000) (Ximeng et al., 2001) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.310±0.019 0.39±0.03 0.334 ±0.030 0.328 ±0.003 0.329 ±0.003 0.315±0.016 0.329 ±0.015	0.3281±0.0021
Z=67, Ho	(Deconninck and Longree, 1977) (Dost et al., 1981) (Chand et al., 1988) (Chand et al., 1989) (Durak and Özdemir, 2000) (Ximeng et al., 2001) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Demir and Şahin, 2007) (Gürol, 2008)	0.329±0.016 0.310±0.004 0.309±0.010 0.316±0.024 0.312±0.018 0.40 ±0.03 0.319 ±0.013 0.319 ±0.004 0.319 ±0.004 0.323±0.015	0.3161±0.0021
Z=68, Er	(Durak and Özdemir, 2000) (Ximeng et al., 2001)	0.314±0.041 0.38±0.03	0.3800±0.0300
Z=69, Tm	(Deconninck and Longree, 1977) (Dost et al., 1981) (Apaydin et al., 2008b)	0.335±0.017 0.309±0.005 0.330±0.016	0.3126±0.0046
Z=71, Lu	(Deconninck and Longree, 1977) (Sakar et al., 2017)	0.336±0.017 0.341±0.014	0.3390±0.0108
Z=74, W	(Deconninck and Longree, 1977) (Cengiz et al., 2011) (Sakar et al., 2017)	0.334±0.017 0.329±0.020 0.351±0.014	0.3407±0.0095
Z=75, Re	(Cengiz et al., 2011)	0.324±0.019	0.324±0.019
Z=76, Os	(Cengiz et al., 2011)	0.343±0.021	0.343±0.021
Z=78, Pt	(Cengiz et al., 2011) (Anand et al., 2014)	0.322±0.019 0.340±0.010	0.3361±0.0088
Z=79, Au	(de Pinho et al., 1971) (Deconninck and Longree, 1977) (Helmer and Gehrke, 1979) (Dost et al., 1981) (Chand et al., 1989) (Chand et al., 1989) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Cengiz et al., 2010) (Anand et al., 2014)	0.32±0.03 0.342±0.021 0.349±0.005 0.336±0.017 0.344±0.018 0.336±0.012 0.341±0.010 0.357±0.014 0.336±0.011	0.3447±0.0035
Z=80. Hg	(Beckman, 1958) (de Pinho et al., 1971) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Sakar et al., 2017)	0.40 0.336±0.031 0.3422±0.0031 0.345±0.010 0.338±0.014	0.3422±0.0029

## ANNEXES

Z=81, Tl	(Hansen et al., 1970b) (de Pinho et al., 1971) (Schmidtott et al., 1972) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Sreevidya et al., 2013) (Sreevidya et al., 2014) (Sakar et al., 2017)	0.366±0.017 0.339±0.024 0.344±0.008 0.3421±0.0031 0.3354±0.0033 0.354±0.011 0.360±0.032 0.358±0.011 0.340±0.014	0.3410±0.0021
Z=82, Pb	(Hansen et al., 1970b) (de Pinho et al., 1971) (Dost et al., 1981) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Anand et al., 2014) (Sakar et al., 2017)	0.363 ±0.017 0.337±0.029 0.343±0.006 0.3475±0.0031 0.3473±0.0031 0.356±0.011 0.330±0.008 0.334±0.013	0.3461±0.0019
Z=83, Bi	(de Pinho et al., 1971) (Dost et al., 1981)	0.343±0.022 0.347±0.005	0.3468±0.0049
Z=86, Rn	(de Pinho et al., 1971)	0.343±0.022	0.343±0.022
Z=88, Ra	(de Pinho et al., 1971)	0.348±0.022	0.348±0.022
Z=90, Th	(de Pinho et al., 1971)	0.347±0.022	0.347±0.022
Z=92, U	(de Pinho et al., 1971) (Schmidtott et al., 1972)	0.343±0.019 0.365±0.008	0.3617±0.0074
Z=94, Pu	(Schmidtott et al., 1972)	0.369±0.010	0.369±0.010
Z=96, Cm	(Hansen et al., 1970a) (Schmidtott et al., 1972)	0.397±0.010 0.372±0.009	0.3832±0.0067

