



Université Saâd DAHLAB de Blida



Faculté des Sciences

Département de : Physique.

Mémoire Présenté par :

M^{lle} Hadj-Ahmed Sarah

M. Laksas Mohamed

En vue d'obtenir le diplôme de Master

Domaine : Sciences de la matière.

Filière : Physique.

Spécialité : Physique médicale.

Option : Radiothérapie.

Sujet : Etablissement de la procédure d'étalonnage des détecteurs de contamination surfacique

Soutenu le : 15 septembre 2011, devant le jury composé de :

M. R.Khelifi	Maitre de conférence	USDB	Président
M. M.Chekirine	Chargé de cours	USDB	Examineur
M. B.Hocini	Chargé de recherche	USDB	Examineur
M. M. Arib	Maitre de Recherche	CRNA	Rapporteur

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail :

-  *A mon très cher père.*
-  *A ma très chère mère.*
-  *A mon très cher frère Amine.*
-  *A mes très chères sœurs Hassiba,
Amel, Ahlem.*
-  *A mes très chères amis :B.
Soumia, G. Soumia.*
-  *A tous mes amis de la promotion
2010-2011 de Blida.*
-  *A mon mari B. Moussa.*

Sarah

Remerciement

« Tout d'abord : nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir accordé la chance de poursuivre nos études au sein de l'université de Blida »

Nous remercions monsieur M Arib, chargé de recherche au CRNA qui à bien voulu nous accompagné tout au long de la préparation de ce projet.

Nous lui sommes spécialement reconnaissants, pour le temps qu'il nous a consacré, pour sa disponibilité, pour son aide et ses précieux conseils.

2.4.1.3.4. Repense en énergie.....	14
2.4.1.3.5. Les caractéristiques géométriques.....	14
2.4.2. Détecteurs fondamentaux de mesure.	
2.4.2.1. Mesures par chambre d'ionisation.....	16
a. La babyline.....	17
b. Les dosimètres.....	17
b.1. Dosimètre solides.....	18
b.2. Dosimètre photographique.....	18
b.3. Dosimètre de neutrons.....	18
2.4.2.2. Mesures par compteur Geiger-Muller.....	18
2.4.2.3. Mesures par détecteurs à semi-conducteurs.....	19
2.4.2.4. Mesure par détecteur à scintillation.....	20
2.4.2.5. Mesure par détecteur de la contamination.....	20
2.4.2.5.1. Différentes formes de détecteurs de contamination.....	21

Chapitre 3. La contamination et sa mesure.

3.1. Contamination radioactive.	
3.1.1. Définition.....	22
3.1.2. L'origine de la contamination.....	22
3.1.3. Nature de la contamination.....	22
3.1.4. Les types de contamination.	
a. La contamination alpha.....	23
b. La contamination bêta.....	23
c. La contamination gamma.....	23
3.1.5. Les catégories de la contamination.	
3.1.5.1. La contamination atmosphérique.....	23
3.1.5.2. La contamination surfacique.....	23
a. Contamination fixée.....	24
b. Contamination non fixée.....	24
3.1.5.3. Contamination corporelle.....	24
3.1.6. Les notes pratiques de détection de la contamination surfacique.....	24
3.2. Mesure de la contamination.	
3.2.1. Technique de mesure de la contamination surfacique.....	25
a. Les poussières radioactives surfaciques.....	25
b. Mesure.....	25

Chapitre 4. Procédure d'étalonnage des détecteurs de contamination.

4.1. Introduction.....	27
4.1.1. Définition de l'étalonnage.....	27
4.1.2. L'instrument à étalonnée.....	27
4.1.3. Le but de l'étalonnage.....	28
4.2. Matériel utilisé.	
4.2.1. Détecteurs de contamination.....	28
4.2.2. Sources de référence.....	30
a. Le charbon 14.....	30
b. Le chlore 36.....	31
c. Le cobalt 60.....	32
d. Le strontium 90.....	33
e. Le césium 137.....	34
f. L'américium 241.....	35

4.2.3. Matériel de protection.....	35
4.3. Calcul de l'activité actualisée.....	36
4.3.1. Détecteur 1 (TRACERCO T 201).....	36
4.3.2. Détecteur 2 (900 mini-monitor).....	37
4.3.3. Détecteurs 3 (Nardeux MCB21).....	37
4.4. Mesure la réponse de détection en fonction de distance.	
4.4.1. Introduction.....	37
4.4.2. Méthode utilisée.....	38
4.5. Résultats des mesures.	
4.5.1. Mesure avec le Carbone 14.....	39
4.5.2. Mesure avec le chlore 36.....	40
4.5.3. Mesure avec le strontium 90.....	41
4.5.4. Mesure avec le cobalt 60.....	42
4.5.5. Mesure avec le césium 137.....	43
4.5.6. Mesure avec l'américium 241.....	44
4.5.7. Récapitulatif.....	45
4.5.8. Interprétation des résultats.....	47
4.6. Le rendement de détection.	
4.6.1. Définition.....	47
4.6.2. Résultats obtenus pour le détecteurs 1 (TRACERCO T201).....	48
4.6.3. Interprétation des résultats obtenus.....	50
4.7. Procédure d'étalonnage de détecteurs de contaminations surfaciques.	
4.7.1. Le but.....	50
4.7.2. Equipements utilisés.....	50
4.7.3. Conditions standards de mesure.....	50
4.7.4. Sources standards de référence.....	51
4.7.5. Géométrie d'étalonnage.....	51
4.7.6. Correction de l'activité.....	51
4.7.7. Calcul du facteur d'étalonnage.....	51
4.7.8. Résultats obtenus pour le détecteur 1 (TRACERCO T201).....	51
4.7.9. Interprétation des résultats obtenus.....	54
4.8. Détermination du rendement et étalonnage des autres détecteurs.....	54
4.8.1. Résultats obtenus pour trois détecteurs.....	54
4.8.2. Récapitulatif.....	55
4.8.3. Interprétation et conclusion.....	56
Conclusion.....	57

Chapitre 1

Radioactivité et sources radioactives

1.1. Généralités :

Le noyau des atomes reste stable malgré les forces de répulsion des protons entre eux, par suite de l'existence de forces de la cohésion intérieure au noyau. Mais il peut arriver que ces forces de cohésion ne soient pas suffisantes et le noyau considéré sera alors instable, il aura tendance naturellement à revenir à un état stable en éjectant un certain nombre de rayonnements [1].

On dit que le noyau se désintègre, on a affaire à un élément radioactif ou radioélément ou encore radionucléide.

1.2. Période radioactive :

La radioactivité est une propriété de certains atomes, dont le siège se situe dans le noyau.

Lorsque l'on a une certaine masse d'un corps radioactif, cette masse est constituée d'un grand nombre d'atomes. À chaque instant, au sein de cette masse, un certain nombre de noyaux se désintègrent, et ceci de façon aléatoire (tous les noyaux étant identiques, à un moment donné, il n'y a pas de raison pour qu'un noyau plutôt qu'un autre se désintègre et c'est donc au hasard parmi eux que se produisent les désintégrations). Par suite de celles-ci, le nombre de noyaux radioactifs diminue donc dans le temps. On appelle période radioactive T le temps au bout duquel la moitié de ces noyaux radioactifs aura disparu, au bout d'une période, la radioactivité d'un élément ne sera que la moitié de ce qu'elle était au début.

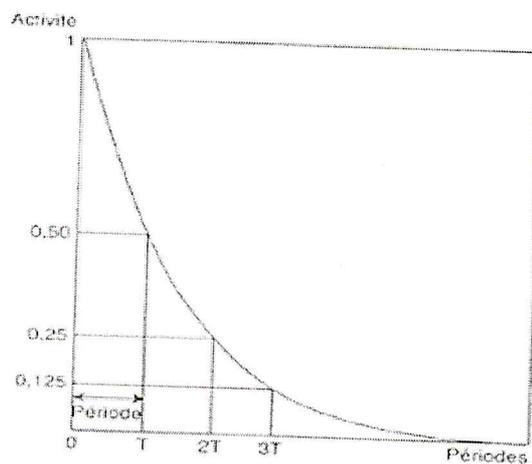


Fig. 1.1. *Décroissance radioactive*

La période radioactive d'un corps radioactif est une caractéristique physique très importante, car plus la période sera courte, plus le radioélément en question disparaîtra

rapidement ; plus elle sera longue, plus il subsistera longtemps [1]. Le tableau 1.1. Regroupe les périodes radioactives de quelques radionucléides.

Tableau 1.1. Périodes radioactives de quelques radionucléides

Radioélément	Période radioactive
Polonium 211	0,5 seconde
Iode 131	8 jours
Cobalt 60	5,24 ans
Tritium 3	12 ans
Strontium 90	28 ans
Césium 137	30 ans
Radium 226	1620 ans
Plutonium 239	24100 ans
Uranium 238	4,5 milliards d'années
Thorium 232	14,1 milliards d'années

1.3. Unités de radioactivité :

On caractérise l'activité d'une certaine masse d'un radioélément par le nombre de désintégrations qui se produisent en une seconde au sein de cette masse.

L'unité de radioactivité est donc la désintégration par seconde. On a donné à cette unité le nom de becquerel, du nom du physicien français Henri Becquerel (1852-1908).

$$1 \text{ becquerel (Bq)} = 1 \text{ désintégration par seconde}$$

Cette unité est très petite ; on utilisait initialement une unité beaucoup plus grande, le curie (Ci) [1].

$$1 \text{ Ci} = 37 \text{ milliards de Bq} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

1.4. Les différents types de rayonnements :

Un noyau radioactif se désintègre, comme, en émettant des rayonnements. Ceux-ci peuvent être de différents types :

Ce peuvent être des particules - chargées, électrons (rayonnement bêta (β)), rayonnement alpha (constitué de particules contenant deux protons et deux neutrons) ou rayonnements électromagnétiques. (Fig.1.2)

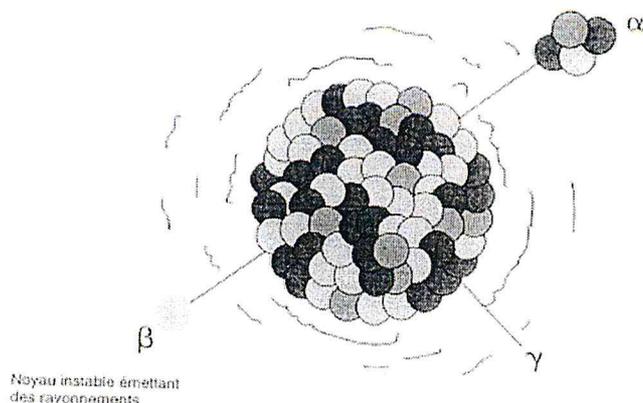


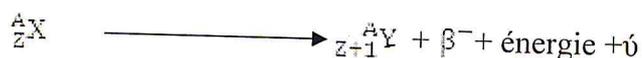
Fig. 1.2. Désintégration du noyau et rayonnement émis

