



FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

MEMOIRE PRESENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER 2 EN PHYSIQUE

OPTION

Physique des matériaux

**Recyclage de plomb pour l'application
radioprotection**

Présenté par : ABDEDOU Akram

MOUHEB Lina

Devant le jury :

Président : Mr. TOUKA Nassim M.C.A Univ. Bouira

Rapporteur : Mr. BOUHDJER Lazhar M.C.A Univ. Bouira

Examineurs : Mr. ZERIRGUI Djamel M.C.B Univ. Bouira

Mr. ZAHAM Bouzid M.C.B Univ. Bouira

La Soutenance aura lieu le 02/07/2024 à 09h00h

Sommaire :

Introduction générale :	3
Chapitre 1 :	6
1 Introduction :	6
1.1 Rayonnements particuliers :	6
1.2 Rayonnements électromagnétique :	6
1.3 Rayonnement non-ionisant :	6
1.4 Rayonnement ionisants :	7
2 Les rayons X :	7
2.1 Caractéristiques des rayons X :	7
2.1.1 Nature :	7
2.1.2 Pénétration :	7
2.1.3 Interaction avec la matière :	7
2.2 Production des RX :	7
2.2.1 Tube à rayon X :	7
2.2.2 Procès de production :	8
2.2.3 Filtrage et collimation :	9
2.2.4 Contrôle de l'exposition :	9
2.2.5 Intensité du rayonnement :	9
3 Les matières :	9
3.1 Solides :	9
3.2 Liquides :	9
3.3 Les gaz :	10
3.4 Les plasmas :	10
4 Les solides :	10
4.1 Structure atomique :	10
4.2 Propriétés physique :	10
4.3 Classification des solides :	10
4.3.1 Solides cristallins :	10
4.3.2 Solide Amorphes :	11
5 Interactions rayonnements-matière :	11
5.1 Absorption :	11
5.2 Diffusion :	12
5.3 Transmission :	12
5.4 Effet photoélectrique et diffusion Compton :	12
5.5 Contraste et résolution :	12
6 $E_i = E_{diff}$:	12
6.1 Diffusion Compton :	12

6.2	Conservation d'énergie :	13
7	<i>Ei</i> >> <i>Ediff</i> :	13
7.1	Effets de l'énergie incidente élevée :	13
7.2	Création de paires :	13
8	Rayons X en imagerie médicale :	13
8.1	Principe de fonctionnement :	13
8.2	Applications cliniques :	14
8.2.1	Radiographie conventionnelle :	14
8.2.2	Tomodensitométrie (TDM) :	14
8.2.3	Angiographie :	14
8.3	Avantages des rayons X en imagerie médicale :	14
8.4	Risque et précautions :	14
9	Conclusion :	15
Chapitre 2 :		16
1	Les origines naturelles du plomb :	16
1.1	Minerais :	16
1.1.1	Types de minerais :	16
1.1.2	Régions productrices :	17
1.1.3	Processus d'extractions :	17
2	Le plomb dans l'industrie (sources non naturelle) :	17
2.1	Le recyclage du plomb :	18
2.1.1	Collecte :	18
2.1.2	Triage et séparation :	18
2.1.3	Fusion et raffinage :	18
2.1.4	Moulage et fabrication des nouveaux produits :	19
2.2	Avantages de recyclage :	19
3	Les vêtements en plomb dans l'industrie :	19
4	Interaction RX-Pb :	20
5	Conclusion :	21
Chapitre 3 :		22
1	Partie Expérimentale :	22
1.1	Etude d'échantillons :	23
2	Résultats et discussion :	24
2.1	Résultats :	24
2.2	Discussion :	31
3	Conclusion générale :	32
4	Références (APA 7) :	33

Introduction générale :

L'industrie utilise le plomb de différentes manières en raison de ses propriétés unique et polyvalentes, le plomb a un rôle essentiel dans l'industrie, il est indispensable dans divers secteurs :

Le plomb est largement utilisé dans l'industrie des batteries, on utilise couramment les batteries au plomb-acide dans les véhicules automobiles, tels que les voitures, les camions et les véhicules électrique, ainsi que dans les systèmes de stockage d'énergie. D'autre technologies de batterie sont plus couteuses par rapport à leur fiabilité, efficacité et coût relativement bas. [1]

Différentes applications emploient le plomb dans le secteur de la construction. En raison de leur capacité à résister à la corrosion et leur durabilité, le plomb étaient fréquemment utilisé dans les revêtements des câbles électriques, ainsi que comme pigment dans la fabrication de peintures, de vitraux et pour les toitures. [2]

L'industrie de la radioprotection dépend fortement du plomb. À cause de sa grande capacité d'absorption des radiations, on utilise le plomb afin de produire des matériels pour la protection les travailleurs et des patients contre les effets nuisibles liés à l'exposition aux rayonnements ionisants dans les hôpitaux, les laboratoires et les installations industrielles. [3]

En dehors des domaines susmentionnés le plomb est également utilisé dans l'industrie automobile pour produire des contrepoids d'équilibrage pour les roues. De plus, il trouve une utilisation dans l'industrie aérospatiale en tant que des poids d'équilibre, aussi par l'industrie militaire qui fait usage les munitions et blindages. [4]

Le recyclage de plomb a une importance capitale tant d'un point de vue environnemental que sur le plan économique.

Si on n'assure pas une gestion adéquate du plomb, ce matériau toxique peut entraîner des préjudices pour la santé humaine et l'écosystème. Le recyclage du plomb contribue à réduire la quantité de déchets avec du plomb qui sont jetés dans les dépotoirs. En recyclant le plomb, on évite sa dispersion dans l'environnement, contribuant ainsi à réduire la pollution des sols, de l'eau et de l'air. En réduisant l'exposition au plomb, cela contribue à préserver la biodiversité et à protéger la santé publique. [5]

Le plomb, étant une ressource non renouvelable, ne peut être remplacé naturellement à l'échelle de temps humaine après son extraction. En effectuant le recyclage du plomb, on augmente la durée de vie des ressources déjà présentes et on diminue ainsi notre dépendance vis-à-vis de l'exploitation minière. De plus, cela contribue à réduire les effets néfastes sur l'environnement liés à l'extraction et au traitement du minerai de plomb. [6]

Le recyclage du plomb s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, qui favorise la valorisation des déchets en tant que ressources précieuses. En recyclant le plomb, nous préservons l'énergie et les matières premières requises pour sa fabrication originale. En outre, le fait de recycler du plomb offre l'opportunité de développer la création d'emplois dans l'industrie du recyclage et encourage l'innovation en matière de technologie liées au recyclage et la récupération. [7]

En raison de ses propriétés spécifiques, le plomb est fréquemment employé comme matériau de protection contre les rayons X en raison de sa capacité à bloquer efficacement les radiations ionisantes. Grâce à sa densité et de sa grande capacité d'absorption des rayons X, le plomb est largement utilisé dans la fabrication d'équipements de protection tels que les tabliers, les écrans et les éventails. En bloquant efficacement les photons des rayons X, il permet une réduction significative de l'exposition aux radiations [8]

On utilise aussi du plomb pour fabriquer des cloisons de protection contre les radiations dans les installations médicales, les laboratoires et les industries traitant des équipements émettant des rayonnements ionisants. Grâce à l'utilisation de multiples couches de plomb et d'autres matériaux isolants, ces parois sont efficaces conçues pour atténuer les rayons X et prévenir leur dispersion. [9]

Les appareils de radiographie et de tomographie qui sont utilisés en imagerie médicale s'équipent généralement de caissons plombés afin d'assurer la sécurité des sources de rayons X et éviter tout risque d'exposition aux radiations. En utilisant du plomb, on garantit une barrière efficace qui maintient les rayonnements nocifs à l'intérieur de l'appareil et protège ainsi les personnes à proximité. [10]

Ceux qui travaillent fréquemment avec des équipements produisant des rayons X sont tenus de porter des équipements de protection personnelle contenant du plomb, tels que les tabliers et les lunettes à forte densité. Ces accessoires permettant de diminuer l'exposition directe aux rayons X et de réduire les dangers potentiels pour la santé causée par une surdose. [11]

La structure de ce mémoire est composée de 3 chapitres, le premier chapitre aborde l'interaction des rayonnements avec la matière, après le chapitre deuxième parle sur le recyclage de plomb et son interaction avec les rayons X, ensuite, l'expérience, les résultats et discussion dans le chapitre trois, en finissons avec une conclusion générale.

Chapitre 1 :

Interaction rayonnement-matière

1 Introduction :

Les rayonnements consistent en la propagation de l'énergie à travers l'espace. Ces rayonnements ne peuvent être détectés que par leurs interactions avec la matière : ils donnent complètement ou partiellement leur énergie et subissent des changements en conséquence.

On peut classer ces rayonnements en deux catégories :

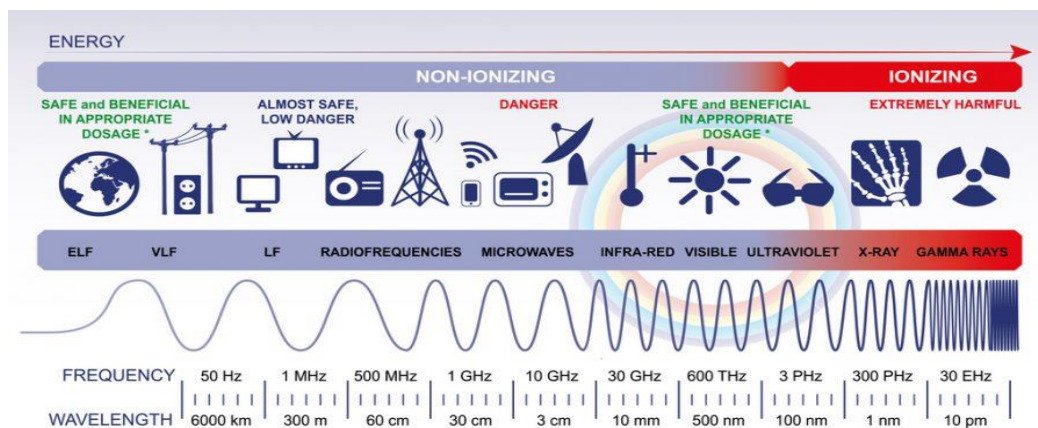
1.1 Rayonnements particuliers :

- Les particules chargées, telles que les électrons de la substance cible.
- Les neutrons, qui sont des particules neutres, interagissent avec les noyaux de la matière cible. [12]

1.2 Rayonnements électromagnétique :

Il s'agit de formes d'énergie pure, comme les rayons X et rayons Gamma.

On peut aussi classifier les rayonnements selon leur capacité à extraire des électrons du cortège électronique d'un atome, ce qui transforme en ion. Voici les deux types de rayonnement selon ce critère :



[13]

Classification des rayonnements en fonction d'énergie, de fréquences et de longueur d'onde

1.3 Rayonnement non-ionisant :

- Bien qu'ils ne possèdent pas assez d'énergie quantique pour ioniser l'atome ils sont capables de le porter à un niveau d'énergie supérieur en excitant (réaction d'un atome excité).

- La principale conséquence des rayonnements non ionisants est l'élévation de la température du corps. [14]

1.4 Rayonnement ionisants :

- Ils causent l'ionisation de l'atome.
- Toute énergie de radiation supérieure à 12,4 V a le potentiel d'ioniser les êtres vivants.
- Toute particule chargée est ionisante.
- Les rayonnements de courte longueur d'onde, tels que les rayons X et Gamma, ont aussi un effet ionisant. [15]

Remarque : Des types de rayonnements tels que les rayons Alpha, Beta et Gamma ont un effet direct sur l'ionisation, alors que d'autre comme les neutrons provoquent une ionisation indirect en générant des interactions secondaires.