$K\beta_2/K\alpha_1$			
Z, Élément	Références	$K\beta_2/K\alpha_1 \pm \Delta (K\alpha_2/K\alpha_1)$	$(\overline{K\beta_2/K\alpha_1})_{WR} \pm \varepsilon$
Z=30, Zn	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0106±0.0053	0.0106±0.0053
Z=31, Ga	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0056±0.0028	0.0056±0.0028
Z=32, Ge	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0051±0.0026	0.0051±0.0026
Z=33, As	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0143±0.0071	0.0143±0.0071
Z=34, Se	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0105±0.0008	0.0105±0.0008
Z=35, Br	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0128±0.0010	0.0128±0.0010
Z=37, Rb	(Mccrory et al., 1971) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.025±0.001 0.0185±0.0014	0.025±0.001
Z=38, Sr	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0233±0.0017	0.0233±0.0017
Z=39, Y	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0247±0.0019	0.0247±0.0019
Z=40, Zr	(Mccrory et al., 1971)	0.037±0.002	0.037±0.002
Z=41, Nb	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0235±0.0018	0.0235±0.0018
Z=42, Mo	(Mccrory et al., 1971) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.043±0.002 0.0289±0.0022	0.0366±0.0015
Z=45, Rh	(Mccrory et al., 1971) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.046±0.002 0.0317±0.0024	0.0401±0.0015
Z=46, Pd	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0317±0.0024	0.0317±0.0024
Z=47, Ag	(Mccrory et al., 1971) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.049±0.003 0.0314±0.0024	0.0383±0.0019
Z=48, Cd	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0466±0.0035	0.0466±0.0035
Z=49, In	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0500±0.0038	0.0500±0.0038
Z=50, Sn	(Mccrory et al., 1971) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.055±0.003 0.0537±0.0040	0.0545±0.0024
Z=51, Sb	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0560±0.0042	0.0560±0.0042
Z=52, Te	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0588±0.0044	0.0588±0.0044
Z=53, I	(Mccrory et al., 1971) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.060±0.003 0.0613±0.0046	0.0604±0.0025
Z=55, Cs	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0660±0.0050	0.0660±0.0050
Z=56, Ba	(Mccrory et al., 1971) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.071±0.004 0.0697±0.0052	0.0705±0.0032
Z=57, La	(Stoev and Dlouhy, 1993)	0.0712±0.0053	0.0712±0.0053
Z=58, Ce	(Mccrory et al., 1971) (Stoev and Dlouhy, 1993)	0.080±0.004 0.0629±0.0047	0.080±0.004
Z=60, Nd	(Hajivaliei et al., 2000)	0.071±0.0046	0.071±0.0046
Z=62, Sm	(Mccrory et al., 1971) (Hajivaliei et al., 2000)	0.075±0.004 0.081±0.0053	0.0772±0.0032
Z=63, Eu	(Hajivaliei et al., 2000)	0.091±0.0059	0.091±0.0059
Z=64, Gd	(Mccrory et al., 1971) (Hajivaliei et al., 2000)	0.087±0.004 0.075±0.0049	0.0822±0.0031
Z=65, Tb	(Apaydin et al., 2008b)	0.068±0.003	0.068±0.003
Z=66, Dy	(Hajivaliei et al., 2000) (Apaydin et al., 2008b)	0.089±0.0058 0.070±0.003	0.0740±0.0027
Z=67, Ho	(Mccrory et al., 1971) (Apaydin et al., 2008b)	0.088±0.005 0.073±0.003	0.073±0.003
Z=68, Er	(Hajivaliei et al., 2000) (Apaydin et al., 2008b)	0.10±0.007 0.080±0.004	0.080±0.004

## ANNEXES

Z=69, Tm	(Apaydin et al., 2008b)	0.071±0.004	0.071±0.004
Z=70, Yb	(Mccrory et al., 1971) (Mehta et al., 1987a) (Hajivaliei et al., 2000) (Apaydin et al., 2008b)	0.089±0.005 0.078±0.003 0.11±0.007 0.084±0.004	0.0818±0.0022
Z=71, Lu	(Mehta et al., 1987a) (Apaydin et al., 2008b)	0.089±0.003 0.088±0.004	0.0886±0.0024
Z=72, Hf	(Apaydin et al., 2008b)	0.088±0.004	0.088±0.004
Z=73, Ta	(Mccrory et al., 1971) (Apaydin et al., 2008b)	0.090±0.005 0.076±0.003	0.076±0.003
Z=74, W	(Saleh et al., 1989) (Apaydin et al., 2008b)	0.088±0.004 0.082±0.004	0.0850±0.0028
Z=75, Re	(Apaydin et al., 2008b)	0.088±0.004	0.088±0.004
Z=76, Os	(Mehta et al., 1986) (Apaydin et al., 2008b)	0.0825±0.0030 0.078±0.004	0.0809±0.0024
Z=77, Ir	(Mccrory et al., 1971) (Apaydin et al., 2008b)	0.096±0.005 0.079±0.004	0.079±0.004
Z=78, Pt	(Mehta et al., 1986) (Apaydin et al., 2008b) (Anand et al., 2014)	0.0922±0.0027 0.084±0.004 0.108±0.011	0.0896±0.0022
Z=79, Au	(Mccrory et al., 1971) (Saleh et al., 1989) (Apaydin et al., 2008b) (Anand et al., 2014)	0.098±0.005 0.097±0.005 0.091±0.004 0.089±0.015	0.0945±0.0026
Z=80, Hg	(Apaydin et al., 2008b)	0.096±0.005	0.096±0.005
Z=81, Tl	(Saleh et al., 1989) (Apaydin et al., 2008b)	0.099±0.005 0.085±0.004	0.0905±0.0031
Z=82, Pb	(Mccrory et al., 1971) (Campbell et al., 1986) (Saleh et al., 1989) (Apaydin et al., 2008b) (Anand et al., 2014)	0.098±0.005 0.083±0.001 0.100±0.005 0.087±0.004 0.085±0.01	0.0833±0.0010
Z=83, Bi	(Mccrory et al., 1971) (Saleh et al., 1989) (Apaydin et al., 2008b)	0.101±0.005 0.102±0.005 0.089±0.004	0.0960±0.0026
Z=90, Th	(Mccrory et al., 1971) (Saleh et al., 1989) (Apaydin et al., 2008b)	0.115±0.006 0.109±0.005 0.090±0.005	0.109±0.005
Z=92, U	(Mccrory et al., 1971) (Saleh et al., 1989) (Campbell et al., 1986) (Apaydin et al., 2008b)	0.113±0.006 0.110±0.006 0.0925 0.092±0.005	0.1115±0.0042
Z=94, Pu	(Mccrory et al., 1971)	0.120±0.006	0.120±0.006