1.4.1. Désintégration bêta :

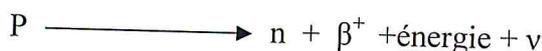
Une désintégration conduisant à l'émission d'électrons négatifs dite « désintégration β⁻ » résulte en fait de la désintégration au sein du noyau d'un de ses neutrons. Celle-ci se traduit par la réaction :



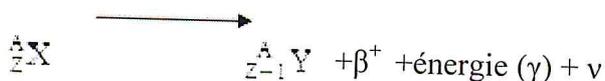
La désintégration d'un noyau ${}^A_Z X$ s'écrira de la façon suivante :



Beaucoup plus rares parmi les radioéléments sont ceux qui se désintègrent par émission d'électrons positifs (β⁺). Ce type de désintégration est dû à la transformation, au sein du noyau, d'un proton en neutron suivant le schéma suivant:

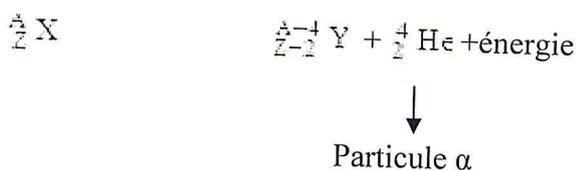


Soit une désintégration qui s'écrit :



1.4.2. Désintégration alpha :

Ce mode de désintégration ne se produit que pour les éléments lourds, ceux dont le nombre de masse A est élevé, tels uranium, plutonium La désintégration se représente par le schéma suivant :



1.5. Interaction de rayonnements avec la matière :

- **Les rayonnements directement ionisants :** Ce sont des rayonnements formés de particules chargées (α , β , protons).
- **Les rayonnements indirectement ionisants :**
 - a) Rayonnements électromagnétiques x ou γ qui agissent par l'intermédiaire d'électrons secondaires libérés dans le milieu traversé ;
 - b) Neutrons qui, par collision, donnent naissance à des protons de recul ou des noyaux lourds de recul, qui une fois ralentit, sont capturés par les noyaux des atomes du milieu traversé [1].

1.5.1. Rayonnements directement ionisants :

a. Electrons :

L'interaction des électrons d'énergie comprise entre quelques keV et quelques MeV s'effectue principalement par deux processus : la collision et le freinage.

- Collision : la collision s'effectue entre l'électron en mouvement et un électron périphérique
- Freinage (Bremstrahlung) : lorsque l'électron passe au voisinage du noyau d'un atome, il est soumis à une force d'attraction, émet alors un rayonnement électromagnétique.

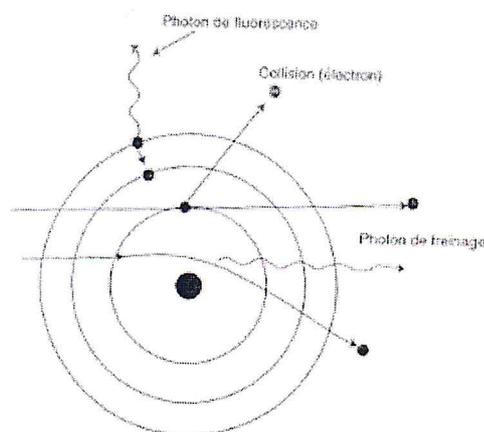


Fig. 1.3. interaction d'un électron avec la matière

b. Particules chargées lourdes (rayonnement alpha, proton) :

L'interaction se fait principalement par choc sur les électrons périphériques des atomes. Une partie de l'énergie de la particule incidente est donc cédée à l'électron choqué qui est en

principe éjecté, conduisant à une ionisation de l'atome, Le parcours dans la matière de ces particules lourdes est très faible : une épaisseur minime (quelques mm) de matière permettra donc d'arrêter totalement ce type de particules [1].

1.5.2. Rayonnements indirectement ionisants :

L'interaction des rayonnements électromagnétiques s'effectue principalement par trois processus : effet Compton, effet photoélectrique, création de paires.

a. Effet Compton :

C'est l'interaction la plus fréquemment observée dans la gamme d'énergie courante des γ (10 keV - 3 MeV) ; elle traduit l'interaction du rayonnement électromagnétique avec un électron périphérique d'un atome. Ce genre d'interaction se traite donc comme un choc entre deux projectiles : le photon et l'électron. Le schéma en est donné dans la (Fig.1.4)

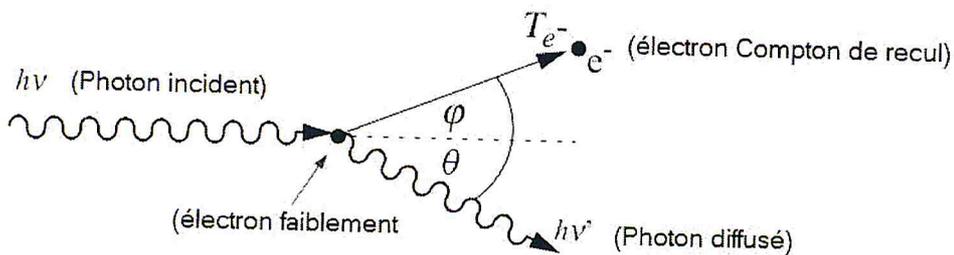


Fig. 1.4. Interaction par effet Compton

b. Effet photoélectrique :

Dans ce type d'interaction, le photon heurtant un électron périphérique lui cède toute son énergie, l'électron est éjecté avec une énergie cinétique sensiblement égale à la totalité du photon γ incident telle que on considère l'énergie de liaison est négligeable [1] (Fig.1.5).

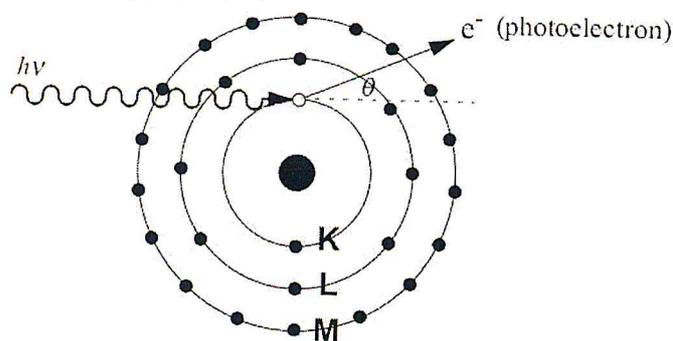


Fig. 1.5. Interaction par effet photoélectrique

c. Création de paire :

Uniquement si $E > 1\,022\text{ eV}$: l'énergie du photon incident est totalement absorbée pour la création d'une paire électron-positon. Ce processus est suivi d'une annihilation dans laquelle le positon et un électron s'annihilent mutuellement en générant un paire de photons de 511 keV émis à 180° l'un de l'autre [1].

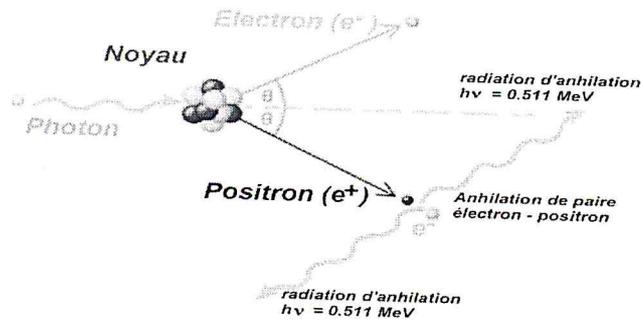


Fig. 1.6. Schéma d'une interaction de matérialisation

1.6. Prédominance des trois effets :

En considérant les 3 principaux types d'interaction des photons avec la matière, on peut diviser le domaine d'énergie en trois catégories (Fig.1.7) : celui où l'effet photoélectrique prédomine ($E < E_1$), celui relatif à l'effet Compton pour $E_1 < E < E_2$ et celui de l'effet de matérialisation [2].

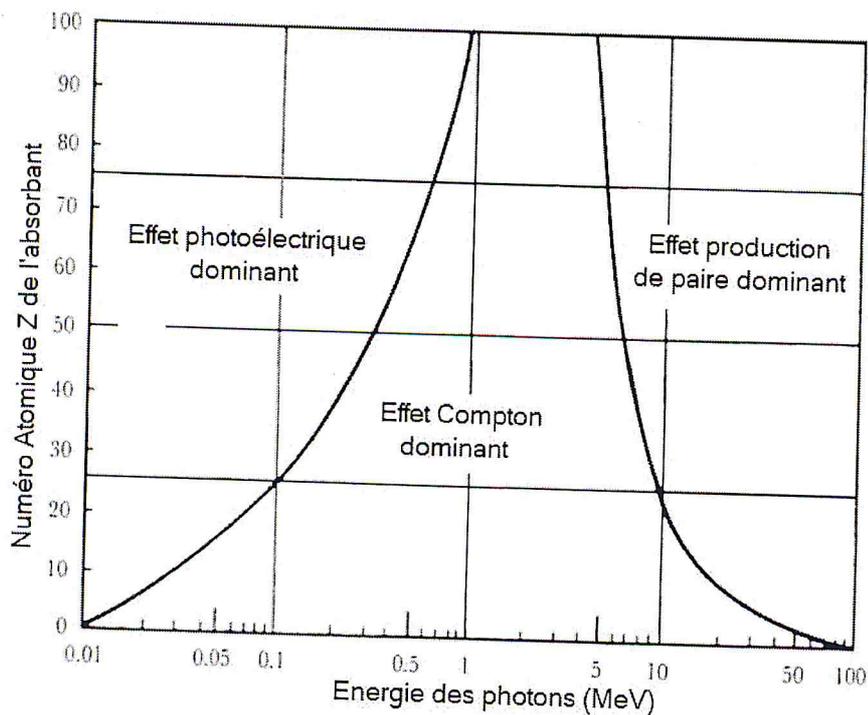


Fig. 1.7. types d'interaction des photons avec la matière

1.7. les sources radioactives :

Il existe deux types de sources : les sources scellées et les sources non scellées.

1.7.1. Les sources radioactives scellées :

Les sources de télé-thérapie et de curiethérapie sont des sources scellées. Une source radioactive scellée est définie comme étant une source contenue de matière permanente dans une capsule ou sous forme solide et entourée d'un bloc de protection. Les sources béta doivent être entourées d'un matériau de protection de numéro atomique faible (exemple : L'aluminium) [3].