2 Les rayons X :

En 1895, le physicien allemand Wilhelm Conrad Röntgen a fait la découverte des rayons X, ces derniers émet en une forme de rayonnement électromagnétique, leur perception est impossible pour l'œil humain. Dans divers domaines tels que la médecine, l'industrie et la recherche scientifique, ces rayons possèdent des qualités uniques qui les rendent extrêmement bénéfiques. [16]

2.1 Caractéristiques des rayons X :

2.1.1 Nature :

Les photons des rayons X sont de particules d'énergie qui ne possèdent pas une charge électrique. [17]

2.1.2 Pénétration :

La capacité des rayons X à traverser la matière varie en fonction de la densité et de l'épaisseur du matériau. Grâce à cette capacité de pénétration, elles sont très bénéfiques en radiographie médicale et l'industrielle. [17]

2.1.3 Interaction avec la matière :

Selon la substance traversée, les rayons X peuvent subir des absorptions, diffusions ou dispersions lors de leur passage à travers ma matière. [17]

2.2 Production des RX :

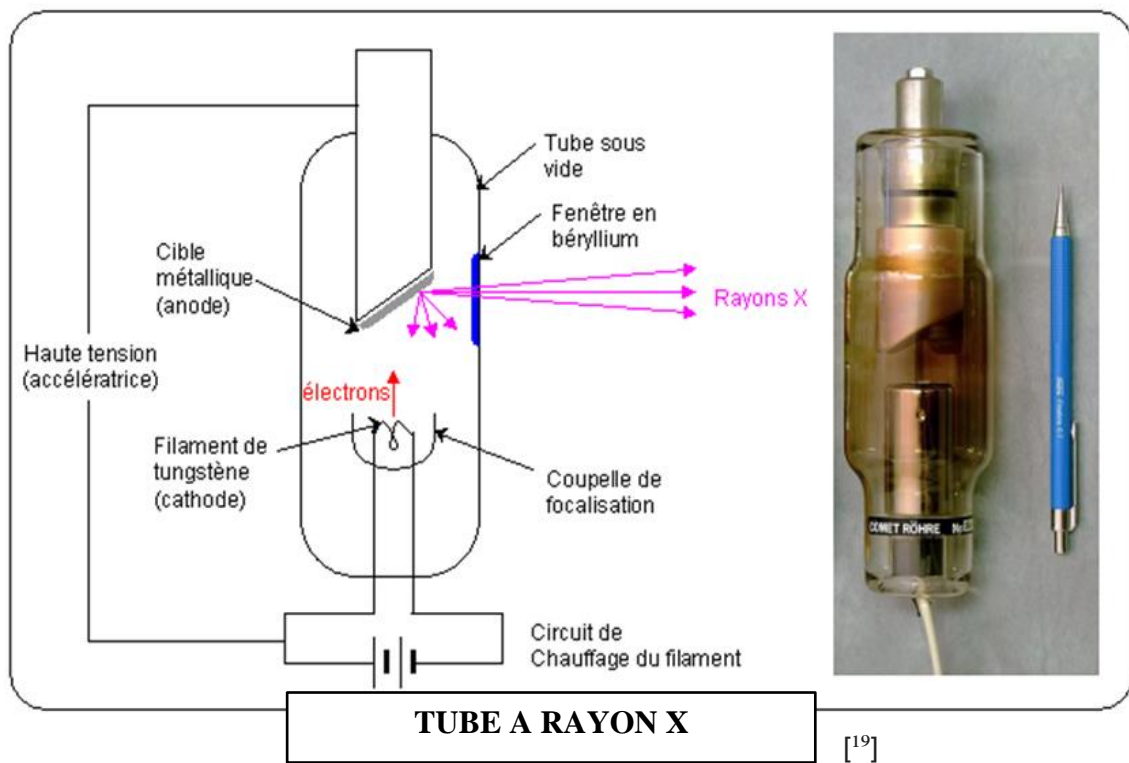
Le phénomène de rayonnement X se produit lorsqu'un faisceau d'électrons à haute énergie est accéléré percute un matériau cible, ce qui forme la base de la production des rayons X.

2.2.1 Tube à rayon X :

En général, les rayons sont fabriqués dans un tube à rayons X ou une cathode (électrode négative) émet un faisceau d'électrons qui est ensuite accéléré vers une anode

(électrode positive) composée de tungstène ou de molybdène. Quand les électrons à haute énergie heurtent l'anode, une fraction de leur énergie se transforme en rayons X.

Matériau :		Longueurs d'onde (Å) :			Energie W_K (ev) :
Nature :	Z :	$K\alpha_2$	$K\alpha_1$	$K\beta$	
Chrome	24	2,2935	2,2896	2,0848	5990
Fer	26	1,9399	1,9360	1,7565	7110
Cobalt	27	1,7928	1,7889	1,6208	7710
Nikel	28	1,6616	1,6578	1,5001	8330
Cuivre	29	1,5443	1,5406	1,3922	9880
Molybdène	42	0,7135	0,7093	0,6323	20000
Tungstène	74	0,2178	0,2090	0,1844	69530



2.2.2 Procès de production :

Quand les électrons parviennent à l'anode, ils entrent en interaction avec les atomes métalliques qui la composent. Ces interactions génèrent deux types de rayonnements : rayonnement spécifique et rayonnement de décélération.

Des cavités électroniques sont créées lorsque les électrons incidents expulsent les électrons internes des atomes de l'anode, ce qui entraîne la production d'un rayonnement caractéristique.

Les cavités peuvent être comblées par d'autres électrons qui libèrent de l'énergie sous forme de rayons X spécifiques à l'élément cible. Les électrons incidents ralentissent lorsqu'ils interagissent avec les noyaux atomiques de l'anode, ce qui produit du rayonnement de freinage sous forme de rayons X et libère de l'énergie. [20]

2.2.3 Filtrage et collimation :

Afin de générer des rayons d'excellente qualité tout en minimisant l'exposition aux radiations nuisibles, les tubes à rayon X sont munis de filtres visant à éliminer les ondes indésirables. En outre, on utilise des diaphragmes de collimation afin de restreindre le faisceau de rayon X émis. [21]

2.2.4 Contrôle de l'exposition :

En réglant la quantité de rayon X produite, il est possible de contrôler l'intensité et la durée d'exposition des électrons au niveau de l'anode. [22]

2.2.5 Intensité du rayonnement :

L'intensité de raie émise dépend de plusieurs facteurs :

- La section efficace d'ionisation des atomes au niveau donné.
- La probabilité d'émission d'un rayonnement électromagnétique par rapport à la probabilité d'émission d'un électron (effet Auger).
- La probabilité relative des différentes transitions possibles.
- Les effets d'absorption du rayonnement dans la masse de l'échantillon ou avant sa sortie. [23]

3 Les matières :

En science et en physique, la matière est classiquement divisée en quatre types principaux :

3.1 Solides :

Les solides comme les métaux, minéraux... Sont constitués de structures dans lesquelles les atomes présentant des liaisons étroites entre eux, leur donnant une forme et un volume spécifique.

En générale, les particules constitutives des solides (atomes, molécule ou ions) sont arrangées de manière ordonnée et compacte.

Les solides possèdent une cohésion moléculaire puissante qui les rend résistants à la déformation. [24]

3.2 Liquides :

Les liquides prennent la forme du contenant dans lequel ils sont placés, mais n'ont pas de forme définie.

Les particules des liquides peuvent se déplacer plus librement que celles des solides, car elles ont la possibilité de bouger les uns par rapport les autres.

Les liquides peuvent s'écouler car leur cohésion moléculaire est moins forte que celle des solides.

Exemples : l'eau, l'huile, l'alcool, le mercure, ... [24]

3.3 Les gaz :

Les gaz prennent la forme et le volume du contenant dans lequel ils se trouvent, les remplissant totalement.

Les gaz sont composés de particules très mobiles qui se déplacent librement dans toutes les directions.

Les gaz ont la capacité d'être comprimés et de s'étendre dans l'espace qui leur est donné.

Exemples : l'oxygène, le dioxyde de carbone, l'azote, l'hydrogène, ... [24]

3.4 Les plasmas :

Dans les plasmas, les atomes ont perdu des électrons, ce qui entraîne la formation d'un mélange de particules chargées positivement et négativement (ions et électrons libres), constituant ainsi un état différent de la matière.

Les plasmas présentent une conductivité électrique élevée, telles que dans les astres, les phénomènes d'éclairage et les dispositifs de décharge.

Exemples : plasma interstellaire, fusion du plasma, ... [24]

4 Les solides :

Les substances solides se distinguent par leur composition atomique et leurs caractéristiques particulières :

4.1 Structure atomique :

Les atomes, molécules ou ions sont disposés de manière ordonnée et dense dans une structure cristalline ou désordonnée dans un solide.

Les particules constitutives des solides sont solidement liées, ce qui leur donne une grande résistance mécanique. [25]

4.2 Propriétés physique :

Les solides se caractérisent par leur forme et leur volume bien définie, ce qui les distingue des liquides et des gaz.

Les propriétés qu'ils présentent incluent la dureté, la résistance, la conductivité électrique et thermique, ainsi que la brillance.

En fonction de leur composition et leur structure, certains solides sont susceptibles d'exhiber des propriétés magnétique, optique ou supraconductrices unique. [26]

4.3 Classification des solides :

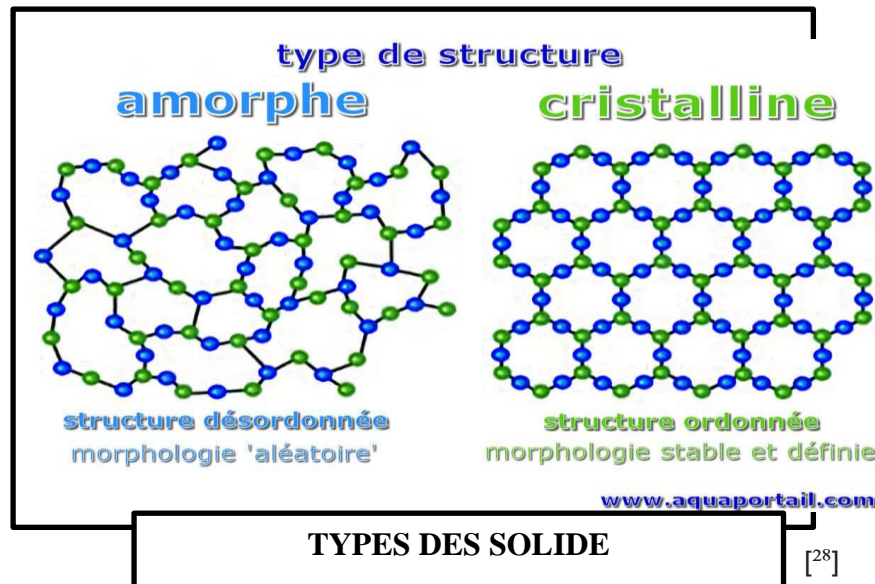
La classification des solides en physique des matériaux est basée sur la structure atomique et comment les particules sont arrangées.

4.3.1 Solides cristallins :

Les solides cristallins présentent une structure atomique et périodique.

Dans l'espace, leurs atomes, molécules ou ions adoptent des schémas réguliers qui se répètent.

Les solides cristallins possèdent des propriétés anisotropes, c'est-à-dire que leurs caractéristiques varient en fonction de la direction, grâce à cette organisation spécifique. [27]



4.3.2 Solide Amorphes :

Contrairement aux solides cristallins, les solides amorphes se caractérisent par une structure désordonnée et non périodique.

Etant donné que leurs particules constitutives ne sont pas arrangées de manière régulière, elles possèdent des propriétés isotropiques qui restent les mêmes dans toutes les directions.

Parmi les matériaux inclus dans la catégorie des solides amorphes, on retrouve le verre, le plastique ainsi certains polymères. [29]

5 Interactions rayonnements-matière :

Quand les rayons X interagissent avec la matière, ils engendrent de nombreux phénomènes qui sont à l'origine de différentes utilisations dans des domaines tels que la médecine, l'industrie et la recherche scientifique

5.1 Absorption :

Une portion des rayons X sont captées par la substance qu'ils traversent. La capacité d'absorption dépend à la fois de la composition de la substance et du niveau énergétique des photons. Dans le domaine médical les images radiographiques permettant de distinguer les tissus en utilisant la capacité des régions plus denses à absorber davantage les rayons X. [30]

5.2 Diffusion :

Quand les rayons X interagissent avec les atomes de la substance, il peut y avoir une déviation dans leur trajectoire d'origine. Il existe deux principaux types de diffusion :

- La diffusion cohérente qui maintient constante la qualité d'énergie des rayons X.
- La perte d'énergie des photons et causée par une diffusion incohérente. [30]

5.3 Transmission :

Certains rayons X pénètrent la matière sans n'être absorbés ni ne déviés. La transmission de cette information est conditionnée par l'épaisseur ainsi que la composition du matériau. Elle joue un rôle essentiel dans l'imagerie médicale ainsi que dans l'inspection non destructive en industrie. [30]

5.4 Effet photoélectrique et diffusion Compton :

Lorsque les rayons X interagissent avec les électrons des atomes, deux phénomènes principaux se produisent :

- Le phénomène photoélectrique se produit lorsque qu'un électron absorbe entièrement un photon, ce qui provoque son expulsion.
- Lors de la diffusion Compton, l'électron change sa direction tandis que le photon transfère une partie de son énergie. [31]

5.5 Contraste et résolution :

L'impact des rayons X sur la matière joue un rôle dans le contraste et précision des images radiographiques. En distinguant les caractéristiques des objets ou tissu examinés, les différences d'absorption et de diffusion jouent un rôle crucial. [32]

6 $E_i = E_{diff}$:

Lorsque l'énergie des rayons X incidents est la même que celle des rayons X diffusés, cela indique une situation particulière dans l'interaction entre le rayonnement et la matière. Dans ce scénario, une partie de l'énergie des photons est transférée aux électrons du matériau sans qu'il n'y ait ni perte ni gain ce phénomène important associé à l'interaction des rayons X avec la matière, la diffusion Compton, peut donner lieu à ce cas.