$K\beta'_2/K\alpha_1$			
Z, Élément	Références	$K\beta'_2/K\alpha_1 \pm \Delta$ ( $K\beta'_2/K\alpha_1$ )	$(\overline{K\beta'_2/K\alpha_1})_{WR}$ $\pm \varepsilon$
Z=40, Zr	(Campbell, 2001)	0.0361 ± 0.0015	0.0361 ± 0.0015
Z=41, Nb	(Campbell, 2001)	0.0384 ± 0.0015	0.0384 ± 0.0015
Z=42, Mo	(Campbell, 2001)	0.0420 ± 0.0015	0.0420 ± 0.0015
Z=44, Ru	(Campbell, 2001)	0.0448 ± 0.0012	0.0448 ± 0.0012
Z=45, Rh	(Campbell, 2001)	0.0464 ± 0.0010	0.0464 ± 0.0010
Z=46, Pd	(Campbell, 2001)	0.0470 ± 0.0008	0.0470 ± 0.0008
Z=47, Ag	(Campbell, 2001)	0.0501 ± 0.0010	0.0501 ± 0.0010
Z=48, Cd	(Campbell, 2001)	0.0515 ± 0.0012	0.0515 ± 0.0012
Z=49, In	(Campbell, 2001)	0.0541±0.0012	0.0541±0.0012
Z=50, Sn	(Campbell, 2001)	0.0562 ± 0.0014	0.0562 ± 0.0014
Z=56, Ba	(Gürol, 2008)	0.0598±0.0030	0.0598±0.0030
Z=57, La	(Akman, 2016a)	0.074±0.003	0.074±0.003
Z=58, Ce	(Akman, 2016a)	0.075±0.002	0.075±0.002
Z=59, Pr	(Akman, 2016a)	0.075±0.002	0.075±0.002
Z=60, Nd	(Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.0718±0.0036 0.073±0.003	0.0725±0.0023
Z=62, Sm	(Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.0722±0.0036 0.066±0.002	0.0675±0.0017
Z=63, Eu	(Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.0713±0.0036 0.066±0.002	0.0673±0.0017
Z=64, Gd	(Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.0713±0.0036 0.075±0.003	0.0735±0.0023
Z=65, Tb	(Akman, 2016a)	0.075±0.003	0.075±0.003
Z=66, Dy	(Gürol, 2008) (Akman, 2016a)	0.0757±0.0038 0.080±0.004	0.0777±0.0028
Z=67, Ho	(Dost et al., 1981) (Chand et al., 1988) (Chand et al., 1989) (Gürol, 2008)	0.082±0.001 0.0764±0.0028 0.077±0.006 0.0766±0.0038	0.0810±0.0009
Z=69, Tm	(Dost et al., 1981) (Ertugrul and Simsek, 2002) (Akman, 2016a)	0.083±0.002 0.0802±0.0012 0.086±0.004	0.0813±0.0010
Z=70, Yb	(Ertugrul and Simsek, 2002)	0.0837±0.0013	0.0837±0.0013
Z=71, Lu	(Ertugrul and Simsek, 2002) (Sakar et al., 2017)	0.0861±0.0022 0.076 ±0.003	0.0826±0.0018
Z=73, Ta	(Ertugrul and Simsek, 2002)	0.0862±0.0022	0.0862±0.0022
Z=74, W	(Ertugrul and Simsek, 2002) (Cengiz et al., 2011) (Sakar et al., 2017)	0.0910±0.0018 0.0806±0.0048 0.091±0.004	0.0910±0.0016
Z=75, Re	(Ertugrul and Simsek, 2002) (Cengiz et al., 2011)	0.0976±0.0023 0.0927±0.0056	0.0969±0.0021
Z=76, Os	(Cengiz et al., 2011)	0.0861±0.0052	0.0861±0.0052
Z=78, Pt	(Cengiz et al., 2011)	0.0886±0.0053	0.0886±0.0053
Z=79, Au	(Helmer and Gehrke, 1979) (Dost et al., 1981) (Chand et al., 1989) (Chand et al., 1989)	0.0982±0.0013 0.090±0.014 0.0972±0.0077 0.0969±0.0037	0.0976±0.0006