1.7.2. Les sources radioactives non scellées

Une source radioactive non scellée est une source qui peut occasionner une contamination, c'est-à-dire dont la dissémination peut conduire à un état de souillure indésirable. Elle peut être sous forme solide, liquide ou gazeuse [4].

Chapitre 2

Radioprotection et instrument de mesure

2.1. Les paramètres de la radioprotection :

Le risque d'une telle irradiation concerne principalement les travailleurs du nucléaire ou d'industries ou d'établissements médicaux utilisant des sources de rayonnement. En temps normal, la population n'est pas exposée à des sources artificielles importantes de rayonnements, sauf en cas d'accident.

Il existe trois moyens de se protéger contre l'irradiation provenant d'une exposition externe :

2.1.1. Le temps :

Il peut intervenir de deux manières :

- on peut différer certaines opérations de façon à laisser décroître la radioactivité, ce qui entraînera une exposition moindre lors de ces opérations. C'est le cas notamment pour l'évacuation et le traitement de déchets radioactifs ;
- en diminuant la durée de l'exposition pour une opération donnée par une étude préalable des méthodes d'intervention et de la manière d'intervenir.
- Une bonne préparation du travail, des répétitions à blanc permettent de limiter les durées d'intervention en ambiance radioactive et, par suite, de réduire les expositions des intervenants [1].

2.1.2. La distance :

Plus l'on s'éloigne d'une source de rayonnements et moins l'exposition est importante.

L'intensité d'irradiation externe provenant d'une source ponctuelle diminue lorsqu'on s'en éloigne, comme l'inverse du carré de la distance. C'est ce que l'on appelle la loi en $1/d^2$. Autrement dit, l'intensité d'irradiation à 2 m d'une source ponctuelle sera quatre fois plus faible qu'à 1 m (à 10 m, cette irradiation sera cent fois plus faible qu'à 1 m). On a donc là un moyen pratique de réduire l'irradiation. Ceci constitue une règle importante en radioprotection: « se tenir le plus éloigné possible de toute source de rayonnement ».

2.1.3. Les écrans :

On a vu que les divers rayonnements étaient arrêtés ou au moins atténués à la traversée des matériaux ; interposer une certaine épaisseur de matière entre la source et les personnes

Présentes se traduit donc par une diminution de l'exposition de ces personnes. On utilisera donc, pour se protéger, des écrans.

Ces écrans dépendront de la nature des rayonnements émis par la source.

- On a vu que, quelques millimètres d'un matériau quelconque suffisaient pour arrêter des rayonnements. Les sources radioactives émettant ces rayonnements pourront donc simplement être enfermées dans une enveloppe mince (plastique ou autre) pour que l'on soit protégé de leur irradiation. Il faut d'ailleurs noter que quelque dizaines de centimètres d'air suffisent pour arrêter les α .
- Concernant les sources radioactives émettant des rayonnements β , le parcours de ces particules dans la matière va de quelques millimètres à plusieurs centimètres. Pour ces rayonnements, il sera donc, là aussi, facile de s'en protéger en enfermant la source dans des conteneurs ou enceintes plastiques ou métalliques de quelques centimètres d'épaisseur au plus (à titre d'exemple, 1 cm de Plexiglas arrête tous les β d'énergie inférieure à 2 MeV).

Il est cependant nécessaire de penser à l'existence du rayonnement de freinage qui est émis lorsque les β sont arrêtés par le matériau constituant l'écran. En effet, ce rayonnement électromagnétique est très pénétrant et sort de l'écran, créant de l'autre côté de celui-ci une exposition qui peut ne pas être négligeable si la source β a une radioactivité importante. Dans ce cas, des écrans additionnels sont nécessaires pour l'arrêter. Afin de minimiser la production de ce rayonnement de freinage, il sera nécessaire d'utiliser pour arrêter les β des écrans en matériaux légers (plastiques, Plexiglas...), car la proportion de rayonnement de freinage émis est d'autant plus importante que la densité du milieu que rencontrent les β est élevée.

- En ce qui concerne le rayonnement électromagnétique γ et X, les rayonnements sont beaucoup plus pénétrants et il faudra utiliser des écrans de forte épaisseur pour les atténuer. On utilisera des matériaux denses qui sont plus efficaces tel que le plomb mais aussi le béton. Pour des sources intenses, plusieurs mètres de béton seront nécessaires. C'est le cas des cellules blindées dans lesquelles on examine des combustibles irradiés dans les réacteurs ou des échantillons fortement radioactifs. Celles-ci ont des parois en béton d'au moins 2 m d'épaisseur. C'est le cas aussi des conteneurs qui transportent les combustibles irradiés des centrales nucléaires jusqu'à l'usine où ils seront retraités (usine de La Hague) qui ont une épaisseur de plusieurs dizaines de centimètres de plomb.

Lorsqu'on interpose un écran entre une source α ou γ et l'extérieur, la géométrie est souvent celle donnée dans la Figure 2.1.

Au point P de l'autre côté de l'écran, le rayonnement pourra avoir été considérablement atténué et l'exposition y sera faible. Cependant il faut penser qu'une partie du rayonnement peut être réfléchi par l'air au-dessus de l'écran et que les γ diffusés peuvent atteindre le point

P s'ajoutant alors à l'exposition due au rayonnement résiduel direct qui n'a pas été totalement arrêté par l'écran. On appelle cet effet « l'effet de ciel » et s'il risque d'être important, il faut mettre un plafond à l'enceinte dans laquelle on enferme la source. Ce plafond pourra avoir une épaisseur plus faible que l'écran arrêtant le rayonnement direct. Une bonne géométrie de protection est donc donnée dans la Figure 2.2 [1].

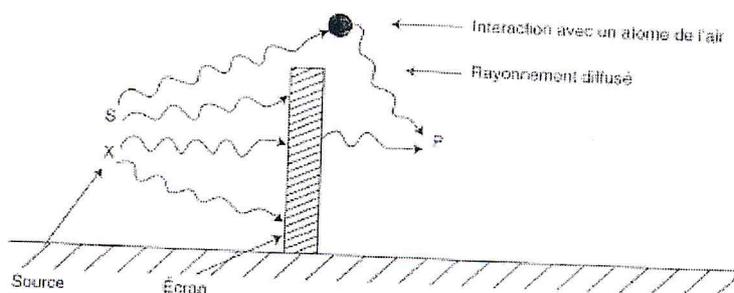


Fig. 2.1. Atténuation par écran

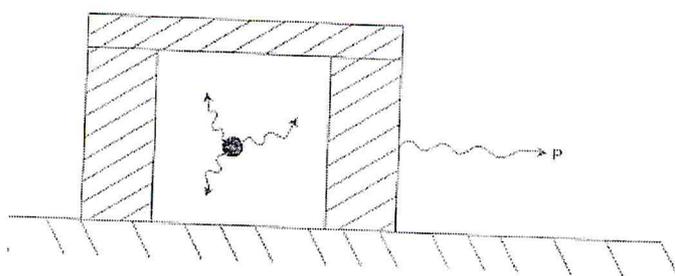


Fig. 2.2. Effet de ciel

2.2. Exigence de la radioprotection :

Les principes de la radioprotection et de la sûreté concernant les pratiques sont les suivants:

a) Justification des pratiques :

"Une pratique ou une source associée à une pratique ne devrait être autorisée que si la pratique procure aux individus exposés ou à la société un avantage suffisant pour compenser les effets radiologiques nocifs qu'elle pourrait entraîner, c'est-à-dire si la pratique est justifiée, compte tenu des facteurs sociaux, économiques et des autres facteurs pertinents."

Le processus destiné à déterminer si une pratique est justifiée comporte l'étude de toutes les doses d'irradiation reçues par les travailleurs et les personnes du public. L'hypothèse faite dans ce guide de sûreté est que le processus de justification a déjà été mis en œuvre et que la contribution de l'exposition professionnelle au détriment total causé par le rayonnement a été

prise en compte. Le sujet relatif à la justification des pratiques n'est, de ce fait, pas traité de manière plus approfondie dans ce guide de sûreté [1].

b) Limitation des doses :

«L'exposition normale des individus est restreinte de façon que ni la dose effective totale ni la dose équivalente totale aux organes ou tissus concernés, résultant de l'association éventuelle d'expositions dues à des pratiques autorisées, ne dépassent toute limite de dose applicable.

La limite de la dose effective représente le niveau au-dessus duquel le risque d'effets stochastiques dus au rayonnement est considéré comme étant inacceptable [1]. Pour l'exposition localisée du cristallin de l'œil, des extrémités et de la peau, cette limite imposée à la dose effective n'est pas suffisante pour garantir la prévention d'effets déterministes et, de ce fait, des limites imposées pour la dose équivalente sont spécifiées pour de telles situations.

c) Optimisation de la protection et de la sûreté :

" Pour les expositions dues à toute source associée à une pratique, sauf dans le cas des expositions médicales thérapeutiques, la protection et la sûreté sont optimisées de façon que la valeur des doses individuelles, le nombre de personnes exposées et la probabilité de subir des expositions soient maintenus aussi bas qu'il est raisonnablement possible, compte tenu des facteurs sociaux et économiques, avec cette restriction que les doses aux individus délivrées par la source doivent faire l'objet de contraintes de dose."

2.3. Protection individuelles contre la contamination :

Bien que tout soit fait pour éviter qu'une éventuelle contamination ne sorte des enceintes prévues pour les contenir, des accidents peuvent se produire. D'autre part, périodiquement, du personnel est amené à pénétrer dans des locaux contaminés (opérations de maintenance de matériels, décontamination...). Ces interventions doivent être faites par des agents munis de protection spéciale empêchant que la contamination n'atteigne leur peau ou ne soit inhalée.

Ces protections individuelles sont de deux catégories :

- Les vêtements spéciaux. Ils doivent protéger le corps de dépôts d'aérosols radioactifs. Suivant le risque ou le degré de contamination des locaux où ils doivent être portés, on trouvera :
 - la simple blouse blanche, portée obligatoirement dans les zones de travail où il n'y a pas en fonctionnement normal de contamination mais où existe un risque faible de contamination accidentelle ;

- la combinaison, qui est le vêtement porté dans les zones de travail où le risque d'incident n'est pas négligeable. Elle peut être complétée d'un calot, de bottes et de sur bottes pour le travail dans les secteurs où existe en permanence une légère contamination. Des modèles plus étanches qu'une combinaison classique existe, modèles imperméabilisés avec fermetures étanches renforcées assorties du port d'une cagoule ou d'un casque ;
 - le scaphandre autonome utilisé pour des travaux en milieu contaminé, qui est un vêtement complètement étanche et ventilé avec casque fixé de façon étanche sur le vêtement et alimenté en air soit par bouteilles, soit par amenée d'air extérieur.
- Les appareils respiratoires. Ils sont destinés à protéger celui qui les porte contre l'inhalation d'éléments radioactifs :
- le masque à gaz avec cartouche filtrante ;
 - le masque autonome avec alimentation en air par bouteille d'air comprimé [1].