6.1 Diffusion Compton :

Lors du processus de diffusion Compton, un électron périphérique d'un atome interagit avec un photon X. Durant ces échanges, le photon transfère une fraction de son énergie à l'électron, entraînant un changement de trajectoire. Le photon diffusé a donné une énergie se traduit par un transfert d'énergie vers l'électron.

Dans le cas où l'énergie du photon diffusé correspond à celle du photon incident, il n'y a ni création ni destruction nette d'énergie, ce qui est un exemple spécifique de conservation totale de l'énergie. [33]

6.2 Conservation d'énergie :

Le principe de conservation de l'énergie est illustré par cette égalité d'énergie dans la diffusion Compton, où la somme totale des énergies du photon et de l'électron reste constante.

Il est crucial de considérer ce phénomène pour appréhender les subtils échanges entre les rayons X et la matière, en plus d'être une contribution essentielle à l'analyse approfondie comme la spectroscopie des rayons X et la détermination de la structure atomique des matériaux. [34]

7 $E_i \gg E_{diff}$:

Si l'énergie des rayons X incidente est considérablement plus élevée que celle des rayons X diffusés, cela entraîne une interaction différente avec la matière par rapport à une situation où les deux paramètres ont la même valeur.

7.1 Effets de l'énergie incidente élevée :

Les photons X, grâce à leur énergie incidente considérablement supérieure à l'énergie diffusé, sont capables d'interagir de manière beaucoup plus intense avec les électrons de la matière. Cela peut également engendrer des phénomènes plus compliqué, comme la formation des paires électron-positron ou la production de particules secondaires lors de processus de désintégration nucléaire. [35]

7.2 Création de paires :

Lorsque les rayons X interagissent avec des noyaux atomiques dans un matériau, il est possible que des paires électron-positron se forment à partir de photons très énergétiques. On peut observer ce processus, appelé création de paires, lorsque l'énergie du photon est supérieure à une valeur seuil spécifique généralement située autour de 1,02 MeV.

- Effets également possible que des réactions nucléaires se produisent dans des situations telles que la radiothérapie où l'utilisation de rayonnement ionisant à des fins médicales ou industriels, en raison d'une énergie incidente importante. [36]

8 Rayons X en imagerie médicale :

On utilise beaucoup les rayons X en imagerie médicale pour voir à l'intérieur du corps et observer ses structures internes. Le fait qu'ils puissent traverser les tissus mous tout en étant bloqués par les tissus denses est crucial pour le diagnostic de nombreuses conditions médicales.

8.1 Principe de fonctionnement :

Quand un faisceau de rayon X est orienté vers le corps, une partie des tissus qu'il traverse les absorbe tandis que l'autre partie transmise pour former une image sur un détecteur.

Selon la densité des tissus, les rayons X sont absorbés de manière variable, créant ainsi un contraste dans l'image radiographique. [37]

8.2 Applications cliniques :

8.2.1 Radiographie conventionnelle :

Les radiographies conventionnelles utilisent les rayons X afin de générer des images en deux dimensions des os, des poumons et autres structures corporelles. Cela permet d'identifier des fractures, infections et autres problèmes diagnostiques. [37]

8.2.2 Tomodensitométrie (TDM) :

La TDM¹ utilise des scans multi-angles pour générer des images en coupe transversale du corps, ce qui permet une visualisation tridimensionnelle précise pouvant être utile dans le diagnostic de tumeurs, d'hémorragies internes, et autres. [37]

8.2.3 Angiographie :

On utilise les rayons X pour observer les vaisseaux sanguins une fois qu'un produit de contraste a été injecté, permettant ainsi de repérer plus facilement d'éventuels blocages ou anomalies dans la circulation. [37]

8.3 Avantages des rayons X en imagerie médicale :

Rapidité : Les radiographies sont réalisées en seulement quelques secondes, ce qui permet un diagnostic rapide. [38]

Polyvalence : Il est possible d'utiliser les rayons X pour différentes parties du corps, ce qui permet une multitude d'applications diagnostiques. [38]

Sensibilité : Grâce à leur capacité de détection des anomalies de densité, les rayons X s'avèrent utiles pour diagnostiquer diverses affections médicales. [38]

8.4 Risque et précautions :

Bien que présenter des bénéfices, une surexposition aux rayons X peut causer des conséquences néfastes sur la santé, tels que l'altération génétique et un risque plus élevé de développer un cancer.

Les professionnels de santé s'efforcent de minimiser l'exposition aux rayons X en suivant des directives strictes, en mettant en œuvre des techniques pour réduire la dose et en limitant les radiographies inutiles. [38]

9 Conclusion :

L'interaction rayonnement matière est essentielle pour comprendre la structure de matière et sont utilisées dans différents domaines tels que la spectroscopie, la diffraction, l'analyse des matériaux et même dans le domaine médical.

Ces interactions provoquent plusieurs phénomènes tels que l'effet photo électrique, l'effet Compton et d'autre tout dépend à l'énergie incidente et l'énergie diffracter.

Dans le domaine médical, ils utilisent les rayons X pour plusieurs domaines comme l'imagerie médicale et tomographie et d'autre.

Chapitre 2 :

Recyclage du plomb et l'interaction RX-Pb

1 Les origines naturelles du plomb :

On peut retrouver dans l'environnement différentes formes naturelles de plomb :

Minerais de plomb :

La galène, qui est un minéral sulfure de plomb, constitue souvent une source d'extraction du plomb. On récupère habituellement ces minerais des mines pour ensuite les traiter en extraire le plomb. [39]

Sole et roches :

Certains sole et roches contient naturellement du plomb. Les activités géologiques naturelles peuvent entraîner la libération de plomb dans l'environnement, avec des régions présentant naturellement des concentrations plus élevées en cet élément. [40]

Eaux souterraines :

Les régions riches en minéraux contenant du plomb peuvent également présenter des eaux souterraines contaminées par ce métal. Quand ces eaux traversent des strates rocheuses qui renferment du plomb, elles peuvent assimiler différentes quantités de celui-ci. [40]

Végétation :

Les plantes ont la capacité d'absorption du plomb à partir du sol, surtout dans les régions où le plomb est présent de manière naturelle. Les parties aériennes des plantes peuvent alors être contaminées par le plomb transporté par leur racine. [41]

Poussière Atmosphérique :

Le plomb peut être trouvé dans les particules de poussière atmosphérique provenant de sources naturelles telles que les sols, les roches et les éruptions volcaniques, qui ont la capacité de répandre du plomb l'air. [40]

1.1 Minerais :

Les minéraux qui contiennent du plomb sont des substances naturelles et leur composition est basée sur des composée minéraux de plomb.

1.1.1 Types de minerais :

Les minerais couramment exploités pour obtenir du plomb incluent la galène (PbS), la cérusite (PbCO₃) et l'anglésite (PbSO₄). En raison de sa forte concentration en plomb, la galène est le minéral de plomb le plus couramment exploité. [42]

1.1.2 Régions productrices :

La Chine, l'Australie, les Etats-Unis, le Pérou et la Russie figurent parmi les principaux pays producteurs de plomb et de minerais associés. Ces pays possèdent des réserves de minerais de plomb importantes et jouent un rôle essentiel sur le marché mondial du plomb. [43]

Pour l'Algérie, le projet d'exploitation du gisement de plomb dans les circonscription d'Amizour et Tala-Hamza, à Bejaia démarrera en 2026. Le gisement, situé à la frontière des daïras de Tichy et d'Amizour et divisé par les communes de Tala-Hamza et d'Amizour près du village d'Ait-Bouزيد (Izghaine), s'étend sur une superficie de 234 hectares avec des réserves estimées à 34 millions de tonnes, pour production annuelle de 30.000 tonnes de plomb. [44]

1.1.3 Processus d'extractions :

D'ordinaire, l'extraction du Pb à partir de ses minerais requiert plusieurs procédés tels que le concassage, le broyage, la flottation et occasionnellement la fusion. La méthode de flottation est fréquemment employée afin de séparer les minerais contenant du plomb des autres minéraux, en exploitant les variations de leurs propriétés physicochimiques. [43]

2 Le plomb dans l'industrie (sources non naturelle) :

En raison de ses propriétés uniques, le plomb, qui est à la fois un métal lourd et malléable, trouve une large gamme d'application dans différents secteurs industriels.

Batterie :

En raison de leur coût relativement bas et de leur fiabilité, les batteries au plomb-acide sont couramment utilisées dans plusieurs domaines tels que l'automobile, le secours, la marine et l'énergie solaire.

Elles emmagasinent et distribuent de l'énergie électrique, permettant ainsi d'alimenter grande variété de véhicules et systèmes électriques. [45]

Revêtements anticorrosion :

On utilise le plomb dans les revêtements anticorrosion afin de préserver les métaux de la corrosion causée par l'oxygène, l'eau et divers agents corrosifs.

Ces revêtements jouent un rôle vital dans l'industrie maritime, aéronautique, pétrolière et gazière en augmentant la longévité des structures métallique. [46]

Câbles d'électricité :

En raison de sa conductivité électrique élevée et de sa facilité à être modelé, le plomb est fréquemment utilisé dans la fabrication des câbles électrique.

Les réseaux de distribution et de transmission dépendent grandement de ces câbles pour assurer une transmission efficace de l'électricité. [47]

Munitions :

On utilise le plomb dans la production de munitions en raison de sa densité supérieure, ce qui améliore la balistique et accroît la précision des tirs.

Il joue un rôle indispensable dans la composition des balles et des projectiles employés dans les armes légères et de chasse. [48]

Industrie de la radiographie :

Dans l'industrie de la radiographie médicale et industrielle, on utilise souvent le plomb pour fabriquer des équipements protecteurs contre les rayonnements tels que les tabliers en plomb.

L'utilisation de ces équipements peut exposer les travailleurs de la radiographie au plomb. [49]

Utilisation du plomb en Tomographie :

Il est courant d'utiliser le plomb dans les applications médicales, notamment pour la fabrication d'écrans plombés. Ces écrans jouent un rôle essentiel en aidant à guider et à réduire l'exposition aux rayons X lors de procédures telles que les tomographies.