## ANNEXES

	(Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertugrul and Simsek, 2002) (Cengiz et al., 2010)	0.0954±0.0011 0.0996±0.0011 0.1008±0.0032 0.0976±0.0023 0.091±0.004	
Z=80, Hg	(Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertugrul and Simsek, 2002) (Sakar et al., 2017)	0.1010±0.0011 0.1062±0.0034 0.0981±0.0023 0.096±0.004	0.1006±0.0009
Z=81, Tl	(Hansen et al., 1970b) (Schmidtott et al., 1972) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertugrul and Simsek, 2002) (Sakar et al., 2017)	0.101±0.005 0.102±0.004 0.1032±0.0011 0.1023±0.0015 0.1027 ±0.0033 0.1011±0.0034 0.099±0.004	0.1025±0.0008
Z=82, Pb	(Hansen et al., 1970b) (Dost et al., 1981) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertugrul and Simsek, 2002) (Sakar et al., 2017)	0.103 ±0.005 0.105±0.004 0.1056±0.0012 0.1043±0.0012 0.1053±0.0034 0.1086±0.0035 0.094±0.004	0.1051±0.0008
Z=83, Bi	(Dost et al., 1981) (Ertugrul and Simsek, 2002)	0.108±0.001 0.1086±0.0035	0.1080±0.0010
Z=86, Rn	(de Pinho et al., 1971)	0.084±0.007	0.084±0.007
Z=88, Ra	(de Pinho et al., 1971)	0.086±0.007	0.086±0.007
Z=90, Th	(de Pinho et al., 1971) (Ertugrul and Simsek, 2002)	0.086±0.007 0.1142±0.0047	0.1142±0.0047
Z=92, U	(de Pinho et al., 1971) (Schmidtott et al., 1972) (Ertugrul and Simsek, 2002)	0.090±0.006 0.125±0.004 0.1258±0.0059	0.1253±0.0033
Z=94, Pu	(Schmidtott et al., 1972)	0.127±0.004	0.127±0.004
Z=96, Cm	(Hansen et al., 1970) (Schmidtott et al., 1972)	0.133±0.005 0.133±0.005	0.1330±0.0035

$K\beta'_2/K\beta'_1$			
Z, Élément	Références	$K\beta'_2/K\beta'_1 \pm \Delta$ ( $K\beta'_2/K\beta'_1$ )	$(\overline{K\beta'_2/K\beta'_1})_{WR} \pm \epsilon$
Z=40, Zr	(Campbell, 2001)	$0.1430 \pm 0.006$	$0.1430 \pm 0.006$
Z=41, Nb	(Campbell, 2001)	$0.1490 \pm 0.0054$	$0.1490 \pm 0.0054$
Z=42, Mo	(Yamoto et al., 1985) (Yamoto et al., 1985) (Yamoto et al., 1985) (Padhi and Dhal, 1995) (Campbell, 2001)	$0.1523 \pm 0.0084$ $0.1582 \pm 0.0022$ $0.1652 \pm 0.0007$ $0.1538 \pm 0.0008$ $0.1624 \pm 0.005$	$0.1601 \pm 0.0005$
Z=43, Tc	(Yamoto et al., 1985) (Yamoto et al., 1985)	$0.1665 \pm 0.0025$ $0.1708 \pm 0.0010$	$0.1702 \pm 0.0009$
Z=44, Ru	(Padhi and Dhal, 1995) (Campbell, 2001)	$0.1596 \pm 0.0008$ $0.1693 \pm 0.0041$	$0.1600 \pm 0.0008$
Z=45, Rh	(Padhi and Dhal, 1995) (Campbell, 2001)	$0.1648 \pm 0.0006$ $0.1708 \pm 0.0036$	$0.1650 \pm 0.0006$
Z=46, Pd	(Padhi and Dhal, 1995) (Campbell, 2001)	$0.1671 \pm 0.0008$ $0.1739 \pm 0.003$	$0.1676 \pm 0.0008$
Z=47, Ag	(Dhal and Padhi, 1974) (Martins et al., 1989) (Campbell, 2001)	$0.1752 \pm 0.0006$ $0.1840 \pm 0.0018$ $0.1841 \pm 0.0027$	$0.1764 \pm 0.0006$
Z=48, Cd	(Dhal and Padhi, 1974) (Campbell, 2001)	$0.1796 \pm 0.0006$ $0.1884 \pm 0.0028$	$0.1800 \pm 0.0006$
Z=49, In	(Martins et al., 1989) (Campbell, 2001)	$0.1951 \pm 0.0018$ $0.1941 \pm 0.0012$	$0.1944 \pm 0.0010$
Z=50, Sn	(Dhal and Padhi, 1974) (Campbell, 2001)	$0.191 \pm 0.001$ $0.1989 \pm 0.0013$	$0.1939 \pm 0.0008$
Z=52, Te	(Martins et al., 1989)	$0.2153 \pm 0.0021$	$0.2153 \pm 0.0021$
Z=53, I	(Chand et al., 1989)	$0.230 \pm 0.014$	$0.230 \pm 0.014$
Z=55, Cs	(Mehta et al., 1987b) (Chand et al., 1988) (Martins et al., 1989)	$0.245 \pm 0.009$ $0.23 \pm 0.03$ $0.2525 \pm 0.0023$	$0.2519 \pm 0.0022$
Z=56, Ba	(Chand et al., 1988) (Martins et al., 1989)	$0.229 \pm 0.011$ $0.2530 \pm 0.0025$	$0.2518 \pm 0.0024$
Z=62, Sm	(Ximeng et al., 2001)	$0.24 \pm 0.02$	$0.24 \pm 0.02$
Z=63, Eu	(Ximeng et al., 2001)	$0.26 \pm 0.02$	$0.26 \pm 0.02$
Z=64, Gd	(Ximeng et al., 2001)	$0.31 \pm 0.02$	$0.31 \pm 0.02$
Z=66, Dy	(Ximeng et al., 2001)	$0.31 \pm 0.02$	$0.31 \pm 0.02$
Z=67, Ho	(Dost et al., 1981) (Chand et al., 1988) (Chand et al., 1989) (Ximeng et al., 2001)	$0.26 \pm 0.007$ $0.247 \pm 0.009$ $0.24 \pm 0.02$ $0.33 \pm 0.02$	$0.2540 \pm 0.0053$
Z=69, Tm	(Dost et al., 1981) (Ertugrul and Simsek, 2002)	$0.27 \pm 0.01$ $0.249 \pm 0.015$	$0.2635 \pm 0.0083$
Z=70, Yb	(Hajivaliei et al., 2000)	$0.257 \pm 0.012$	$0.257 \pm 0.012$
Z=71, Lu	(Ertugrul and Simsek, 2002)	$0.264 \pm 0.013$	$0.264 \pm 0.013$
Z=73, Ta	(Middleman et al., 1970) (Ertugrul and Simsek, 2002)	$0.25 \pm 0.01$ $0.264 \pm 0.013$	$0.2552 \pm 0.0079$
Z=74, W	(Ertugrul and Simsek, 2002)	$0.265 \pm 0.016$	$0.265 \pm 0.016$
Z=75, Re	(Ertugrul and Simsek, 2002)	$0.276 \pm 0.017$	$0.276 \pm 0.017$