2.4. Instrument de mesure :

2.4.1. Introduction :

Il existe plusieurs appareils de détection des rayonnements

2.4.1.1. Types des détecteurs :

a. Chambre d'ionisation :

Dans une telle chambre la particule libérera des électrons qui seront collectés par une électrode placée à une tension électrique élevée. Un tel système est peu efficace, on ne pourra pas toujours observer des phénomènes individuels mais plutôt un courant électrique proportionnel à l'intensité de la radioactivité. Historiquement c'est le premier détecteur construit. C'est celui utilisé par les Curie et Mlle Perey [5].

b. Compteur proportionnel :

Ce dispositif intègre plusieurs perfectionnements. A la place de l'air on emploiera des gaz mélanges de gaz rares, ce qui oblige à fermer le détecteur vis à vis de l'extérieur par une feuille mince étanche. Ensuite on adoptera des chambres de géométrie cylindrique. Un fil mince placé dans l'axe du cylindre sera placé sur l'axe. On peut ainsi obtenir un effet plus élevé à proximité de ce fil. On parle d'un effet multiplicateur d'électrons proportionnel à l'énergie absorbée par le gaz. Les compteurs proportionnels selon leur mode de réalisation permettent des analyses plus fines et une meilleure discrimination.

c. Le compteur Geiger-Muller :

Si l'on prend un compteur proportionnel et que l'on augmente la tension sur le fil on arrive dans une zone de fonctionnement à décharge, ce qui veut dire que chaque particule ionisante

déclenchera une impulsion électrique d'amplitude élevée, mais on aura par contre perdu toute information sur la nature et l'énergie des particules.

Ce type de détecteur a été utilisé par Irène et Frédéric Joliot-Curie pour leur travail qui a conduit à la découverte de la radioactivité artificielle [5].

d. Compteurs à scintillation :

Les particules qui pénètrent dans un « scintillateur » déclenchent une impulsion lumineuse qui sera vue par un amplificateur de lumière, le photomultiplicateur. Des progrès énormes dans la connaissance ont été obtenus grâce à ce dispositif, qui a complètement éliminé les compteurs à gaz des laboratoires. Cependant s'agissant de techniques plus élaborées, celles-ci s'avèrent plus onéreuses.

e. Détecteurs semi-conducteurs :

D'une fabrication très onéreuse ces détecteurs ont supplantés en grande partie les scintillateurs, grâce à leurs performances en efficacité et en précision. Ils ont très souvent remplacé les autres types de détecteurs.

Cette courte rétrospective montre la complexité de sujet détecteurs de rayonnement. Un degré important de technicité a été développé. Les applications sont sorties du strict domaine de la recherche nucléaire pour d'autres domaines tels que l'imagerie médicale [5].

2.4.1.2. Mode de fonctionnement :

Quel que soit le mode de fonctionnement d'un détecteur et donc le principe sur lequel s'appuie la détection des rayonnements, il est toujours constitué des mêmes éléments:

- un capteur au niveau duquel le rayonnement interagit avec la matière ;
- un système d'amplification qui met en forme et amplifie le signal produit par la sonde ;
- éventuellement un système de traitement du signal ;
- un système d'affichage qui indique :
 1. un flux de particules : le compteur ;
 2. l'énergie des particules : le spectromètre ;
 3. la dose absorbée ou le débit de dose absorbée : le dosimètre ou le débitmètre [6].

2.4.1.3. Paramètres caractéristiques d'un détecteur :

2.4.1.3.1. L'efficacité de détection :

C'est le rapport du nombre de particules détectées au nombre de particules reçues par le détecteur. L'efficacité dépend donc de la nature et de l'énergie du rayonnement ;

$\text{Eff}_{\text{abs}} = \text{Quantité de rayonnements détectés par le détecteur} / \text{Quantité de rayonnements émis par la source}$

Eff_{int} = Quantité de signaux détectés par le détecteur / Quantité de rayonnements pénétrant le détecteur

2.4.1.3.2 .Le temps mort :

C'est le plus petit intervalle de temps entre deux informations pour que chacune d'entre elles soit prise en compte par le système [6] ;

2.4.1.3.3. Le mouvement propre:

C'est le taux de comptage (*notion définie plus loin*) enregistré en absence de toute source de rayonnement ;

2.4.1.3.4. Réponse en énergie :

La réponse du détecteur en fonction de l'énergie des rayonnements incidents peut être caractérisée par son efficacité. La connaissance de cette réponse est très importante pour les mesures quantitatives de rayonnements.

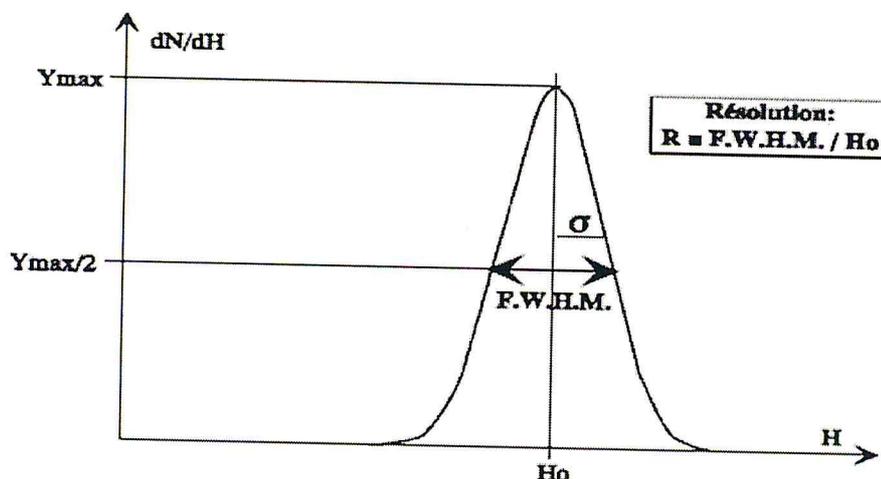


Fig. 2.3. Réponse en énergie d'un détecteur

2.4.1.3.5. Les caractéristiques géométriques :

Elles définissent la forme du détecteur, l'importance de sa surface sensible et sa directivité. Le nombre de rayonnements ayant pénétré le compteur est obtenu par le calcul de la géométrie source-détecteur et à partir du nombre de rayonnements émis par la source. Dans le cas des particules chargées il faut en plus tenir compte de leur absorption entre la source et le détecteur.

La géométrie source détecteur est caractérisée par l'angle solide à de détection. Il est souvent très difficile à calculer, compte tenu de la forme des sources et des détecteurs utilisés dans les mesures.

Dans le cas d'une source de rayonnements ponctuelle située dans l'axe d'un détecteur cylindrique, le calcul de l'angle solide Ω se ramène à une formule simple [6].

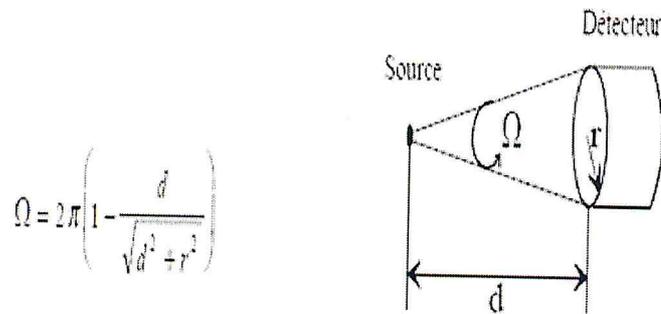


Fig. 2.4. Angle solide (Ω) d'un détecteur

✓ **Remarques :**

Toutes mesures avec un détecteur n'est pas une mesure absolue. Il faut donc Calibrer le détecteur équipé d'une sonde donnée avec une source d'activité connue (et délivrant le même type de rayonnement que celui détecté par la sonde !).

- a). On détermine ainsi le rendement du détecteur, qui dépend :
 - de la distance entre la source et le détecteur ;
 - de la surface de la source ;
 - du support sur lequel elle se trouve.
 - d'un point de vue pratique, on détermine le rendement par une mesure au contact d'une source ponctuelle.
- b). Cependant, le rendement est défini par la plupart des constructeurs de matériel de radioprotection comme : " le rapport entre le nombre d'impulsions comptées et le nombre de particules émises par la source"[6].

2.4.2. Détecteurs fondamentaux de mesure :

2.4.2.1. Mesures par chambre d'ionisation :

On a vu que l'interaction d'un rayonnement avec un matériau conduisait à la création dans ce matériau de paires d'ions et d'électrons (il y a ionisation du matériau) et qu'en moyenne lorsqu'était née une paire d'ion-électron, le rayonnement avait cédé une énergie moyenne w . Il résulte de ceci que si l'on veut mesurer la dose absorbée dans un matériau, il suffira,

connaissant w , de mesurer le nombre de paires d'ions créées. Si dans une masse m sont créées N paires d'ions, la dose absorbée y sera :

$$D\alpha = \frac{Nw}{m}$$

La mesure de la dose absorbée sera donc effectuée très souvent par des appareils qui mesureront le nombre de paires d'ions (c'est-à-dire la charge électrique) créées par un rayonnement dans un milieu qui sera le plus souvent gazeux pour des commodités de mesure. De tels appareils sont appelés des « chambres d'ionisation ».

Un appareil à chambre d'ionisation sera donc constitué d'une enceinte en fermant un gaz (de l'air la plupart du temps) au centre de laquelle passe une électrode Conductrice portée à une haute tension positive alors que la paroi de l'enceinte est à la masse. Lorsque cet appareil est soumis à un rayonnement, celui-ci crée des paires d'ions-électrons dans le gaz de la chambre, et les électrons produits sont attirés par l'électrode centrale positive qui recueille ainsi une charge électrique proportionnelle au nombre d'électrons créés, donc à la dose absorbée. (Fig.2.5) [1]

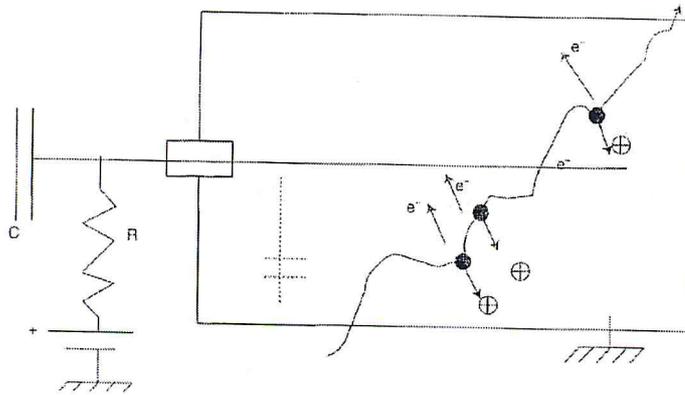


Fig. 2.5. Structure d'une chambre d'ionisation

On distingue plusieurs appareils qui ont le même principe qu'une chambre d'ionisation :

a. La Babyline :

Dans la catégorie des appareils de mesure portatifs, l'appareil à chambre d'ionisation type est la Babyline (Fig.2.6). Le détecteur est une chambre d'ionisation remplie d'air à paroi équivalent tissu mince, recouverte d'un capot amovible plus épais en matériau équivalent tissu. C'est un appareil pouvant être facilement manipulé. Il est mis à disposition des agents de radioprotection pour effectuer les contrôles d'ambiance dans les locaux, derrière des

protections, au voisinage de sources. Il est mis aussi à disposition des agents travaillant en milieu irradiant [1].