Egalement, on utilise le plomb dans la protection de caches plaqués afin d'assurer la protection des techniciens et des patients contre les radiations nuisibles. [50]

Autres applications :

On utilise aussi le plomb pour fabriquer des soudures, des écrans de radioprotection, des poids d'équilibrage ainsi que des pigments et des stabilisants utilisés dans les plastiques. [51]

2.1 Le recyclage du plomb :

Le recyclage du plomb passe par une série d'étapes :

2.1.1 Collecte :

Différentes sources permettent de collecter le plomb notamment les batteries des voitures usagées, les déchets électroniques, les tuyaux en plomb et même les vêtements de protection usagés à base de ce matériau. [52]

2.1.2 Triage et séparation :

Une fois rassemblés, le plomb est sélectionné et différencié des autres matériaux. Chaque type de plomb est traité individuellement, comme le plomb des batteries acides ou les débris de construction en plomb. [52]

2.1.3 Fusion et raffinage :

Pour obtenir du plomb pur, on fait fondre le plomb trié dans un haut fourneau à des températures élevées (1000-1200 C°) afin d'éliminer les impuretés. [52]

2.1.4 Moulage et fabrication des nouveaux produits :

Après avoir raffiné, le plomb fondu peut servir à la fabrication de divers articles. [52]

2.2 Avantages de recyclage :

Préservation des ressources naturelles :

En recyclant le plomb, on diminue la nécessité d'extraire de nouvelles ressources minières de plomb, ce qui permet de les préserver. [53]

Réduction de la pollution :

En récupérant et en réutilisant du plomb, on prévient l'accumulation de déchets qui pourraient être nuisibles à l'environnement ainsi qu'à la santé des êtres humains. [53]

Economie d'énergie :

Recycler le plomb permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre car cela requiert moins d'énergie que l'extraction et le traitement du minerai. [53]

Création d'emplois :

La collecte, le tri, le traitement et la fabrication de produits à base de plomb recyclé créent un grand nombre d'emplois dans l'industrie du recyclage du plomb. [53]

- *Importance de recyclage :*

Afin d'éviter la contamination de l'environnement et les dangers pour la santé, il est crucial de faire un recyclage responsable du plomb. Il est important que les entreprises et les particuliers s'engagent à respecter rigoureusement les normes de sécurité ainsi que toutes les réglementations environnementales en vigueur, lorsqu'ils recyclent le plomb. [54]

3 Les vêtements en plomb dans l'industrie :

La protection contre les radiations ionisantes est essentielle dans divers domaines industriels et les vêtements en plomb jouent un rôle important :

Radioprotection dans le domaine médical :

Les professionnels de la santé, notamment les radiologues et les techniciens en radiologie, utilisent fréquemment des vêtements confectionnés à partir de plomb comme des tabliers et des vestes.

Les EPIⁱⁱ sont indispensables pour garantir la sécurité du corps lors des examens radiologiques, des interventions médicales invasives et de la radiographie en raison de leur capacité à protéger contre les radiations. [55]

Industrie nucléaire et radiologique :

Les travailleurs qui sont exposés aux radiations ionisantes dans des environnements nucléaires, de recherche ou d'industrie prennent également l'habitude de porter des vêtements en plomb pour assurer leur protection.

Dans ces environnements sensibles, les combinaisons en plomb constituent une barrière efficace pour se protéger des particules radioactives et des rayonnements nocifs. [56]

Protection individuelle dans les laboratoires :

Pour garantir la sécurité des travailleurs qui manipulent des sources radioactives ou les substances dangereuses, les laboratoires de recherche et installations expérimentales font usage de vêtements faits en plomb.

Les blouses et les tabliers faits de plomb servent à protéger physiquement les travailleurs contre les rayonnements, réduisant ainsi au minimum les dangers pour leur santé. [57]

Applications industrielles spécifiques :

Les vêtements en plomb peuvent également être employés dans diverses applications industrielles où une protection contre les rayonnements est requise, par exemple lors de la manipulation de sources radioactives scellées ou l'entretien des équipements émettant des rayonnements ionisants. [58]

4 Interaction RX-Pb :

En raison des propriétés du plomb et de la nature des rayons X, plusieurs phénomènes se produisent lorsqu'ils interagissent :

Absorption des rayons X par le plomb :

Grâce à sa lourdeur et sa densité, le plomb est extrêmement efficace pour absorber les rayons X. Lorsqu'ils rencontrent une surface en plomb, la majeure partie de l'énergie des rayons X est absorbée par celui-ci. Ceci est causé par l'interaction entre les photons des rayons X et les électrons qui orbitent autour des atomes de plomb. [59]

L'effet photoélectrique et l'effet Compton :

Lorsque les rayons X interagissent avec le plomb, deux principaux mécanismes se produisent : l'effet photoélectrique et l'effet Compton.

Quand les rayons X percutent les électrons du plomb, cela entraîne une diminution de leur énergie et un changement de direction, ce phénomène est connu sous le nom de l'effet Compton.

Par ailleurs, l'éjection des électrons internes des atomes de plomb suite au transfert d'énergie par les rayons X s'appelle phénomène photoélectrique. [59]

Réduction de la transmission des Rayons X :

Le plomb est couramment utilisé comme matériau de protection contre les rayonnements ionisants dans des domaines médicaux industriels et de la recherche en raison de son importance

capacité à absorber les rayons X. Les tabliers plombés et les paravents sont des exemples d'équipements de protection contre les rayonnements qui tirent parti de la capacité du plomb à bloquer efficacement les rayons X. [60]

5 Conclusion :

Le plomb est un métal toxique présent naturellement dans les minerais beaucoup plus, malgré sa toxicité il est essentiel dans plusieurs secteurs de l'industrie ainsi le secteur médical grâce à ses caractéristiques.

L'extraction de plomb coûte beaucoup et aussi est une ressource non renouvelable, c'est pour cela il est important de le recycler prudemment pour réserver ces ressources.

Le recyclage du Pb porte plusieurs avantages tels qu'il crée des emplois et provoque une circulation économique.

L'interaction des rayons X avec le plomb donne des résultats étonnant, c'est pour cela il est largement présent dans le domaine radioprotection.

Chapitre 3 :

Partie expérimentale et résultats

1 Partie Expérimentale :

Collecte :

On a choisi tout d'abord de recycler la batterie de la voiture au plomb-acide, car elle contient une bonne quantité du plomb vis-à-vis la facilité d'extraire ce dernier ; On a trouvé cette batterie morte dans le parc de notre commune (Taghzout).

Préparation avant le démarrage d'expérience :

Le recyclage de cette batterie au plomb-acide est dangereux, il est obligatoire de porter les vêtements de sécurité pour protéger notre entourage et nous-même.

\ Matériels nécessaire qu'on a utilisés :

- Une batterie de voiture au plomb-acide usagée.
- Un marteau.
- Une hache.
- Des gants de protection.
- Des lunettes de protection.
- Un masque de haute qualité.
- Contenant résistant pour la séparation des composants sans endommager notre laboratoire.
- Un fourneau de haute température.

Préparation :

- D'abord, on prépare notre contenant et on a placé notre batterie dedans.
- On a met notre gants, lunettes et masque de protection pour nous puisons démarrer notre expérience en toute sécurité.

Vidage de l'acide :

On n'a pas pu ouvrir la batterie avec les clés car ils sont coincés.

Démontage de batterie :

- On a utilisé la hache et le marteau pour ouvrir le boitier extérieur en plastique de la batterie.
- Une fois le boitier est ouvert, on débarrasse d'acide et on récupère les plaques de plomb.
- Ensuite, on a les nettoyées avec l'eau et des séparer : les plaques positives d'un côté et les plaques négatives de l'autre côté.

Nettoyage :

- On a nettoyé les outils et la surface du travail pour éliminer toute trace d'acide et plomb.

Stockage et élimination :

- On a aussi étiqueté correctement notre déchet pour leur prochain traitement.
- On a stocké les matériaux séparément (plaques positives, plaques négatives) dans des contenants sécurisés jusqu'à leur utilisation suivante.

Fusion et raffinage :

- On a pris les plaques positives et on a enlevé la patte d'oxyde de plomb et garder juste la grille qu'est du plomb pur.
- On prend les grilles des plaques positives et les plaques négatives qui sont totalement composé du plomb pur et les faites fondre dans un fourneau à des températures élevés (1000-1200 C°) pour éliminer tout impureté.

Moulage :

Après la fusion, on fait compacter le plomb fondu pour faire deux échantillons pour les étudier, un de 0,5 mm et l'autre de 0,56 mm.

1.1 Etude d'échantillons :

- Tout d'abord on a mesuré l'épaisseur, la longueur, la largeur et le diamètre des échantillons pour pouvoir calculer leur densité.
- On a pris l'échantillon de 0,5 mm et le mettre dans la machine de diffraction rayons X, et faire toutes les mesures pour voir l'efficacité de stopper les rayons X et les composant de notre échantillon.
- On a pris aussi le deuxième échantillon de 0,56 mm et refaire la même expérience avec les mêmes distances pour pouvoir les comparer après.
- Enfin, on a pris nos échantillons et les voir dans le microscope optique.

2 Résultats et discussion :

2.1 Résultats :

Mesure de l'intensité de rayon X direct (sans mettre une barrière du plomb) :
(60 seconds)

X = 78,28 mm

l'intensité :	la moyenne :
93239	95994,66667
96443	
98302	

X = 84,01 mm

l'intensité :	la moyenne :
77648	81120,66667
82504	
83210	

X = 89,33 mm

l'intensité :	la moyenne :
68071	70705,33333
71436	
72609	

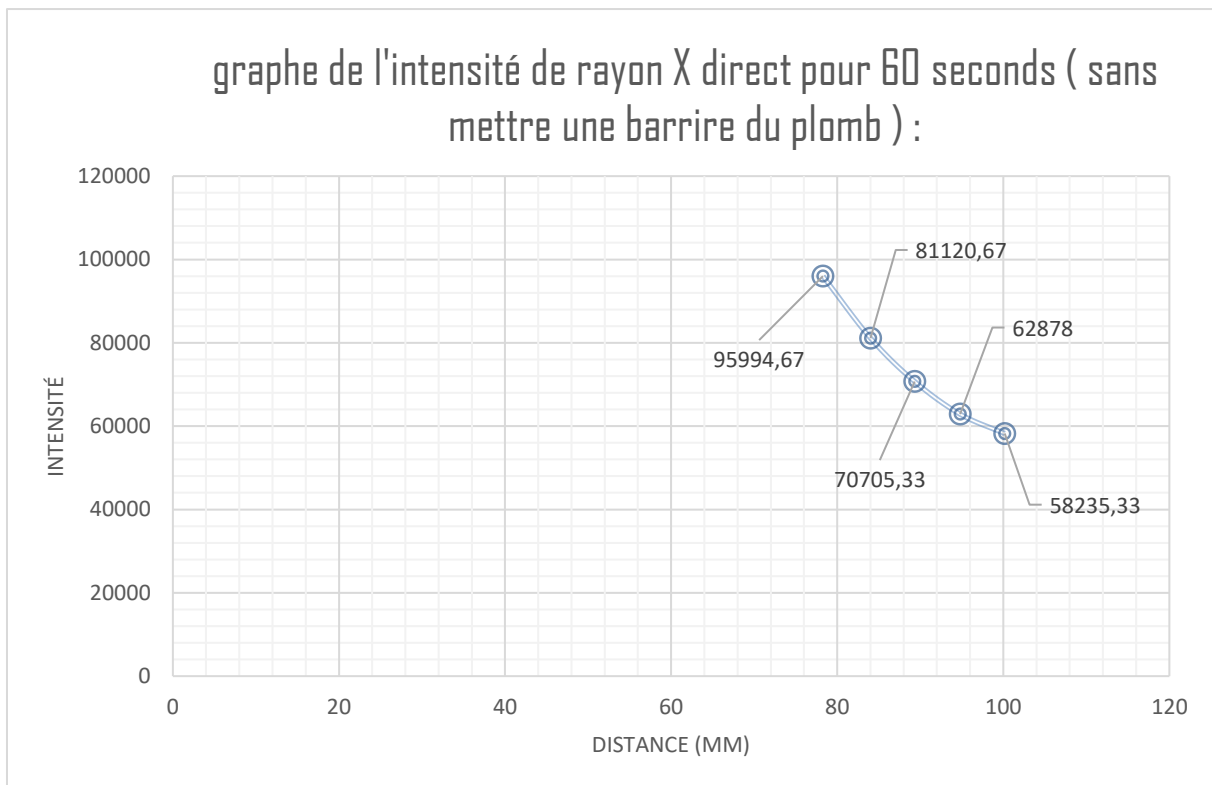
X = 94,8 mm

l'intensité :	la moyenne :
62589	62878
60633	
65412	

X = 100,17 mm

l'intensité :	la moyenne :
58718	58235,33333
57399	
58589	

Expérience N°_1



mesure d'intensité de rayon X à travers une barrière du plomb de 0,5 mm :
(60 seconds)