## ANNEXES

Z=79, Au	(Middleman et al., 1970) (Dost et al., 1981) (Chand et al., 1989) (Chand et al., 1989) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertugrul and Simsek, 2002)	0.28±0.01 0.27±0.055 0.282±0.021 0.288±0.010 0.287±0.012 0.289±0.017	0.2849±0.0055
Z=80, Hg	(Mehta et al., 1987b) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertugrul and Simsek, 2002)	0.286±0.012 0.2964±0.0059 0.291±0.018	0.2941±0.0051
Z=81, Tl	(Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertugrul and Simsek, 2002)	0.3030±0.0062 0.295±0.018	0.3022±0.0059
Z=82, Pb	(Dost et al., 1981) (Dasmahapatra and Mukherjee, 1995) (Ertugrul and Simsek, 2002)	0.306±0.017 0.3020±0.0061 0.315±0.021	0.3033±0.0055
Z=83, Bi	(Middleman et al., 1970) (Dost et al., 1981) (Ertugrul and Simsek, 2002)	0.29±0.01 0.311±0.007 0.324±0.026	0.3050±0.0056
Z=86, Rn	(de Pinho et al., 1971)	0.24±0.04	0.24±0.04
Z=88, Ra	(de Pinho et al., 1971)	0.25±0.04	0.25±0.04
Z=90, Th	(de Pinho et al., 1971) (Ertugrul and Simsek, 2002)	0.25±0.04 0.327±0.028	0.327±0.028
Z=92, U	(de Pinho et al., 1971) (Ertugrul and Simsek, 2002)	0.26±0.03 0.347±0.032	0.3007±0.0219

$K\beta_3 / K\beta_1$			
Z, Élément	Références	$K\beta_3 / K\beta_1 \pm \Delta(K\beta_3 / K\beta_1)$	$(\overline{K\beta_3 / K\beta_1})_{WR} \pm \varepsilon$
Z=39, Y	(Ito et al., 2020)	0.526±0.018	0.526±0.018
Z=40, Zr	(Ito et al., 2020)	0.5049±0.0060	0.5049±0.0060
Z=42, Mo	(Ramos et al., 1977)	0.512±0.012	0.512±0.012
Z=46, Pd	(Ramos et al., 1977)	0.511±0.010	0.511±0.010
Z=47, Ag	(Ramos et al., 1977)	0.511±0.012	0.511±0.012
Z=48, Cd	(Ramos et al., 1977)	0.513±0.027	0.513±0.027
Z=49, In	(Salem et al., 1970) (Ramos et al., 1977)	0.514±0.010 0.504±0.023	0.5124±0.0092
Z=50, Sn	(Salem et al., 1970) (Ramos et al., 1977)	0.514±0.010 0.512±0.014	0.5133±0.0081
Z=51, Sb	(Ramos et al., 1977)	0.513±0.022	0.513±0.022
Z=52, Te	(Salem et al., 1970) (Ramos et al., 1977)	0.515±0.010 0.515±0.044	0.5150±0.0098
Z=58, Ce	(Salem et al., 1970)	0.519±0.010	0.519±0.010
Z=65, Tb	(Salem et al., 1970)	0.522±0.010	0.522±0.010
Z=70, Yb	(Campbell and Schulte, 1980)	0.5152±0.0035	0.5152±0.0035
Z=73, Ta	(Salem et al., 1970)	0.527±0.011	0.527±0.011
Z=75, Re	(Salem et al., 1970)	0.529±0.011	0.529±0.011
Z=78, Pt	(Maxwell and Campbell, 1984)	0.5119±0.0014	0.5119±0.0014
Z=79, Au	(Salem et al., 1970)	0.531±0.011	0.531±0.011
Z=80, Hg	(Beckman, 1958) (De Pinho et al., 1971)	0.492 0.50±0.09	0.50±0.09
Z=81, Tl	(de Pinho et al., 1971)	0.514±0.071	0.514±0.071
Z=82, Pb	(Salem et al., 1970) (de Pinho et al., 1971) (Maxwell and Campbell, 1984)	0.534±0.016 0.50±0.09 0.5124±0.0011	0.5125±0.0011
Z=83, Bi	(de Pinho et al., 1971)	0.527±0.065	0.527±0.065
Z=86, Rn	(de Pinho et al., 1971)	0.527±0.065	0.527±0.065
Z=88, Ra	(de Pinho et al., 1971)	0.516±0.063	0.516±0.063
Z=90, Th	(Salem et al., 1970) (de Pinho et al., 1971) (Barreau and Borner, 1982)	0.540±0.016 0.507±0.063 0.53±0.080	0.5377±0.0152
Z=91, Pa	(Barreau and Borner, 1982)	0.55±0.070	0.55±0.070
Z=92, U	(Salem et al., 1970) (de Pinho et al., 1971) (Barreau and Borner, 1982) (Maxwell and Campbell, 1984)	0.543±0.016 0.523±0.056 0.46±0.061 0.5080±0.0007	0.5081±0.0007
Z=93, Np	(Salem et al., 1970) (Barreau and Borner, 1982)	0.544±0.016 0.48±0.064	0.5440±0.0160
Z=94, Pu	(Salem et al., 1970) (Barreau and Borner, 1982)	0.545±0.016 0.50±0.068	0.5426±0.0156
Z=95, Am	(Salem et al., 1970) (Barreau and Borner, 1982)	0.546±0.016 0.45±0.066	0.5460±0.0160
Z=96, Cm	(Dittner and Bemis, 1972) (Barreau and Borner, 1982)	0.49±0.02 0.52±0.073	0.4921±0.0193
Z=97, Bk	(Dittner and Bemis, 1972)	0.57±0.04	0.5798±0.0347