Fig. 2.6. La Babyline

b. Les dosimètres :

Sur ce principe on a réalisé de petits dosimètres de la taille d'un stylo, d'où leur nom de stylos dosimètres, distribués aux personnels amenés à travailler dans des locaux où il ya une radioactivité ces appareils est très important en radioprotection. (Fig.2.7)

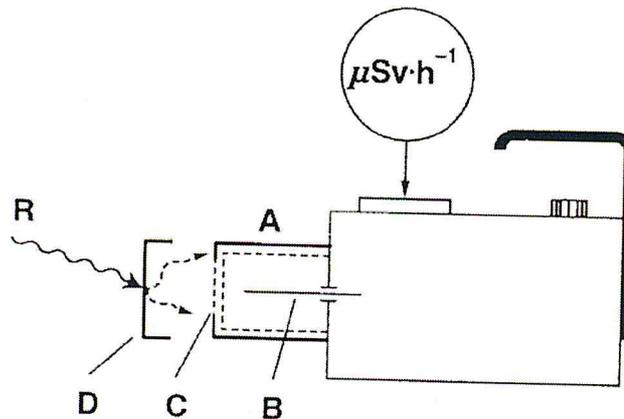


Fig. 2.7. Principe d'un stylo dosimètre

b.1. Dosimètres solides :

A ce type de dosimètre appartiennent les dosimètres thermoluminescents qui sont très utilisés comme dosimètres individuels. Ils sont basés sur le fait que, dans certaines substances cristallines, l'énergie cédée par les rayonnements est stockée sous une forme qui peut être restituée par émissions de photons lumineux lorsqu'on chauffe le matériau. La mesure de la quantité de lumière émise est alors proportionnelle à la dose absorbée par le dosimètre.

b.2. Dosimètre photographique :

L'émulsion photographique fut historiquement le premier détecteur utilisé :

C'est en effet le noircissement d'une plaque sensible qui permit à Becquerel de découvrir la radioactivité de l'uranium.

La dosimétrie des rayonnements α , γ ou β s'effectue en mesurant le noircissement d'une émulsion photographique, noircissement qui croît avec l'énergie totale absorbée par l'émulsion. Dans un cliché impressionné s'est formée une image latente que l'on révèle par un procédé chimique. Le noircissement est ensuite mesuré par une méthode densitométrique, c'est-à-dire par mesure de l'absorption d'un faisceau lumineux auquel on fait traverser l'émulsion développée.

b.3. Dosimètres de neutrons :

Actuellement est développé un dosimètre constitué d'un liquide dans lequel le passage des neutrons, par suite de l'énergie cédée, crée une ébullition locale se traduisant par l'apparition de bulles qui restent emprisonnées dans le liquide. Le comptage de ces bulles permet d'en déduire la dose équivalente reçue [1].

2.4.2.2. Mesures par compteur Geiger-Müller :

Les compteurs Geiger-Müller (GM) sont constitués d'une enceinte épaisse, en verre ou métallique avec une électrode centrale et un gaz de remplissage. Cette structure est identique à celle d'une chambre d'ionisation mais l'électrode centrale est portée à un potentiel élevé, si bien que le champ électrique à l'intérieur du compteur est très intense (Fig.2.8).

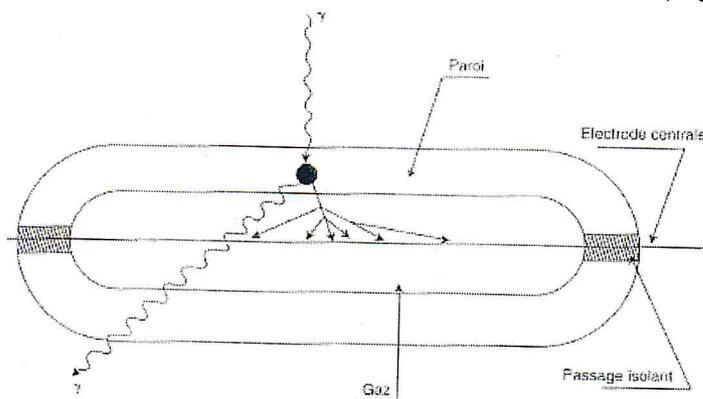


Fig. 2.8. Constitution d'un compteur GM et création d'une impulsion

La paroi du compteur étant épaisse, ces détecteurs ne sont sensibles qu'aux rayonnements pénétrants et ne seront utilisés que pour la dosimétrie des rayonnements électromagnétiques. Cependant, certains compteurs possèdent une fenêtre mince qui permet de détecter des rayonnements peu pénétrants tels que les β , mais les caractéristiques dosimétriques de ces

compteurs pour les β sont mauvaises : un tel dosimètre ne peut être considéré que comme détectant la présence des p et non comme effectuant une dosimétrie de ces rayonnements.

Le GM présente l'avantage d'être un détecteur robuste de petites dimensions et ne nécessitant qu'une électronique rustique. Ou l'utilise pour réaliser des appareils portatifs ou individuels, de faible encombrement, faciles d'emploi et très solides [1].

2.4.2.3. Mesures par détecteurs à semi-conducteurs :

Un semi-conducteur constitue en fait une chambre d'ionisation dont le volume sensible est solide. Ce volume sensible est celui de la zone désertée dans un semi-conducteur auquel on a appliqué une tension de polarisation. Toute particule ionisante traversant cette région donne lieu à la création le long de sa trajectoire de paires d'électrons - trous collectés par les électrodes et donnant lieu à l'enregistrement d'une impulsion, la quantité d'électricité collectée étant proportionnelle à l'énergie perdue par ionisation. Le courant débité est donc proportionnel au débit de dose absorbée dans le volume sensible du semi-conducteur.

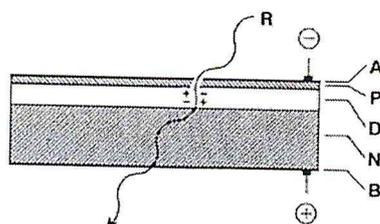


Fig. 2.9. Schéma d'un détecteur de semi-conducteur

2.4.2.4. Mesure par détecteur à scintillation :

Les particules qui pénètrent dans un « scintillateur » déclenchent une impulsion lumineuse qui sera vue par un amplificateur de lumière, le photomultiplicateur. Des progrès énormes dans la connaissance ont été obtenus grâce à ce dispositif, qui a complètement éliminé les compteurs à gaz des laboratoires. Cependant s'agissant de techniques plus élaborées, celles-ci s'avèrent plus onéreuses.

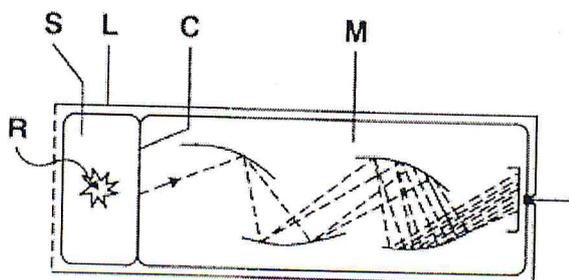


Fig. 2.10. Schéma de détecteur d'une scintillation

2.4.2.5. Mesure par détecteur de la contamination :

Les détecteurs de contamination surfacique sont utilisés pour détecter la présence de la substance radioactive.

Même les concentrations basses de telles substances peuvent présenter une possibilité d'exposition interne. Cependant, chaque instrument aura l'efficacité de détection aligné de zéro à 30% pour différent radionucléides, il faut utiliser un instrument étalonné avec des conditions de calibrage précisés.

Le système de comptage utilise l'unité de détection un coup par second (cps ou s^{-1}), on peut convertir le (cps) à Bq/cm^2 .

Quelques détecteurs de contamination surfacique sont programmables directement pour afficher le résultat de mesure sur la surface contaminée avec Bq/cm^2 .(Fig.2.11) [9]

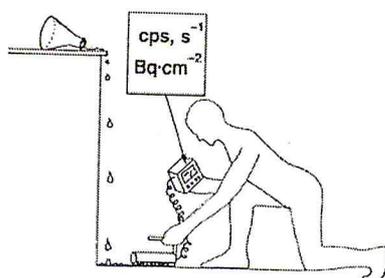


Fig. 2.11. Détecteur de contamination surfacique

2.4.2.5.1. Différentes formes de détecteurs de contamination :

D'après le type de contamination surfacique on trouve plusieurs modèles de détecteurs de contamination comme la contamination alpha, beta ou rayonnement électromagnétique (x , γ).cette différence revient à la caractéristique de sonde de détection pour les alphas (Fig.2.12) ou les betas (Fig.2.13) [9].

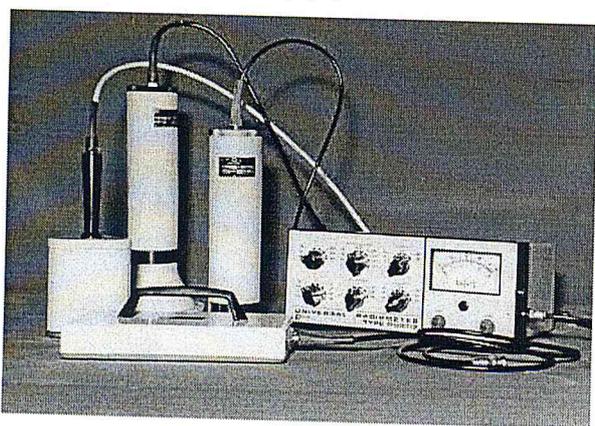


Fig.2.12. Détecteur à sonde alpha [9]

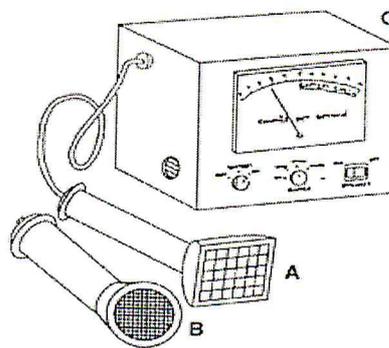


Fig.2.13. Détecteur à sonde bêta [9]

Chapitre 3

La contamination et sa mesure

3.1. Contamination radioactive :

3.1.1. Définition :

La contamination radioactive est la présence indésirable, à un niveau significatif pour l'hygiène de substance radioactive à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque [10].