X = 78,28 mm

l'intensité :	la moyenne :
15	17,66666667
24	
19	
21	
15	
12	

X = 84,01 mm

l'intensité :	la moyenne :
22	17,5
18	
12	
9	
20	
24	

X = 89,33 mm

l'intensité :	la moyenne :
26	16,66666667
14	
11	
8	
27	
14	

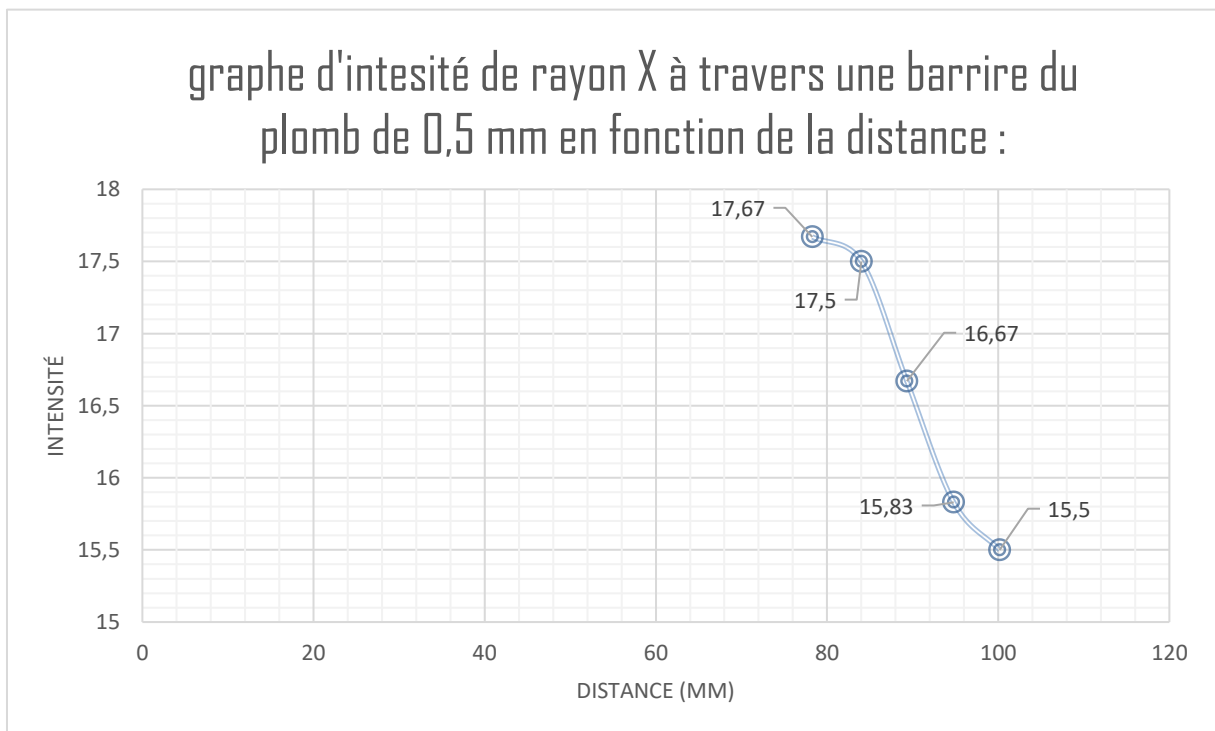
X = 94,8 mm

l'intensité :	la moyenne :
15	15,83333333
20	
16	
12	
15	
17	

X = 100,17 mm

l'intensité :	la moyenne :
21	15,5
13	
11	
19	
12	
17	

Expérience N°_2



- Calcule de coefficient d'absorption :

On a la formule suivante :

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot x}$$

I_0 : intensité initiale (avant l'absorption)

I : intensité de transmission

x : l'épaisseur de l'échantillon (m)

μ : coefficient d'absorption (m^{-1})

- On développe le calcul :

$$I/I_0 = e^{-\mu \cdot x}$$

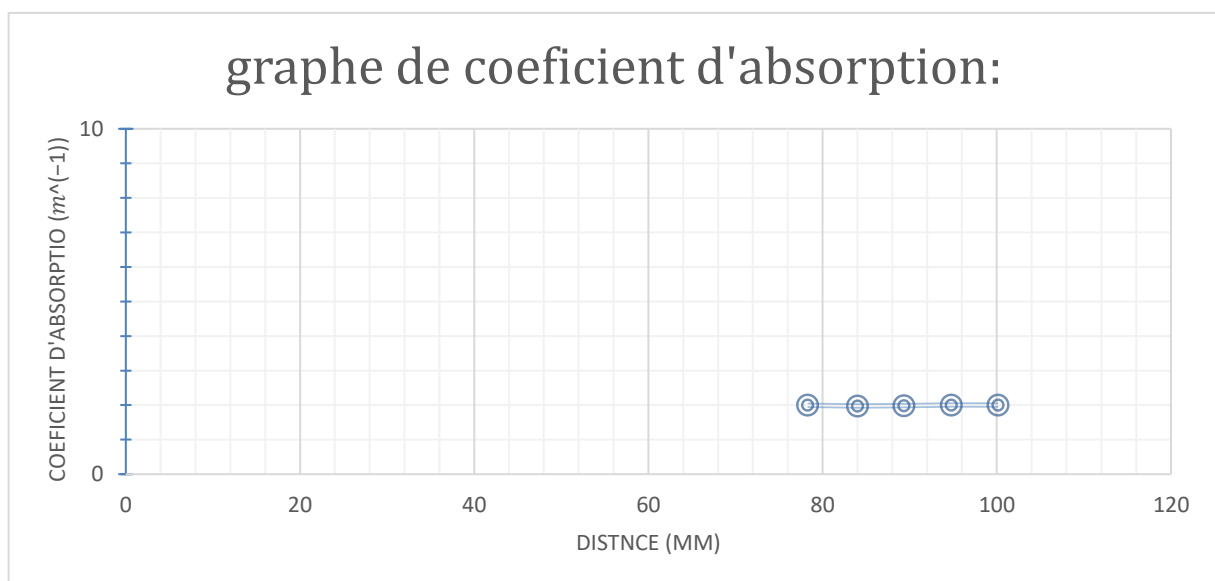
$$\ln I/I_0 = -\mu \cdot x$$

$$\mu = x \cdot \ln[I_0/I]$$

Intensité initiale I_0 :	Intensité transmise I :	Distance (mm) :	μ :
95994,66667	17,67	78,28	1,997314426
81120,66667	17,5	84,01	1,974650541
70705,33333	16,67	89,33	1,984332143
62878	15,83	94,8	2,000239712
58235,33333	15,5	100,17	2,001621301

μ :	La moyenne :
1,99731443	1,991631624
1,97465054	
1,98433214	
2,00023971	
2,0016213	

graphe de coefficient d'absorption:



mesure d'intensité de rayon X à travers une barrière du plomb de 0,56 mm :
(60 seconds)

X = 78,28 mm

l'intensité :	la moyenne :
22	16,83333333
13	
17	
16	
21	
12	

X = 84,01 mm

l'intensité :	la moyenne :
15	16,16666667
21	
13	
17	
16	
15	

X = 89,33 mm

l'intensité :	la moyenne :
21	15,83333333
11	
17	
12	
19	
15	

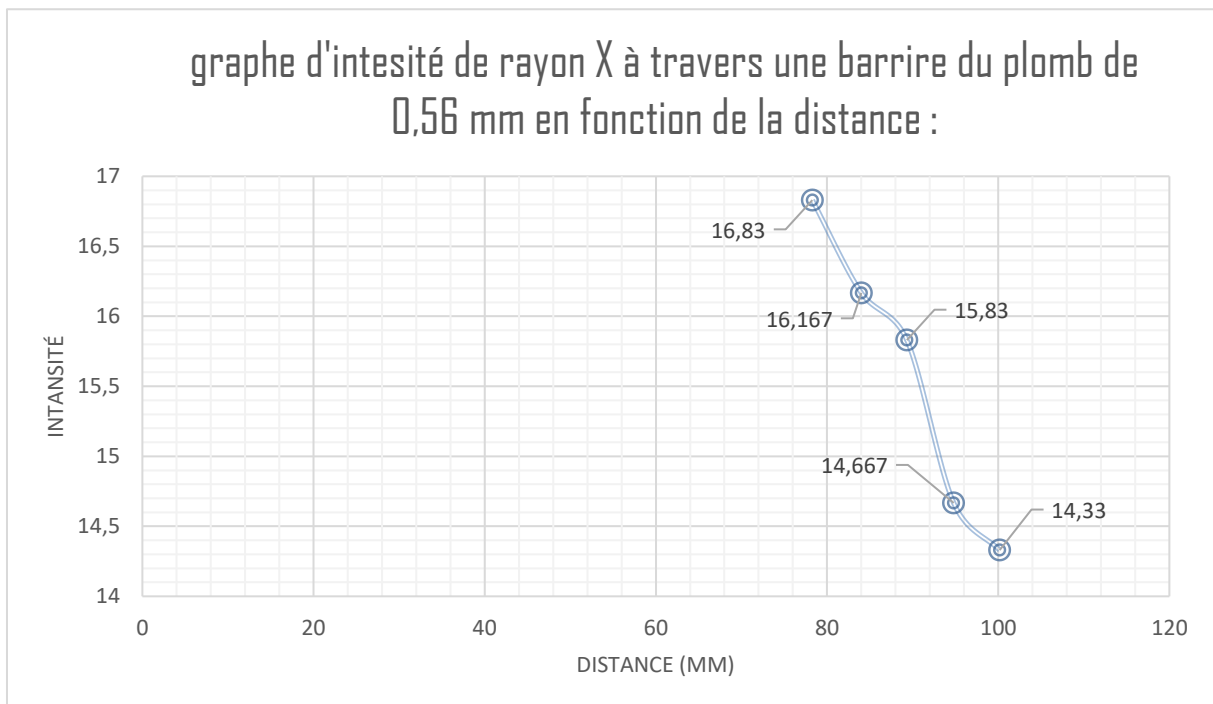
X = 94,8 mm

l'intensité :	la moyenne :
15	14,66666667
16	
7	
16	
13	
21	

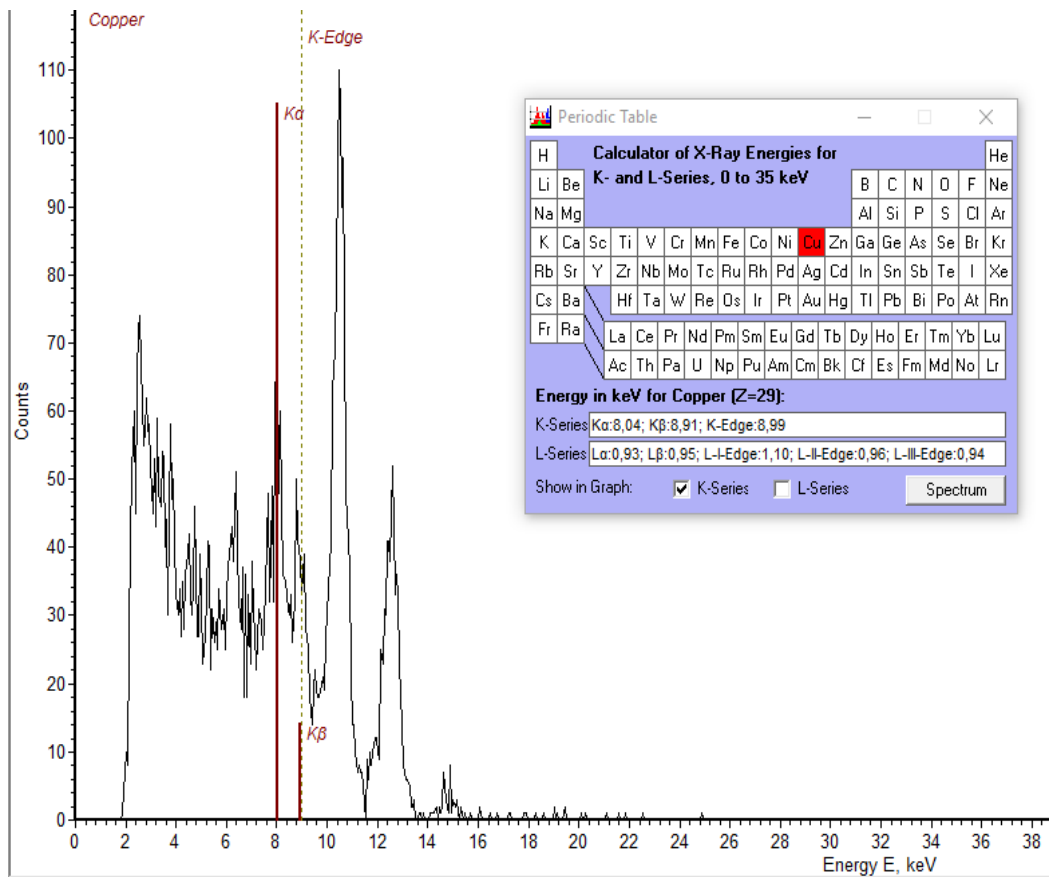
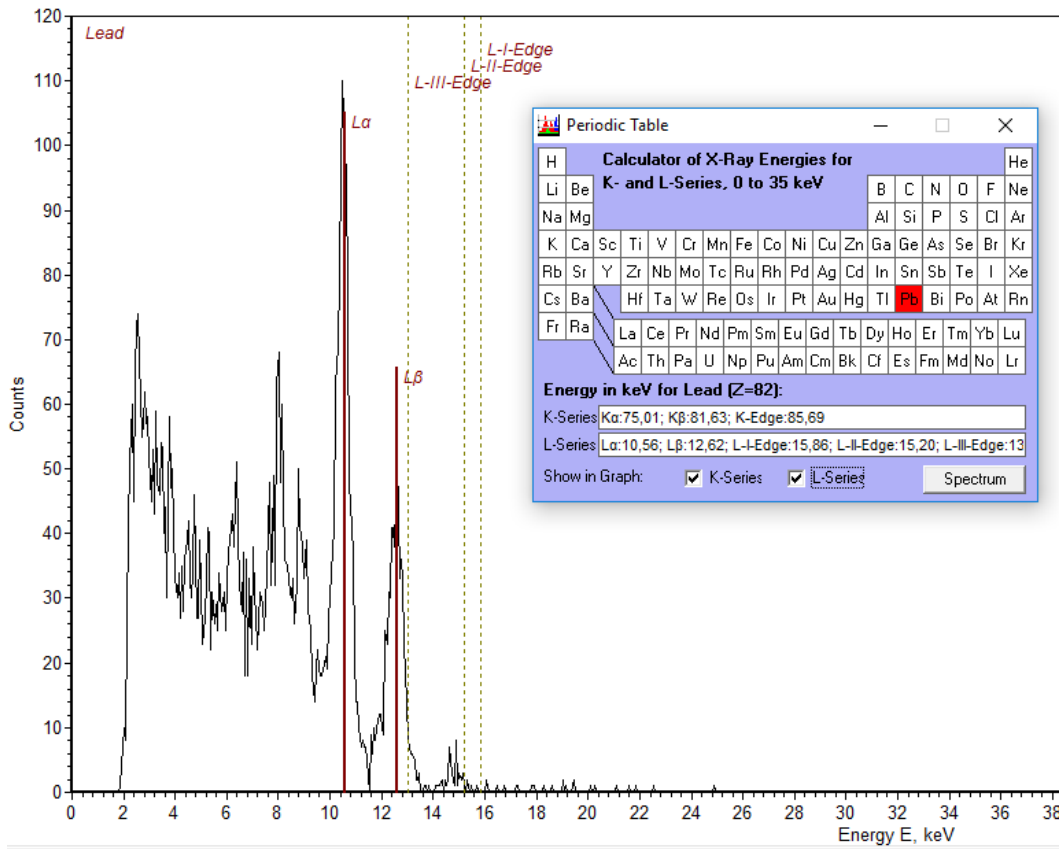
X = 100,17 mm