*ANNEXES*

---

	(Barreau and Borner, 1982)	0.61±0.070	
Z=98, Cf	(Dittner and Bemis, 1972)	0.51±0.04	0.51±0.04
Z=99, Es	(Dittner and Bemis, 1972)	0.55±0.05	0.55±0.05

# Conclusion

Le travail de recherche mené dans le cadre de cette thèse a pour ambition principale d'apporter une contribution à l'étude des rapports d'intensité des rayons X issus des couches K. En effet, la connaissance de ces rapports est cruciale pour le domaine de l'ionisation des couches atomiques internes. Notre travail de thèse peut être divisé en deux étapes. Dans la première, nous avons procédé à la collection et à l'examen minutieux des valeurs de rapports d'intensité déterminés expérimentalement par différents groupes de recherche. La seconde étape est consacrée à la détermination de nouvelles valeurs de rapports d'intensités basées sur un modèle semi-empirique, ainsi que d'autres déterminées de façon théorique utilisant la méthode multi-configurationnelle de Dirac-Fock (MCDF), fournissant ainsi une base de données massive et une archive fiable pour les chercheurs dans le domaine des processus d'ionisation de la couche interne atomique.

Dans la première partie de ce travail, plus de 2800 valeurs concernant 7 rapports d'intensité de rayons X issus de couches K ( $K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$ ) pour des éléments appartenant à l'intervalle  $11 \leq Z \leq 99$  obtenus à partir de diverses sources (photons, protons, deutons, particules alpha et électrons) publiées entre 1969 et 2020 ont été examinées et présentées sous forme de 7 tableaux. Comme les mesures d'intensité des rayons X ainsi que leurs incertitudes correspondantes ne sont pas toujours rapportées de la même manière par les chercheurs, nous avons, selon chaque cas, adapté la formule utilisée pour déterminer le rapport d'intensité ainsi que l'écart type. Après cela, la valeur moyenne pondérée de chaque élément a été calculée pour les 7 rapports d'intensités, puis incluse dans les tableaux mentionnés précédemment. Ces valeurs ont par la suite servi au calcul semi-empirique des rapports d'intensité.

L'analyse de près des mesures collectées nous a permis de tirer un nombre de conclusions. En effet, en représentant la variation des nombres de données en fonction du nombre atomique  $Z$ , nous avons pu déterminer les matériaux les plus fréquemment mesurés. Ceux-ci sont les métaux et les éléments avec  $Z$  compris entre  $22 \leq Z \leq 30$ , notamment le nickel ( $_{28}\text{Ni}$ ) et le cuivre ( $_{29}\text{Cu}$ ) pour le rapport  $K\beta/K\alpha$ . En revanche, pour les autres rapports d'intensité, c'est plutôt les éléments avec  $Z$  compris entre  $55 \leq Z \leq 92$  qui possèdent le nombre de mesures le plus élevé, les éléments les plus récurrents étant le  $_{67}\text{Ho}$ ,  $_{79}\text{Au}$ ,  $_{81}\text{Tl}$ ,  $_{82}\text{Pb}$  et  $_{92}\text{U}$ . De plus, hormis le  $K\alpha_2/K\alpha_1$  et  $K\beta'_1/K\alpha_1$ , les mesures pour les éléments avec un  $Z < 30$  de tous les autres rapports d'intensité sont inexistantes. La représentation de la variation des nombres de données en fonction de l'année de parution du papier original a permis de localiser quelles ont été les périodes les plus fructueuses en termes de mesures de rapports d'intensité. De façon générale, les mesures expérimentales pour ce type de paramètres atomiques était très populaire dans la décennie 1969-1979, les années les plus riches en données étant 1971, 1972, 1974 et 1977. Il s'en est suivi une diminution de mesures dans les années (1980-2000). Toutefois, avec le développement des appareils de mesures et de détection, un retour en force en matière de mesures de rapports d'intensité des rayons X s'est fait sentir au cours des vingt dernières années, prouvant ainsi que ce domaine suscite toujours autant l'intérêt de nombreux chercheurs.