➤ **La dispersion d'une matière radioactive est susceptible de contaminer :**

a- D'une part, au niveau de l'environnement :

- L'atmosphère,
- Les eaux souterraines ou superficielles,
- Le sol, et la chaîne alimentaire (faune et flore).

b- D'autre part, au niveau des lieux de travail :

- Les planchers,
- Les murs,
- Les surfaces des équipements.

Elle peut être aussi une contamination corporelle externe (cutanée) ou interne des individus du public ou des travailleurs de l'installation.

3.1.2. L'origine de la contamination :

Dans les laboratoires, la manipulation des matières radioactives est à l'origine de la contamination des personnels ou des expérimentateurs et essentiellement des surfaces et des instruments.

Il ya aussi l'industrie nucléaire est une source importante de contamination de l'atmosphère en particulier et, de l'environnement en général.

L'exploitation et surtout la maintenance de ces installations présentent un risque élevé de contamination des équipements et des personnes y travaillant dans le voisinage immédiat.

3.1.3. Nature de la contamination :

La substance radioactive contaminant peut se présente sous les trois états physiques solide, liquide et gazeux [11].

3.1.4. Les types de contamination :

a- La contamination alpha (α):

Cette contamination est due à la présence d'un radioélément émetteur de particules alpha comme les éléments lourds (radium, radon, thorium et uranium...).

Les particules alpha ne peuvent pas pénétrer que la couche morte de la peau donc, elles ne présentent pas de risque d'exposition externe.

Cependant en raison du nombre très grand d'ionisation qu'elles produisent dans une épaisseur très réduite du milieu qu'elles traversent, elles sont très dangereuses ; c'est-à-dire que leur pouvoir de contamination est élevé.

En pratique, les particules alpha sont arrêtées par une feuille simple de papier ; leur trajectoire est rectiligne et leur parcours est très réduit même dans l'air.

b-La contamination bêta :

Cette contamination est engendrée par les émetteurs de particules bêta qui sont des électrons de charge positive ou négative. La trajectoire des particules bêta n'est pas rectiligne, elle est tourmentée. Les particules bêta qui sont des particules chargées comme les alphas sont plus pénétrantes que ces dernières et présentent aussi un risque non négligeable d'exposition externe.

c-La contamination gamma :

Elle provient des radioéléments émetteurs gamma. Cette émission est un rayonnement électromagnétique très pénétrant. Cet inconvénient conduit à un risque d'irradiation très important en plus de la contamination éventuelle provoquée ; pour se protéger contre ces rayonnements, On dresse des écrans en matériaux de densité élevé [12].

3.1.5. Les catégories de la contamination :

3.1.5.1. La contamination atmosphérique :

L'atmosphère est le vecteur des rejets radioactifs des gaz ou des aérosols, Cette contamination atmosphérique entraîne des dépôts de radioactivité dans toutes les composantes (sol, végétation, eau,...) de l'environnement naturel.

3.1.5.2. La contamination surfacique :

C'est une contamination par particules radioactives ou poussière en suspension dans l'air ambiant d'un endroit d'activités professionnelles. Ces particules se déposent sur les planchers, les murs, les surfaces de travail (paillasse, équipement,...) et les vêtements des occupants du

local. Cette déposition de radioactivité sur ces différentes surfaces expose les travailleurs aux risques de contamination cutanée et d'exposition externe et même interne.

La contamination surfacique peut être fixée ou non fixée.

a. Contamination fixée :

C'est une contamination qui adhère à une surface d'une façon telle qu'elle ne peut être déplacée dans les conditions normales de travail.

b. Contamination non fixée :

C'est une contamination de surface qui peut être enlevée ou déplacée dans les conditions normales de travail. Elle peut être facilement transmise par contact [13].

3.1.5.3. Contamination corporelle :

C'est la contamination des travailleurs ou des personnes ; elle peut être cutanée c'est-à-dire superficielle ou interne par incorporation accidentelle d'une substance radioactive [14].

3.1.6. Les notes pratiques de détection de la contamination surfacique :

Les contrôles de la contamination de surface sont effectués en vue de :

- La détection de la contamination pour déterminer son existence ou sa propagation et pour surveiller son extension vers les zones moins ou non contaminées.
- L'évaluation de l'activité surfacique, afin de vérifier que les limites admises (limites dérivées) ne sont pas dépassées.

Sa mesure est délicate car un certain nombre de difficultés sont rencontrés.

Il s'agit de :

- La nature du radioélément sa forme physico-chimique et ses caractéristiques (énergie, rayonnement émis..).
- L'état de la surface contrôlée : lisse ou rugueux, humide ou sec.
- De l'accessibilité de la surface pour les mesures.
- De la présence de champs de rayonnements parasites.

La méthode d'évaluation indirecte est plus généralement applicable, en particulier lorsque les surfaces ne sont pas facilement accessibles pour une mesure directe de par leur emplacement ou leur configuration compliquée, ou lorsque les contaminamètres sont perturbés par champs de rayonnements voisins.

Cependant la méthode d'évaluation indirecte ne permet pas de déterminer la contamination fixée et de part la grande incertitude qui pèse généralement sur le facteur de prélèvement elle est généralement utilisée pour la seule détection de la contamination non fixée [10].

Pour contrôler la contamination des surfaces et des équipements on utilise :

- Détecteurs avec une sonde alpha et une sonde bêta interchangeables.
- Détecteurs avec une sonde mixte (alpha, bêta, gamma).
- Un téléramme avec deux sondes gamma (interne, externe).

3.2. Mesure de la contamination :

3.2.1. Technique de mesure de la contamination surfacique :

Malgré les précautions prises et la grande efficacité du respect des règles de conduite au travail, la possibilité d'une contamination accidentelle n'est jamais à exclure.

La contamination des locaux et des équipements doit être contrôlée en permanence ainsi que la contamination éventuelle des personnes se déplaçant d'une zone à risque une autre.

A cet effet, de nombreux appareillage de détection de contamination munis d'alarmes sont installés dans les différentes zones.

La détection d'une contamination comprend deux opérations distinctes :

- Le prélèvement d'un échantillon.
- La mesure de l'activité prélevée par l'échantillonnage.

A l'échantillonnage, sont liés les problèmes de capture et d'entraînement de la contamination et ceci quelle que soit la méthode d'échantillonnage choisie.

A la mesure de l'échantillon, sont associés les problèmes de détection des rayonnements et les procédés de réduction de l'influence de l'activité naturelle ou de bruit de fond [11].

a- Les poussières radioactives surfaciques :

La méthode la plus utilisée pour l'échantillonnage de ces poussières radioactives est le prélèvement de frottis dont il existe trois types, à savoir :

- **Frottis sec** : il s'effectue sur une surface de 100 cm^2 . Le papier filtre est fixé sur une règle en caoutchouc qui appliquée sur la surface en frottant perpendiculairement avec une force de 3 à 5 Kg ; le frottement sera effectué sur toute la surface délimitée.
- **frottis humide** : le tampon humidifié et essoré est appliqué sur la surface à contrôler de telle sorte que le passage par frottement avec tampon ne soit exécuté qu'une fois sur toute la surface. Le frottis aura le coté contaminée vers l'intérieur de l'enveloppe prévue à cet effet.
- **prélèvement par ruban adhésif**: Ce prélèvement s'effectue par collage d'un papier adhésif avec pression à l'aide d'un rouleau spécial puis décollage [11].

b. Mesure :

Pour mesurer directement la contamination surfacique, il existe plusieurs appareils de mesure. Ces divers appareils ont des fonctions spécialisées mais ils possèdent tous les détecteurs dont

le type est adapté aux types de rayonnements émis par les radioéléments présents sur les surfaces à contrôler.

Les sondes destinées à la détection de la contamination alpha sont placées à 5 mm ou moins de la surface à contrôler et sont déplacées avec une vitesse inférieure à 15 cm/s.

Les sondes pour le contrôle de la contamination bêta sont placées entre 2,5 et 5 cm de la surface et sont déplacées avec une vitesse de 10 à 15 cm/s.

Les échantillons prélevés par un ou plusieurs des procédés décrits précédemment sont analysés dans le laboratoire de mesure équipé spécialement à cette fonction [10].

Chapitre 4

Procédure d'étalonnage des détecteurs de contamination

4.1. Introduction :

Le travail présenté dans cette partie concerne les mesures de contamination surfacique à l'aide de détecteurs de contamination ainsi que l'étalonnage de ces détecteurs à l'aide des sources surfaciques de référence.

4.1.1. Définition de l'étalonnage :

"C'est un ensemble d'opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée ou par un matériau de référence, et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par des étalons."

- Un étalonnage peut aussi déterminer d'autres propriétés métrologiques telles que les effets de grandeurs d'influence.
- L'étalonnage n'a d'intérêt que s'il est question d'exploiter les résultats chiffrés du certificat d'étalonnage pour optimiser les mesures qui seront réalisées avec l'instrument [15].

4.1.2. L'instrument à étalonner :

Le type d'instrument à étalonner dans notre travail est un détecteur de contamination surfacique. Ce modèle de détecteur est utilisé pour mesurer la contamination des surfaces.

En pratique, on distingue plusieurs formes de détecteurs, dont la différence dépend généralement de la sonde de détection. On trouve des détecteurs équipés de : (voir figure 4.1).

- Sonde alpha
- Sonde beta
- Sonde gamma
- Sonde multiple (α , β , γ)



Fig.4.1.type des sondes de contamination

Concernant le système d'affichage il existe deux modes :

- Analogique
- Numérique

Dans notre travail pratique on a utilisé ces deux modes de détecteurs.

4.1.3. Le but de l'étalonnage :

Le but principal de l'étalonnage d'un détecteur de contamination surfacique est d'assurer que cet instrument fonctionne correctement et convenablement dans la gamme des énergies utilisées pour l'étalonnage.