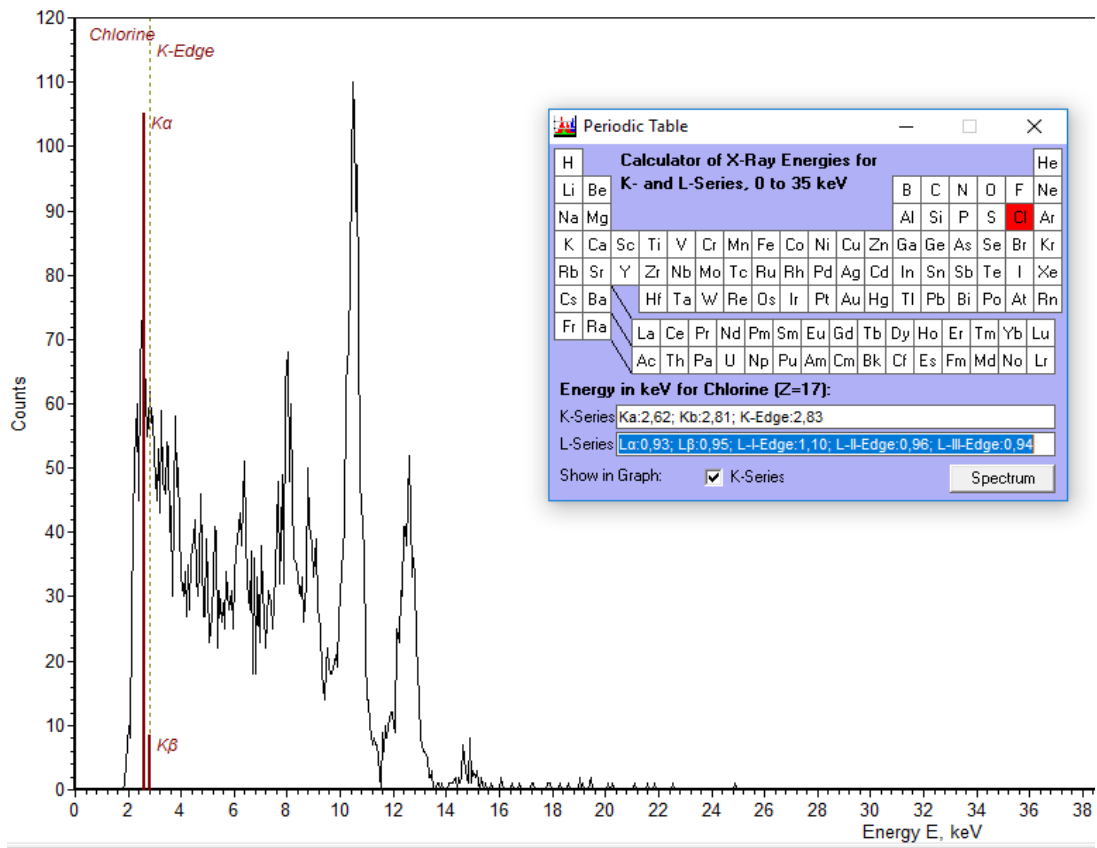
l'intensité :	la moyenne :
15	14,33333333
12	
15	
15	
13	
16	

Expérience N°_3



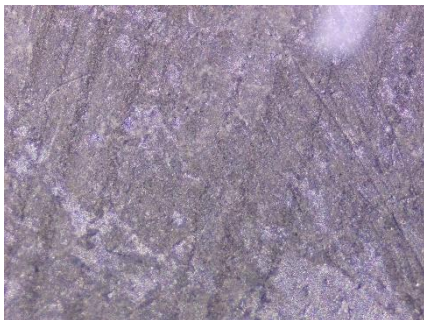
Expérience N°_4





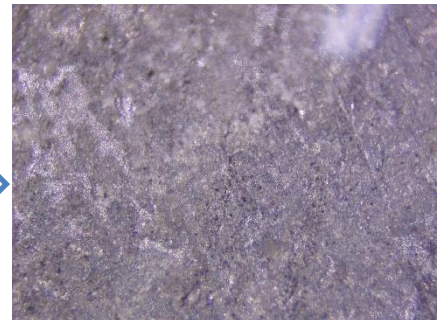
Expérience N°_5

Image de
microscopie
optiaue

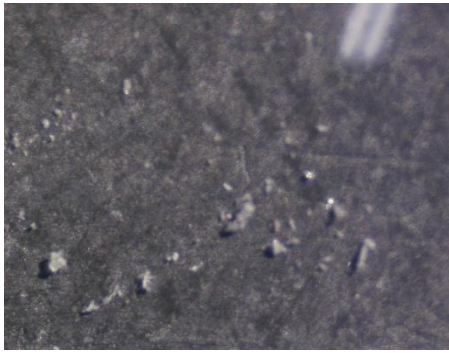


Optica (X4)

Pb 0,5 mm

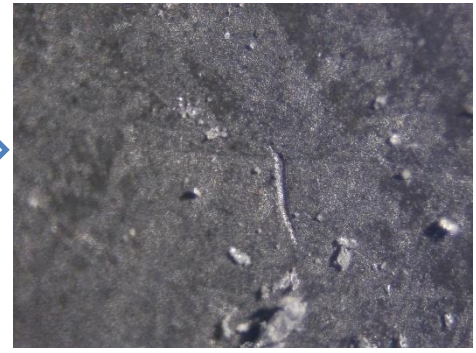


X 10



optica (X4)

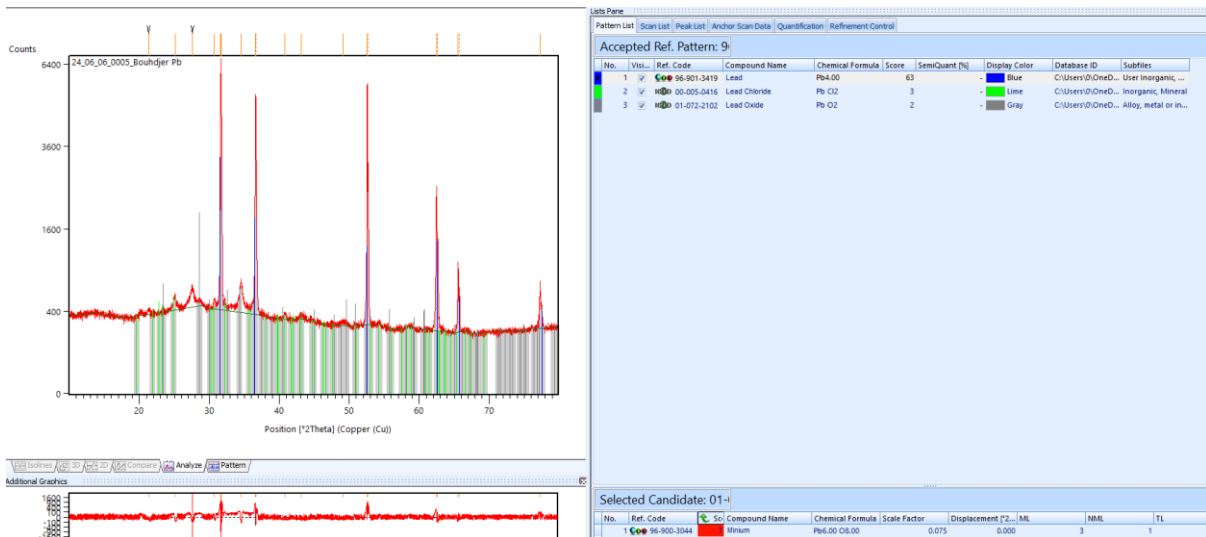
Pb 0,5 mm



X 10

Expérience N° 6

L'échantillon constitué de plomb a été soumis à une caractérisation approfondie par diffraction des rayons X, réalisée à l'aide d'un diffractomètre de type Proto-AXRD-LPD. Cet instrument est équipé d'une source de cuivre, qui émet une longueur d'onde de $\lambda=1.5408 \text{ \AA}$. Cette technique de caractérisation permet d'analyser les structures cristallines des matériaux en fournissant des informations précises sur les espacements inter-réticulaires et les symétries des phases présentes.



2.2 Discussion :

- D'après notre première expérience et d'après les résultats qui sont interprétés dans le graphe d'intensité direct, on voit que l'intensité est inversement proportionnelle à la distance entre l'origine de faisceau de rayon X et le détecteur, et c'est évidemment logique car plus on s'éloigne de la source du faisceau plus l'intensité diminue.
- Dans notre deuxième expérience et d'après le graphe d'intensité des rayons X à travers un échantillon de plomb de 0,5 mm qui reflète les résultats de cette expérience, on voit que le plomb est une barrière efficace contre les rayons X il sert à les absorber et les réfléchir à cause de sa densité et ses interactions avec ces rayons, ainsi la distance joue le même rôle que l'expérience une.
- Quand on voit les résultats de notre troisième expérience, on constate que l'épaisseur de 0,56 mm du plomb réfléchit les rayons X plus que l'épaisseur de 0,5 mm avec les mêmes distances des trois expériences précédentes (voir les graphes), aussi la distance joue le même rôle.
- Dans la quatrième expérience on voit plusieurs pics de notre échantillon, et pour voir ses composants on a les comparer avec les pics de la base des données de tableau périodique qui indique que les deux pics majeurs (Pb et Cl) sont de notre échantillon, pour l'autre pic du Cu est de la source des rayons X. (voir les figures de l'expérience 4)
- Notre deux échantillon est de bonne qualité, pas d'impureté, pas de fissure et ça ce qu'on voit dans le microscope optique. (Voir les images de l'expérience 5)
- Au cinquième expérience, les résultats de l'analyse révèlent que l'échantillon de plomb présente trois phases distinctes. La phase principale est constituée de plomb pur, cristallisé dans le système cubique avec un paramètre de maille de $a=4.92 \text{ \AA}$, appartenant au groupe spatial $Fm\bar{3}m$. Cette identification est confirmée par les données de la carte N 96-901-3419. La structure cubique du plomb pur indique une organisation atomique régulière et symétrique, caractéristique des métaux à haute densité électronique.
- En plus de la phase majoritaire de plomb pur, deux phases minoritaires ont été détectées : le chlorure de plomb $PbCl_2$ et l'oxyde de plomb PbO_2 . Le chlorure de plomb, identifié par la carte N 005-0416, est présent en raison de l'origine du plomb utilisé dans cette étude, provenant de batteries. Le milieu ionique des batteries est connu pour favoriser la formation de composés chlorés, expliquant ainsi la présence de $PbCl_2$ dans l'échantillon.
- L'oxyde de plomb PbO_2 , identifié par la carte N 072-2102, constitue la deuxième phase minoritaire. Sa présence est attribuée aux conditions non contrôlées de l'élaboration de l'échantillon. En effet, l'exposition du plomb à l'air ambiant, combinée à des facteurs environnementaux tels que l'humidité et la température, favorise l'oxydation du plomb et la formation de PbO_2 . Cette phase est couramment observée dans les matériaux à base de plomb soumis à des conditions atmosphériques normales.