Le calcul des rapports d'intensité expérimentaux ( $R$ )<sub>EXP</sub> par rapport à la valeur moyenne pondérée pour chaque élément :  $S = (R)_{\text{EXP}} / (R)_W$ , puis sa représentation en fonction du numéro atomique  $Z$  a permis non seulement de localiser les mesures expérimentales les plus éloignées des valeurs moyennes pondérées mais aussi de pouvoir s'en affranchir ultérieurement, et ce pour les 6 rapports d'intensité suivants :  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$ . Néanmoins, rappelons qu'en

## CONCLUSION

---

raison de l'immense nombre de valeurs expérimentales traitées dans ce travail, il est tout à fait normal qu'une telle dispersion existe.

Dans le but d'obtenir des valeurs théoriques des rapports d'intensité des rayons X issus des couches K, nous avons utilisé le code de calcul MCDFGME. Ce dernier repose sur la méthode multi-configurationnelle de Dirac-Fock (MCDF). Les valeurs obtenues sont exclusives et concernent 20 éléments du tableau périodique. En général, il existe de nombreux niveaux initiaux appartenant à une même configuration et les rendements de fluorescence dans les équations utilisées pour calculer les rapports d'intensité ne s'annulent pas puisqu'ils sont à l'intérieur des sommations. Cela signifie que nous aurions dû également calculer les transitions Auger pour obtenir les valeurs de rendement de fluorescence  $\omega_i$ . Cependant, celles-ci varient très peu dans chaque configuration et n'affectent pas le rapport des intensités. Ainsi, avec une bonne approximation, nous avons seulement eu besoin de calculer les taux de transition radiative.

Aussi, de nouvelles valeurs semi-empiriques concernant les 7 rapports d'intensité considérés dans ce travail pour les éléments compris entre  $11 \leq Z \leq 96$  ont été déterminées. Cela a été effectué à l'aide d'une procédure d'interpolation qui implique l'ajustement de la fonction analytique  $[(R)_W/(1 - (R)_W)]^{1/4}$  en fonction du numéro atomique  $Z$ . En effet, l'utilisation de cette formule est devenue très populaire au sein de la communauté des chercheurs en physique atomique depuis qu'elle a été démontrée pour la première fois par Wentzel (1927) dans le cas des mesures expérimentales de rendements de fluorescence de la couche K. Toutefois, il a fallu attendre jusqu'en 2011 pour que cette formule soit appliquée aux rapports d'intensité des rayons X, et cela grâce aux travaux de Kup Aylikci et al. (2011) sur les éléments compris entre  $23 \leq Z \leq 30$ . Faisant de même, nous avons pu déterminer des valeurs empiriques des rapports d'intensité des rayons X de la couche K. Cependant, contrairement à Kup Aylikci et al. (2011) qui se sont servi des valeurs théoriques de Scofield (1974b) pour obtenir des valeurs semi-empiriques, nous avons obtenu ceux-ci en utilisant les valeurs moyennes pondérées calculées dans ce travail. En d'autres termes, nous avons réalisé l'ajustement des valeurs expérimentales par rapport aux valeurs pondérées  $S = (R)_{\text{EXP}}/(R)_W$ , puis nous avons combiné les deux équations ensemble afin d'obtenir les résultats souhaités, soit les valeurs semi-empiriques des rapports  $K\beta/K\alpha$ ,  $K\alpha_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$ .

Finalement, les résultats théoriques et semi-empiriques obtenus dans ce travail ont été tracés en fonction de  $Z$ , en même temps que d'autres valeurs théoriques, empiriques, semi-empiriques et expérimentales existantes dans la littérature. Le but étant d'effectuer une comparaison entre les différentes valeurs, afin de valider l'efficacité du modèle semi-empirique et du code MCDFGME utilisé. A l'exception du rapport  $K\beta_2/K\alpha_1$  où les valeurs semi-empiriques pour les éléments avec un nombre atomique élevé sont nettement supérieures aux valeurs théoriques, force est de constater qu'il existe un très bon accord entre les différentes valeurs représentées, que ce soit entre nos résultats théoriques et semi-empiriques, ou bien entre nos résultats et ceux obtenus par les autres auteurs.

Par ailleurs, les calculs obtenus dans ce travail pour les rapports  $K\beta'_1/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\alpha_1$ ,  $K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$  sont complémentaires, c'est-à-dire que l'absence de valeurs semi-empiriques dans des régions à faible  $Z$  faute de mesures expérimentales est complétée par les valeurs théoriques calculées par le code MCDFGME dans cette même région. En effet, la transition  $K\beta$  est difficilement observable par certains détecteurs, c'est pourquoi les données expérimentales pour les éléments à faible  $Z$  sont rares voire inexistantes comparées à celles des éléments à  $Z$  moyen et lourd. En outre, la dispersion des mesures expérimentales observée pour le rapport  $K\alpha_2/K\alpha_1$  rappelle l'importance de disposer de calculs fiables sur lesquelles on peut se référer, comme ceux que nous présentons dans ce travail.