4.2. Matériel utilisé :

4.2.1. Détecteurs de contamination

a) Détecteur 1 (Fig. 4.2)

Tab.4.1.les références de détecteur 1

Nom de détecteur	Tracercor T201 contamination monitor
Numéro série	050026
Caractéristique	IIGEXIAI-IBT4
Température de fonctionnement	$(-20C^0 < T_a < +40^0)$
symbole de référence	Baseefa 05ATEX0151
sonde	rayonnement (alpha, beta, gamma)

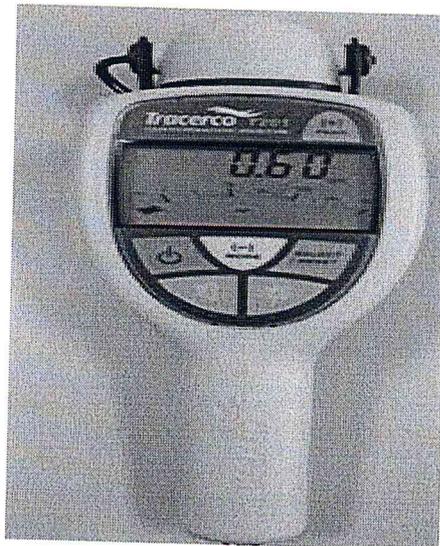


Fig.4.2. Image du premier détecteur

b) Détecteur 2 (Fig. 4.3)

Tab.4.2.les références de détecteur 2

Nom de détecteur	900 mini – monitor
Numéro série	D0001453
Caractéristique	mini - instrument CTd
sonde	béta



Fig.4.3.l'image du second détecteur

Tab.4.3.les références de détecteur 3

➤ c) Détecteur 3 (Fig. 4.4)

Nom de détecteur	Nardeux MCB21
Numéro série	1902603/0
Numéro du produit	106
sonde	béta # 1902528/0



Fig.4.4.l'image du troisième détecteur

4.2.2. Sources de référence (caractéristiques et certificats d'étalonnage)

a) Le charbon 14 :

Le ^{14}C est un émetteur β^- de faible énergie, c'est l'un des radionucléides les plus utilisés en recherche biologique et médicale.

Tableau.4.1a. Caractéristique physique du ^{14}C

Période	5730 ans
Rayonnements	β^-
Energie β^- max Mev	0,1565
Energie β^- moy Mev	0,049
Comptage externe	Geiger-Müller
Comptage interne	Urines
Période effective	10 jours
Organe cible	Graisse
Débit de dose γ à 1 m	24 cm
Ecran de protection CDA	0,4 mm plexiglas

Tableau.4.1b. Données dosimétriques du ^{14}C

Source de ^{14}C type C14ESAE20 N° 8	
flux d'émission β (1/s dans 2π sr)	1,34E+03
incertitude β relative élargie sur le flux (% - k=2)	6
activité calculé (Bq)	3,54E+03
incertitude relative élargie sur l'activité (% - k=2)	10
date de référence	16/12/2009 à 12h U.T.C
impuretés γ	< 0.1 %
contrôle d'étanchéité (*)	frottis : conforme le 09/12/2009
absence de contamination superficielle (*)	frottis : conforme le 09/12/2009

b) Le Chlore 36 :

Le ^{36}Cl est un émetteur β^- , c'est l'un des radionucléides les plus utilisés en médecine nucléaire.

Tableau.4.2a. les caractéristiques physique de Chlore 36

Période	3,001 x 10 ⁵ ans
Rayonnements	β^-
Energie β^- max Mev	0,7095 (98%)
Energie β^- moy Mev	0,252
Comptage externe	Geiger-Müller
Comptage interne	Urines
Période effective	29 jours
Organe cible	Corps entier
Parcours dans l'air	388 cm
Ecran de protection	0,5 cm plexiglas

Tableau.4.2b. Données dosimétriques du ^{36}Cl

Source de chlore 36 type CI36ESAE20 N° 8	
flux d'émission β (1/s dans 2 π sr)	2,20E+03
incertitude β relative élargie sur le flux (% - k=2)	6
activité calculé (Bq)	3,55E+03
incertitude relative élargie sur l'activité (% - k=2)	10
date de référence	15/12/2010 à 12 h U.T.C
impuretés γ	< 0.1 %
contrôle d'étanchéité (*)	frottis : conforme le 09/12/2009
absence de contamination superficielle (*)	frottis : conforme le 09/12/2009

c) Le cobalt 60 :

Les sources de radiocobalt 60 sont d'une utilisation courante en médecine (Radiothérapie), sciences (irradiation, sources de calibration) et dans l'industrie (sources de Gammagraphie).

L'irradiation externe constitue le risque le plus important encouru lors de la manipulation de radiocobalt 60. Ce risque est dû à l'énergie des rayonnements β^- et γ .

Tableau.4.3a. les caractéristiques physique de cobalt 60

Période	5,27 ans
Rayonnements	β^- , γ
Energie β^- max Mev	/
Energie β^- moy Mev	0,096 - 0,627
Energie γ MeV	1,173 (100%), 1,332 (100 %)
Comptage externe	Geiger-Müller, NaI. Tl
Comptage interne	Anthropogammamètre, Urines
Période effective	9,5 jours
Organe cible	Tractus gastro-intestinal
Parcours dans l'air	0,341 μ Gy/h.MBq
Ecran de protection CDA	1,35 cm plomb

Tableau.4.3b. Données dosimétriques du ^{60}Co

Source de ^{60}Co type CO60ESAE20 N° 23	
flux d'émission β (1/s dans 2π sr)	1.84E+3
incertitude β relative élargie sur le flux (% - k=2)	6
activité calculé (Bq)	3,84E+03
incertitude relative élargie sur l'activité (% - k=2)	10
date de référence	08/12/2010 à 12 h U.T.C
impuretés γ	< 0.1 %
contrôle d'étanchéité (*)	frottis : conforme le 04/12/2009
absence de contamination superficielle (*)	frottis : conforme le 04/12/2009

d) Le Strontium 90 :

Le risque de l'irradiation externe lors de la manipulation de Radio-strontium 90, est dû à l'énergie des rayonnements β^- émis lors de la désintégration du couple Sr^{90} / Y^{90} .

Tableau.4.4a. les caractéristiques physique de Strontium 90

Période	28,15 ans
Rayonnements	β^-
Energie β^- max Mev	/
Energie β^- moy Mev	0,188 - 0,196 - 0,939
Comptage externe	Geiger-Müller
Comptage interne	Urines
Période effective	15,6 ans
Organe cible	Os
Ecran de protection	1 cm plexiglas

Tableau.4.4b. Données dosimétrique du ^{90}Sr

source de ^{90}Sr type SR90ESAE20 N°5	
flux d'émission β (1/s dans 2π sr)	1,81E+03
incertitude β relative élargie sur le flux (% - k=2)	6
activité calculé (Bq)	2,88E+03
incertitude relative élargie sur l'activité (% - k=2)	10
date de référence	07/01/2010 à U.T.C
impuretés γ	< 0.1 %
contrôle d'étanchéité (*)	frottis : conforme le 04/12/2009
absence de contamination superficielle (*)	frottis : conforme le 04/12/2009

E) Le césium 137 :

Ces sources sont utilisées pour les mesures d'épaisseur, de niveau et de densité, et de diverses autres utilisations dans le calibrage industriel.

Tableau.4.5a. les caractéristiques physique de césium 137

Période	30,15 ans
Rayonnements	β^- , X, γ
Energie e- MeV	0,624 (8%), 0,656 (1%), 0,660 (0,3%)
Energie β^- max Me	0,512 (95%), 1,173 (5%)
Energie β^- moy Mev	0,174 - 0,415
Energie X MEV	0,032 (5%), 0,036 (1%)
Energie γ MeV	0,662 (85%)
Comptage externe	Geiger-Müller, NaI.Tl
Comptage interne	Anthropogammamètre, Urines
Période effective	70 jours
Organe cible	Tout le corps
Débit de dose γ à 1 m	$8,758 \cdot 10^{-2} \mu\text{Gy/h.MBq}$
Ecran de protection CDA	0,72 cm plomb

Tableau.4.5b. Données dosimétrique du ^{137}Cs

Source de ^{137}Cs type CS137ESAE20 N°18	
flux d'émission β (1/s dans 2π sr)	2,52E+03
incertitude β relative élargie sur le flux (% - k=2)	6
activité calculé (Bq)	4,14E+03
incertitude relative élargie sur l'activité (% - k=2)	10
date de référence	15/12/2009 à 12 h U.T.C
impuretés γ	< 0.1 %
contrôle d'étanchéité (*)	frottis : conforme le 09/12/2009
absence de contamination superficielle (*)	frottis : conforme le 09/12/2009

F) L'américium 241 :

Ces sources servent à la calibration industrielle : mesures d'épaisseur, contrôle de niveau de Remplissage.

Tableau.4.6a. les caractéristiques physique de l'américium 241

Période	432,2
Activité massique (Bq.g ⁻¹)	1,27 10 ¹¹

Tableau.4.6b. Données dosimétrique du ²⁴¹Am

source de Am 241 type AM241ESAE20 N°21	
flux d'émission β (1/s dans 2π sr)	2,38E+02
incertitude β relative élargie sur le flux (% - k=2)	6
activité calculé (Bq)	4,76E+02
incertitude relative élargie sur l'activité (% - k=2)	10
date de référence	04/12/2009 à 12 h U.T.C
impuretés γ	< 0.1 %
contrôle d'étanchéité (*)	frottis : conforme le 03/12/2009
absence de contamination superficielle (*)	frottis : conforme le 03/12/2009

4.2.3. Matériel de protection

Les sources de référence qui sont utilisées dans le cadre du présent travail expérimental ont une dose biologique faible donc les moyennes de protection appliquées sont les suivants :

- Utilisation de pinces de laboratoire pour la manipulation afin de qui minimiser la dose reçu par les mains
- Port du dosimètre individuel
- Utilisation d'écran en plomb pour atténuer au maximum des rayonnements
- Utilisation de gants

- Utilisation d'un détecteur GM pour la mesure des faible dose et vérifier l'absence de contamination
- Port de combinaison en tissu.

4.3. Calcul de l'activité actualisée:

Avant l'utilisation de sources références il faut corriger calculer leurs activités au jour de l'expérience (activité finale) en tenant compte de l'activité et de la date initiale (Activité donnée par le certificat d'étalonnage).

Pour ce faire, nous avons utilisé la loi de décroissance radioactive qui est décrite dans ce qui suit:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad 4.1.$$

Où :

A_0 : représente l'activité intaille (donnée par le certificat d'étalonnage).

$A(t)$: est l'activité finale (calculé au jour de la mesure).