3 Conclusion générale :

Le recyclage du plomb pour les applications de radioprotection est d'une importance capitale tant pour la préservation de l'environnement que pour la santé publique. Cette pratique permet non seulement de réduire la demande en ressources naturelles mais aussi de minimiser l'exposition aux radiations nocives grâce à l'efficacité du plomb comme barrière protectrice.

L'analyse par diffraction des rayons X a permis de déterminer avec précision la composition et la structure cristalline de l'échantillon de plomb. Les résultats montrent une prédominance de plomb pur, accompagnée de phases minoritaires de chlorure de plomb et d'oxyde de plomb. Ces informations sont cruciales pour comprendre les propriétés et les comportements de ce matériau dans diverses applications, notamment celles impliquant des conditions environnementales variables et des sources de plomb recyclé.

Notre technique de recyclage et notre résultats impressionnantes, nous permettons de voir l'Algérie dans la route de recyclage du plomb pour la production radioprotection.

En regardant vers l'avenir, il est impératif que l'industrie, les chercheurs et les décideurs travaillent de concert pour assurer que le recyclage du plomb soit effectué de manière sécuritaire et responsable, maximisant ainsi son potentiel pour la protection contre les rayonnements X et autres formes de radiations ionisantes.

4 Références (APA 7) :

- ¹ Furukawa, J., Momma, D., Lam, T. L., Louey, R., & Haigh, P. N. (2011). Electrode et dispositif de stockage électrique pour système plomb-acide.
- ² Jwaida, Z., Dulaimi, A., Mydin, M. A. O., Özkılıç, Y., Jaya, R., & Ameen, A. (2023). The Use of Waste Polymers in Asphalt Mixtures: Bibliometric Analysis and Systematic Review. *Journal of Composites Science*.
- ³ Admin, A., de TOVE Kofi-Mensa, S., Herbert, F., Fabien, G., Djivèdé, A., Gil-Christ, A. B., Miralda, K., Patricia, Y. A., Olivier, B., & Vicentia, B. (2020). Radioprotection en imagerie médicale dans les hôpitaux du nord Bénin. *Journal Africain d’Imagerie Médicale (J Afr Imag Méd)*. Journal Officiel de La Société de Radiologie d’Afrique Noire Francophone (SRANF).
- ⁴ Wang, X., Yang, J., Wang, Y., Miao, Q., Wang, F., Zhao, A., Deng, J., Li, L., Na, X., & Vlacic, L. (2023). Steps Toward Industry 5.0: Building “6S” Parallel Industries With Cyber-Physical-Social Intelligence. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 10, 1692–1703.
- ⁴ Kour, K., Gupta, D., Gupta, K., & Bali, M. S. (2021). IoT: Systematic Review, Architecture, Applications and Dual Impact on Industries. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1022.
- ⁵ Akbar, W. A., Rahim, H. U., Irfan, M., Sehrish, A. K., & Mudassir, M. (2023). Assessment of heavy metal distribution and bioaccumulation in soil and plants near coal mining areas: implications for environmental pollution and health risks. *Environmental Monitoring & Assessment*, 196, 1–20.
- ⁵ O’Shea, M. J., Toupal, J., Caballero-Gómez, H., McKeon, T., Howarth, M., Pepino, R., & Gieré, R. (2021). Lead Pollution, Demographics, and Environmental Health Risks: The Case of Philadelphia, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18.
- ⁶ Du, N., Fathollahi-Fard, A. M., & Wong, K. Y. (2023). Wildlife resource conservation and utilization for achieving sustainable development in China: main barriers and problem identification. *Environmental Science and Pollution Research International*, 1–20.
- ⁶ Veena, Ch., J, A. R., Jose, A., Singla, A., Sethi, V. A., Al-Farouni, M., & Parmar, A. (2024). Understanding Sustainable Alternatives for Industrial Waste Apart from Landfills. *E3S Web of Conferences*.
- ⁶ Pradhan, D., Mahanty, A., Mohanty, S., Samantaray, K., & Mohanty, B. (2022). Brewer’s spent yeast replacement in carp diet leads to muscle biomass production, recycling, waste management and resource conservation. *Fish Physiology & Biochemistry*.
- ⁷ Chirilov, I. (2023). Tendances dans le domaine de l’entrepreneuriat social en Europe. *Culegere de Lucrari Stiintifice: Simpozion Stiintific al Tinerilor Cercetatori*, Vol 1.
- ⁸ Wang, W., Liu, Y., Li, S., Dong, K., Wang, S., Cai, P., Hou, L., Dou, H., Liang, D., Algadi, H., & Fan, W. (2023). Lead-free and wearing comfort 3D composite fiber-needled fabric for highly efficient X-ray shielding. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 6, 1–11.

⁸ Náfrádi, B., Náfrádi, G., Forró, L., & Horváth, E. (2015). Methylammonium Lead Iodide for Efficient X-ray Energy Conversion. *Journal of Physical Chemistry C*, 119, 25204–25208.

⁸ Khosravi, H., Sani, K. G., Nikzad, S., & Jafari, S. (2023). Designing Flexible Shield From Lead With High Protection Against X-rays in Operating Room Using Monte Carlo Simulation. *Avicenna Journal of Care and Health in Operating Room*.

⁹ Barbosa, N., Daza, A., Plazas, M. C., & Paul, D. (2014). Élaboration de verre plombé radioprotecteur en Colombie : caractérisation des échantillons en fonction de leur concentration d'oxyde de plomb. *Radioprotection*, 49, 177–181.

⁹ Allodji, S. R. (2011). Prise en compte des erreurs de mesure dans l'analyse du risque associée à l'exposition aux rayonnements ionisants dans une cohorte professionnelle : application à la cohorte française des mineurs d'uranium.

¹⁰ Naeem, M. (2023). The Role of Diagnostic Medical Imaging Community in Responding to Nuclear and Radiological Events in Urban Environments. *Prehospital and Disaster Medicine*, 38, s215–s215.

¹⁰ Rostamzadeh, A., Amiri, M., Salehi, M., & Masoumi, Hossein. (2015). Medical imaging modalities: Prevention of unnecessary orders and non-optimized radiation exposure. *International Journal of Epidemiologic Research*, 2, 162–163.

¹⁰ Gutiérrez, R., Cerquera, E. A., & Mañana, G. (2012). MPGD for breast cancer prevention: a high resolution and low dose radiation medical imaging. *Journal of Instrumentation*, 7.

¹¹ Koduri, S. K. (2014). Bouclier actif pour imagerie par rayons x.

¹¹ Patricia, Y., Sonia, A., Christelle, L., Boris, A., Gabriel, N., de Tove Kofi-Mensa, S., Olivier, B., & Vicentia, B. (2021). État des lieux de la radioprotection du personnel de services d'imagerie médicale du sud Bénin en 2019. *Journal Africain d'Imagerie Médicale (J Afr Imag Méd)*. *Journal Officiel de La Société de Radiologie d'Afrique Noire Francophone (SRANF)*.

¹² Jon, S.-G. (2010). Rhétoriques particulières et rhétoriques ondulatoires. 17–29.

¹³ <https://www.omniradiationbalancer.com/blogs/news/difference-ionizing-nonionizing-radiation>

¹⁴ Neubert, M., & Molvaut, M. (1983). Les rayonnements non ionisants: lasers, micro-ondes ou hyperfréquences, hautes fréquences. 64, 49–52.

¹⁵ Roy, K. R. (2007). Using Ionizing Radiation: A Hot Opportunity? *The Science Teacher*, 74, 14.

¹⁶ Tubiana, M. (1996). Wilhelm Conrad Röntgen et la découverte des rayons X. *Bulletin De L Academie Nationale De Medecine*, 180, 97–108.

¹⁷ Dormont, H. (1968). CONTRIBUTION A LA THÉORIE MAGNÉTOHYDRODYNAMIQUE DU PINCH θ . *Le Journal De Physique Colloques*, 29.

¹⁸ Baptist, R. (1998). Tube a rayons x comportant une source d'électrons a micropointes et des moyens de guidage magnetique.

¹⁸ Holm, K., & Nilsson, L. (2004). Tube a rayons x pour emissions de doses elevees.

¹⁹ <https://radiologie-scanner.blogspot.com/p/rayon-x-production-et-interaction-avec.html>

²⁰ Strasser, A. (1991). Realisation et caracterisation d'une source experimentale de rayonnement de freinage dans le cadre du developpement industriel des techniques d'irradiation.

²⁰ Etude du spectre d'énergie d'un tube à rayons X en fonction de la haute tension et du courant d'émission. (2000).

²¹ Häntsch, H., Hatzfeld, F., Philipps, B., & Bauer, W. (2011). Appareil de radiographie et procédé permettant de réaliser des radiographies à des fins de diagnostic en médecine dentaire et en orthodontie.

²² Frilley, M., & Lefort, M. (1959). Dosimétrie absolue pour des rayons X d'énergie moyenne 23 keV étalonnage du sulfate ferreux. Journal De Physique Et Le Radium, 20, 516–518.

²³ Gravereau, P. (2011). Introduction à la pratique de la diffraction des rayons X par les poudres Sciences Chimiques

²⁴ Coussot, P. (2020). Rhéophysique, la matière dans tous ses états.

²⁵ Udron, D. (1990). Etude de la structure locale et des proprietes electroniques des composes semiconducteurs iii-v amorphes.

²⁶ Fonner, D. E., Banker, G. S., & Swarbrick, J. (1966). Micromeritics of granular pharmaceutical solids. I. Physical properties of particles prepared by five different granulation methods. Journal of Pharmacy and Science, 55 2, 181–186.

²⁷ Derrien, J. (1990). Surface des solides - Propriétés électroniques. Physique Chimie

²⁸ <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/1166/amorphe>

²⁹ Duquesne, J. (1985). Anélasticité des solides amorphes tétracoordonnés et polymériques : étude des excitations (tunnel et activées) de faibles énergies.

³⁰ Lemoine, T. (2015). Imagerie médicale par rayons X - Dose et sources de rayons X. Technologies Biomédicales.

³⁰ Bas, J. L., Charvet, A., Elleaume, H., Bertrand, B., Estève, F., Spanne, P., & Suortti, P. (1995). Une nouvelle source de rayons X pour la recherche en imagerie médicale et en radiothérapie : le rayonnement synchrotron. Bulletin Du Cancer, 82.

³¹ Frandes, M. (2010). Gamma-ray detection and Compton camera image reconstruction with application to hadron therapy. (Détection des rayons gamma et reconstruction d'images pour la caméra Compton : Application à l'hadronthérapie.).

³² Guitard, L., Stolidi, A., Jarnac, A., & Primot, J. (2023). Technique d'imagerie par rayons X en contraste de phase pour du contrôle de matériaux composite. *E-Journal of Nondestructive Testing*.

³³ Chaleil, A. (2016). Développement d'une source de rayonnement X par diffusion Compton inverse sur l'accélérateur ELSA et optimisation à l'aide d'un système d'empilement de Photons.