### Abstract

The work of this thesis tabulates 7 experimental K shell X ray intensity ratios that is  $R = K\beta/K\alpha, K\alpha_2/K\alpha_1, K\beta'_1/K\alpha_1, K\beta_2/K\alpha_1, K\beta'_2/K\alpha_1, K\beta'_2/K\beta'_1$  and  $K\beta_3/K\beta_1$  obtained from various sources for elements ranging from  $_{11}\text{Na}$  to  $_{99}\text{Es}$ , when bombarded with photons, protons, deuterons, alpha particles and electrons. More than 2800 experimental K shell X-ray intensity ratios published between 1969 and 2020 are summarized in a table. A thorough analysis of these data is provided, as well as a table with weighted average intensity ratio values  $(R)_W$ . Subsequently, new semi-empirical average K shell X-ray intensity ratios for elements in the range  $11 \leq Z \leq 96$  have been determined using an interpolation procedure which involves the analytical function  $[(R)_W/(1 - (R)_W)]^{1/4}$  as a function of the atomic number  $Z$  and then fitting the experimental to weighted average ratios  $S = (R)_{\text{EXP}}/(R)_W$ . Furthermore, new theoretical calculations based on the Multiconfiguration Dirac-Fock Method was performed for some elements and are presented in this work. A comparison was made with other theoretical, experimental, and empirical values reported in the literature.

**Keywords:** X-rays, fundamental atomic parameters, intensity ratios, weighted average values, semi-empirical and MCDF calculation.

### Résumé

Le travail de cette thèse compile 7 rapports d'intensité expérimentaux de rayons X issus de la couche K qui sont  $R = K\beta/K\alpha, K\alpha_2/K\alpha_1, K\beta'_1/K\alpha_1, K\beta_2/K\alpha_1, K\beta'_2/K\alpha_1, K\beta'_2/K\beta'_1$  et  $K\beta_3/K\beta_1$  obtenus à partir de diverses sources pour des éléments allant de  $_{11}\text{Na}$  à  $_{99}\text{Es}$ , lorsqu'ils sont bombardés par des photons, des protons, des deutons, des particules alpha et des électrons. Plus de 2800 rapports d'intensité des rayons X issus de la couche K publiés entre 1969 et 2020 sont résumés dans un tableau. Une analyse approfondie de ces données est fournie, ainsi qu'un tableau avec les valeurs moyennes pondérées des rapports d'intensité  $(R)_W$ . Par la suite, de nouveaux rapports moyens semi-empiriques d'intensité de rayons X de la couche K pour les éléments compris dans la région  $11 \leq Z \leq 96$  ont été déterminés à l'aide d'une procédure d'interpolation qui implique la fonction analytique  $[(R)_W/(1 - (R)_W)]^{1/4}$  en fonction du numéro atomique  $Z$ , puis en réalisant l'ajustement des valeurs expérimentales par rapport aux valeurs pondérées  $S = (R)_{\text{EXP}}/(R)_W$ . De plus, de nouveaux calculs théoriques basés sur la méthode multi-configurationnelle Dirac-Fock ont été effectués pour certains éléments et sont présentés dans ce travail. Une comparaison a été réalisée avec d'autres valeurs théoriques, expérimentales et empiriques rapportées dans la littérature.

**Mots clés :** Rayons X, paramètres atomiques fondamentaux, rapports d'intensité, valeurs moyennes pondérées, calcul semi-empirique et MCDF.

### ملخص

هذه الأطروحة تجدرول 7 نسب تجريبية لشدة الأشعة السينية X الناتجة من الطبقات K وهي  $R = K\beta/K\alpha, K\alpha_2/K\alpha_1, K\beta'_1/K\alpha_1, K\beta_2/K\alpha_1, K\beta'_2/K\alpha_1, K\beta'_2/K\beta'_1$  و  $K\beta_3/K\beta_1$  المتحصل عليها من مصادر مختلفة، لعناصر تتراوح من  $_{11}\text{Na}$  إلى  $_{99}\text{Es}$ ، عند قصفها بالفوتونات والبروتونات والديوترونات وجسيمات ألفا والإلكترونات. تم تلخيص أكثر من 2800 نسبة تجريبية لشدة الأشعة السينية X الناتجة من الطبقات K المنشورة بين عامي 1969 و 2020 في جدول. ويرد تحليل شامل لهذه البيانات، بالإضافة إلى جدول بقيم نسبة الشدة المتوسطة المرجحة  $(R)_W$ . بعد ذلك، تم تحديد قيم متوسطة شبه تجريبية جديدة لنسب شدة الأشعة السينية X للطبقات K للعناصر الموجودة في النطاق  $11 \leq Z \leq 96$  باستخدام إجراء الاستيفاء الذي يتضمن الدالة التحليلية  $[(R)_W/(1 - (R)_W)]^{1/4}$  كدالة للرقم الذري  $Z$  ومن ثم إجراء مطابقة (fit) للقيم التجريبية بالنسبة للقيم المتوسطة المرجحة  $S = (R)_{\text{EXP}}/(R)_W$ . علاوة على ذلك، تم إجراء حسابات نظرية جديدة تعتمد على طريقة Dirac-Fock المتعددة التكوين لبعض العناصر وتم تقديمها في هذا العمل. كما تم القيام بمقارنة مع القيم النظرية والتجريبية الأخرى الواردة في الأدبيات.

**الكلمات المفتاحية:** الأشعة السينية X، المعاملات الذرية الأساسية، نسب الشدة، القيم المتوسطة المرجحة، الحساب شبه التجريبي، MCDF.