³⁴ Coraux, J. (2006). Etude par spectroscopie X en condition de diffraction de la croissance et de l'encapsulation de boîtes quantiques GaN/AlN.

³⁵ Cordurie, G. (1991). Etude d'un dispositif d'imagerie par lecture de particules chargées.

³⁶ Jammes, L. (1988). Photoproduction de pions neutres au voisinage du seuil sur les noyaux d'hélium 4, de carbone 12 et de calcium 40.

³⁷ Bas, J. L., Charvet, A., Elleaume, H., Bertrand, B., Estève, F., Spanne, P., & Suortti, P. (1995). Une nouvelle source de rayons X pour la recherche en imagerie médicale et en radiothérapie : le rayonnement synchrotron. *Bulletin Du Cancer*, 82.

³⁸ Adam, J. (2003). Tumeurs cérébrales & rayonnement synchrotron : développements méthodologiques en imagerie quantitative de la perfusion et en radiothérapie renforcée par effet photo-électrique.

³⁸ Cloquet, C., Defrise, M., & Goldman, S. (2011). Optimiser l'utilisation des données en reconstruction TEP: modélisation de résolution dans l'espace image et contribution à l'évaluation de la correction de mouvement.

³⁸ Lemoine, T. (2015). Imagerie médicale par rayons X - Dose et sources de rayons X. *Technologies Biomédicales*.

³⁹ S., T., Port, Briscoe, A. C., & Chevrier, V. (2019). THE EFFECTS OF VENUSIAN TEMPERATURES , PRESSURES , AND CO 2 ON LEAD MINERALS.

⁴⁰ Goix, S. (2012). Origine et impact des pollutions liées aux activités minières sur l'environnement (eau-sol-atmosphère) et la santé, cas de Oruro (Bolivie).

⁴¹ Elloumi, N., Abdallah, F. B., Imed Mezghani, & Boukhris, M. (2003). Accumulation du plomb par quelques espèces végétales cultivées au voisinage d'une fonderie de plomb à Sfax. 45, 285–293.

⁴² Hussaini, S., Tita, A., Kursunoglu, S., Top, S., & Kaya, M. (2023). Recovery of Lead and Zinc from a Citric Leach Solution of a Non-sulfide Type Ore Flotation Tailing via Precipitation Followed by Solvent Extraction. *JOM*, 75, 1569–1580.

⁴² Nguyen, T. D., Nguyen, K. D., & Nguyen, N. T. (2021). Mineralogical and Geochemical Characteristics of Lead-zinc Ore Deposits, and Potential Accompanying Components in the Cho Don - Cho Dien Area, Bac Kan Province, Vietnam. *Inżynieria Mineralna*.

⁴³ Mu, T., Wu, T., Zhou, T., Li, Z., nan You-Ouyang, Jiang, J., Zhu, D., Hou, J., Wang, Z., Luo, Y., Christie, P., & Wu, L. (2019). Geographical variation in arsenic, cadmium, and lead

of soils and rice in the major rice producing regions of China. *Science of the Total Environment*, 677, 373–381.

⁴³ Choi, J.-H., Park, S.-J., Kim, H. R., jin Hee-Kwon, Park, K.-M., On, Y., Kim, J. S., Kim, J. Y., & Jung, W. (2021). Transvenous lead extraction using the TightRail mechanical rotating dilator sheath for Asian patients. *Scientific Reports*, 11, 1–9.

⁴⁴ <https://www.algerie-eco.com/2023/02/21/gisement-de-zinc-et-plomb-damizour-lentree-en-exploitation-prevue-en-2026/>

⁴⁴ <https://www.aps.dz/regions/158704/-mine-de-zinc-plomb-d-oued-amizour-finalisation-de-toutes-les-etudes-en-vue-du-lancement-du-projet>

⁴⁵ Furukawa, J., Momma, D., Lam, T. L., Louey, R., & Haigh, P. N. (2011). Electrode et dispositif de stockage électrique pour système plomb-acide.

⁴⁶ Muresan, L. (2023). Nanocomposite Coatings for Anti-Corrosion Properties of Metallic Substrates. *Materials*, 16.

⁴⁷ Graia, T. (1987). Conducteurs par ions oxygène : propriétés structurales et électriques d'oxydes mixtes de bismuth, de cadmium et de plomb.

⁴⁷ Bercegol, A. (2016). Développement de composites thermoélectriques Mg₂Si/MoS₂ extrudés à chaud.

⁴⁸ Derradji, M., Mouloud, A., Trache, D., Zegaoui, A., Medjahed, A., Tarchoun, A. F., & Bessa, W. (2019). Preparation and characterization of a new high-performance polymer composite and its application as a lead-free polymer-based projectile. *High Performance Polymers*, 32, 550–558.

⁴⁹ Budošová, D., Horvathova, M., Bárđyová, Z., & Balázs, T. (2022). CURRENT TRENDS OF RADIATION PROTECTION EQUIPMENT IN INTERVENTIONAL RADIOLOGY. *Radiation Protection Dosimetry*, 198 9-11, 554–559

⁴⁹ Revathy, P., & Kaginelli, S. B. (2023). Quality assurance of lead aprons for radiation protection. *Radiation Protection Dosimetry*, 199 20, 2491–2494.

⁵⁰ Pagano, F., Král, J., Děcká, K., Pizzichemi, M., Mihóková, E., Čuba, V., & Auffray, E. (2024). Nanocrystalline Lead Halide Perovskites to Boost Time-of-Flight Performance of Medical Imaging Detectors. *Advanced Materials Interfaces*, 11.

⁵¹ Cochard, C. (2015). Pb(Yb_{1/2}Nb_{1/2})O₃-PbTiO₃ : a model solid solution for the study of the different polar orders.

⁵² Zhu, X., Zhang, W., Zhang, L., Zuo, Q., Yang, J., & Han, L. (2019). A green recycling process of the spent lead paste from discarded lead–acid battery by a hydrometallurgical process. *Waste Management Research*, 37, 508–515.

⁵³ Tian, X. (2015). Quantitative Research of Environmental Benefits of Recycling Lead from Obsolete CRT. *Research of Environmental Sciences*.

⁵⁴ Cabral, M., Dieme, D., Touré, A., Diop, C., Jichi, F., Cazier, F., Fall, M., & Diouf, A. (2012). Impact du recyclage des batteries de véhicules sur la santé humaine et l'environnement : étude pilote effectuée sur des femmes de Colobane et des mécaniciens de Médina. *Annales De Toxicologie Analytique*, 24, 1–7.

⁵⁵ Lonceint, R. (2017). Gérer collectivement les tensions organisationnelles du travail : les stratégies d'articulation des logiques de soin et de radioprotection en médecine nucléaire. 25, 29–50.

⁵⁶ Vecchia, P., Matthes, R., Feychting, M., Green, A., Jokela, K., Lin, J. C., Peralta, A. P., Saunders, R., Schulmeister, K., Söderberg, P., Stuck, B., Swerdlow, A. J., & Veyret, B. (2010). ICNIRP STATEMENT—PROTECTION OF WORKERS AGAINST ULTRAVIOLET RADIATION. *Health Physics*, 99, 66–87.

⁵⁷ Perineau, P. (1994). Brique en plomb munie d'un revêtement résistant et procédé d'application du revêtement.

⁵⁸ Descours, S., & Guérin, P. (1981). Appareil de contrôle en continu du tritium dans l'eau. *Radioprotection*, 16, 15–23.

⁵⁹ Légaré, J., Carrières, P., Manseau, A., Bibeau, C., Robert, J., & Robidoux, N. (1978). Blindage contre les grands champs de rayons X primaires et diffusés des appareils triphasés au moyen de panneaux de verre, de gypse et de plomb acoustique. *Radioprotection*, 13, 79–95.

⁵⁹ Garnier, P., Calvarin, G., & Weigel, D. (1976). Oxydes de plomb: III. Etude par diffraction des rayons X sur poudre des transitions ferroélectrique et ferroélastique de l'oxyde Pb₃O₄. *Journal of Solid State Chemistry*, 16, 55–62.

⁵⁹ Joffrin, C., Benoit, J., Deschamps, L., & Lambert, M. (1977). Étude par diffraction et diffusion de rayons X de la transition de phase ferroélastique du phosphate de plomb : Pb₃(PO₄)₂. *Journal De Physique*, 38, 205–213.

⁶⁰ Kokou, A., Armande, D., David, H. G., Amoussou, Komla, Yao, A. A. M., Marcellin, A.-G. K., Adjénou, & Victor. (2020). Usage des Rayonnements ionisants en milieu médical à Cotonou (Benin). *Journal Africain d'Imagerie Médicale (J Afr Imag Méd)*. *Journal Officiel de La Société de Radiologie d'Afrique Noire Francophone (SRANF)*.

Résumé :

Le plomb est une ressource importante dans différents domaines, tels que la radioprotection grâce à ces caractéristiques impressionnantes. Il existe naturellement dans les minerais et industriellement dans les batteries (négligeant les autres sources naturelles et non naturelles).

D'après les trois méthodes qu'on a utilisées dans nos expériences, on conclut que le plomb est une barrière efficace contre les rayons X, avec un coefficient d'absorption étonnant (méthodes d'absorption). Notre échantillon de plomb est recyclé d'une batterie de voiture Pb-acide, on détecte avec le rayon X de fluorescence que notre échantillon est composé du Pb en majorité avec le Chlore. D'autre part, la DRX détecte précisément que notre échantillon est composé du Pb comme majoritaire, $PbCl_2$ et PbO_2 comme minoritaires à cause de sa source (batterie Pb-acide) et des paramètres tels que l'humidité et la température, respectivement.

Notre étude de recyclage de Pb et malgré sa toxicité, permet de servir d'un côté l'environnement en débarrassant de la pollution et en réservant les ressources naturelles du Pb, d'autre côté enrichir l'économie Algérienne en réduisant les coûts de prospection du Pb, créer les emplois et fermer l'importation des matériaux de radioprotection qu'on peut les produisant ici.

Abstract :

Lead is an important resource in various fields, including radiation protection due to its impressive characteristics. It occurs naturally in ores and industrially in batteries (excluding other natural and non-natural sources).

Based on the three methods used in our experiments, we conclude that lead is an effective barrier against X-rays, with a remarkable absorption coefficient (absorption methods). Our lead sample is recycled from a lead-acid car battery. Fluorescence X-ray analysis confirms that our sample is primarily composed of lead along with chlorine. Additionally, X-ray diffraction (XRD) precisely identifies lead as the major component $PbCl_2$ PbO_2 as minority because of its source (Pb-acid battery) and parameters such as humidity and temperature, respectively.

Despite its toxicity, our lead recycling study serves two purposes : it helps protect the environment by reducing pollution and conserving natural lead resources, while also contributing to Algeria's economy by lowering lead prospecting costs, creating jobs, and reducing the need for importing radiation protection materials that can be produced locally.

ملخص :

الرصاص هو مورد مهم في مجموعة متنوعة من المجالات، مثل الحماية من الإشعاع بفضل خصائصه المذهلة. يوجد بشكل طبيعي في الخامات المعدنية وصناعياً في البطاريات (باستثناء المصادر الأخرى الطبيعية وغير الطبيعية)

بناءً على الطرق الثلاث التي استخدمناها في تجاربنا، نستنتج أن الرصاص يعد حاجزاً فعالاً ضد الأشعة السينية، مع معامل امتصاص مذهل (طرق الامتصاص). عينتنا من الرصاص معاد تدويرها من بطارية سيارة حمض الرصاص، ونكتشف من خلال الأشعة السينية المنبعثة أن عينتنا مكونة أساساً من الرصاص بالإضافة إلى الكلور. من ناحية أخرى، يكتشف التفاضل البلوري بدقة أن عينتنا مكونة أساساً من الرصاص، و كلوريد الرصاص أكسيد الرصاص كمكونات ثانوية بسبب مصدرها (بطارية حمض الرصاص) والمعلومات مثل الرطوبة ودرجة الحرارة، على التوالي.

تسمح دراستنا لإعادة تدوير الرصاص، على الرغم من سميته، بخدمة البيئة من خلال التخلص من التلوث والاحتفاظ بالموارد الطبيعية للرصاص، وفي الوقت نفسه تعزيز الاقتصاد الجزائري من خلال تقليل تكاليف استكشاف الرصاص. وخلق فرص العمل وإغلاق استيراد مواد الحماية من الإشعاع التي يمكن أن ننتجها هنا.

ⁱ Tomodensitométrie.

ⁱⁱ Equipement de protection individuelle.