λ : est la constant radioactive du radioélément.

t : est le temps écoulé entre la date de fabrication (qui figure sur le certificat d'étalonnage) et la date de mesure

Pour calculer le temps écoulé t , en jours, on utilise le formalisme suivant

$$t = (A_f - A_i).365.25 + (M_f - M_i).30 + (J_f - J_i) \quad 4.2.$$

A_f et A_i représentent l'année finale et l'année initial

M_f et M_i représentent le mois final et le mois initial

J_f et J_i représentent le jour final et le jour initial

Les résultats des calculs d'activité sont donnés dans les sections correspondantes à chaque détecteur en tenant compte, comme nous l'avons dit, de la date de mesure.

4.3.1. Détecteur 1 (TRACERCO T201)

Tableau 4.7. Calcul des taux d'émission des sources de références pour le détecteur 1

Sources de rayonnements	Date de référence	Date de mesure	Période du radioélément (Années)	Temps écoulé (jours)	Activité initiale (Bq)	Activité finale (Bq)
^{14}C	16/12/2009	07/04/2011	5 730	477	1 340	1340
^{90}Sr	04/12/2009	05/04/2011	28.2	487	5620	3506

³⁶ Cl	07/01/2010	22/03/2011	301 000	439	2 200	2200
¹³⁷ Cs	15/12/2009	07/04/2011	30.2	478	2 520	2445
⁶⁰ Co	08/12/2009	27/03/2011	5.25	474	1 840	1553
²⁴¹ Am	15/12/2009	22/03/2011	433	462	238	238

4.3.2. Détecteur 2 (900 mini - monitor)

Tableau 4.8. Calcul des taux d'émission des sources de références pour le détecteur 2

Sources de rayonnements	Date de référence	Date de mesure	Période du radioélément (jours)	Temps en (jours)	Activité initiale (Bq)	Activité finale (Bq)
¹⁴ C	16/12/2009	25/04/2011	5 730	495	1 340	1340
⁹⁰ Sr	04/12/2009	25/04/2011	28.2	507	5620	3501
³⁶ Cl	07/01/2010	25/04/2011	301 000	473	2 200	2200
¹³⁷ Cs	15/12/2009	25/04/2011	30.2	496	2 520	2443
⁶⁰ Co	08/12/2009	25/04/2011	5.25	503	1 840	1536
²⁴¹ Am	15/12/2009	25/04/2011	433	496	238	237

4.3.3. Détecteur 3 (Nardeux MCB21)

Tableau 4.9. Calcul des taux d'émission des sources de références pour le détecteur 3

Sources de rayonnements	Date de référence	Date de mesure	Période du radioélément (ans)	Temps en (jours)	Activité initiale (Bq)	Activité finale (Bq)
¹⁴ C	16/12/2009	26/04/2011	5 730	496	1 340	1340
⁹⁰ Sr	04/12/2009	26/04/2011	28.2	508	5620	3501
³⁶ Cl	07/01/2010	26/04/2011	301 000	474	2 200	2200
¹³⁷ Cs	15/12/2009	26/04/2011	30.2	497	2 520	2443
⁶⁰ Co	08/12/2009	26/04/2011	5.25	504	1 840	1536
²⁴¹ Am	15/12/2009	26/04/2011	433	497	238	237

4.4. Mesure la réponse de détection en fonction de distance

4.4.1. Introduction :

La réponse d'un détecteur de contamination dépend fortement de la distance entre le détecteur et la source. En effet, le flux de particules émises par la source surfacique dépend de la

surface d'émission et de celle du détecteur. Ce flux dépend aussi de l'angle solide par lequel le détecteur voit la source. Par ailleurs, l'atténuation des particules est plus ou moins importante dans l'air selon leurs types (α , β , γ) et leurs énergies. Il est alors très important d'étudier la réponse du détecteur en fonction de sa distance à la source, pour en déterminer les conditions optimales à adopter pour son étalonnage. Dans cette partie expérimentale, nous essayerons de réaliser cette étude en utilisant le matériel -décrit en 4.2.1.

4.4.2. Méthode utilisée :

La réponse du détecteur de type Tracerco T201, a été fixé sur le bras d'une cuve en PMMA. Ce bras possède un dispositif de déplacement manuel avec une précision de 0.1 mm à l'aide d'un manivelle associée à un compteur faisant office d'indicateur de déplacement (Voir Figure 4.5.). La source surfacique est déposée au fond de la cuve et le détecteur est initialement placé de manière à venir se poser sur la source. A l'aide du dispositif de déplacement, la distance entre le, détecteur et la source surfacique est variée graduellement avec un pas minimal de 1 mm au voisinage de la source puis par pas plus important lorsque le signal du détecteur devient faible. A chaque distance, la réponse du détecteur est enregistrée. Pour tenir compte des fluctuations du détecteur, cinq (05) mesures sont prises à chaque fois, et la moyenne est calculée avec son écart-type.

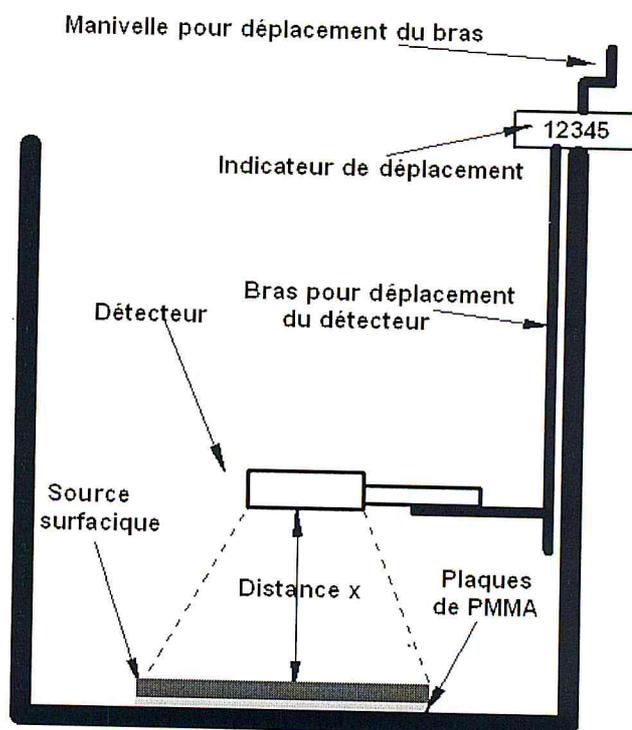


Fig. 4.5. Dispositif expérimental utilisé pour étudier la réponse du détecteur de contamination en fonction de la distance

Les étapes suivies pour cette partie expérimentale, sont résumés dans ce qui suit:

- Mise en marche du détecteur (d'après le catalogue de l'appareil, celui-ci nécessite 5 min pour le préchauffage) ;
- Mesure du bruit de fond (BF) avant le positionnement de la source radioactive ;
- Positionnement de la source la source surfacique. Le positionnement de précision peut nécessiter l'utilisation de plaques en plexiglas d'épaisseurs variables ;

- Fixation du détecteur sur le bras manuel de la Cuve PMMA. Réglage du détecteur de manière à ce que sa partie détectrice soit parallèle à la source surfacique ;
- Variation de la distance entre la surface de la source et le détecteur avec des pas de 1 mm au minimum ;
- Enregistrement de la réponse du détecteur. Pour cela, au moins cinq mesures sont prises à intervalles de 5 secondes pour laisser le temps au détecteur de refaire la collection;
- Les mesures sont répétées avec des distances différentes jusqu'à obtention d'un signal proche de la valeur du bruit de fond (BF) (auquel cas la distance est égale la parcourt maximale de rayonnement R_{\max}).

La réponse du détecteur est comparée à l'activité des sources mesurées, lesquelles activités sont recalculées à la date de mesure en tenant compte de la période du radioélément et en suivant la méthode décrite en 4.3. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux et de figures.

4.5. Résultats des mesures

4.5.1. Mesure avec le ^{14}C

Date de mesure: 07/04/2011 : Bruit de fond : 1Cps

Tab. 13. Réponse du détecteur pour ^{14}C

Distance (mm)	M - BF (Cps)
0	29,9
1	29,5
2	29,75
3	27,5
4	28,4
5	28,95
6	25,45
7	25,65
8	23,85
9	29,1
10	21,85

Distance (mm)	M - BF (Cps)
15	17,85
20	14,6
25	12,05
30	9,75
7	25,65
35	8,1
40	7,35
45	5,45
50	4,45
55	3
60	2,55

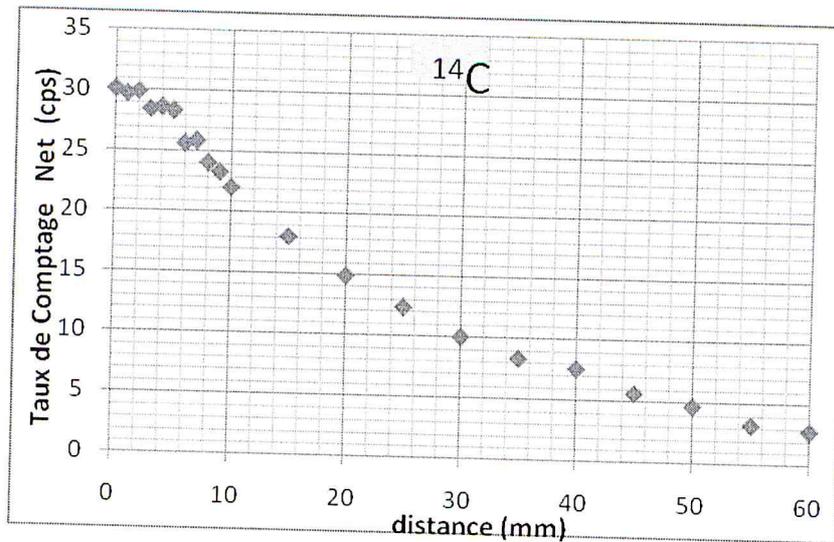


Fig.4.6. variation de la réponse en fonction de distance pour le ^{14}C

4.5.2. Mesures avec le ^{36}Cl :

La date : 22/03/2011 : Bruit de fond : 0,5 cps

Tab.14. Réponse du détecteur pour ^{36}Cl

Distance (mm)	M –BF (Cps)
0	223,1
1	223,7
2	222,7
3	217,1
4	215,1
5	216,1
6	211,5
7	205,1
8	201,7
9	194,7
10	195,7
11	191,9
12	189,9
13	183,1
14	183,5
15	179,3
16	172,5
17	171,3
18	164,3
19	161,5
20	154,5
22	151,1
24	145,1

Distance (mm)	M –BF (Cps)
26	134,3
28	129,7
30	123,9
32	116,3
34	113,3
36	109,1
38	100
40	98,05
42	96,1
44	88,25
46	84,7
48	79
50	75,05
52	73,2
54	65,55
56	65,95
58	64,25
60	62,6
62	58,7
64	58,1
66	51,5
68	52,65
70	48,6

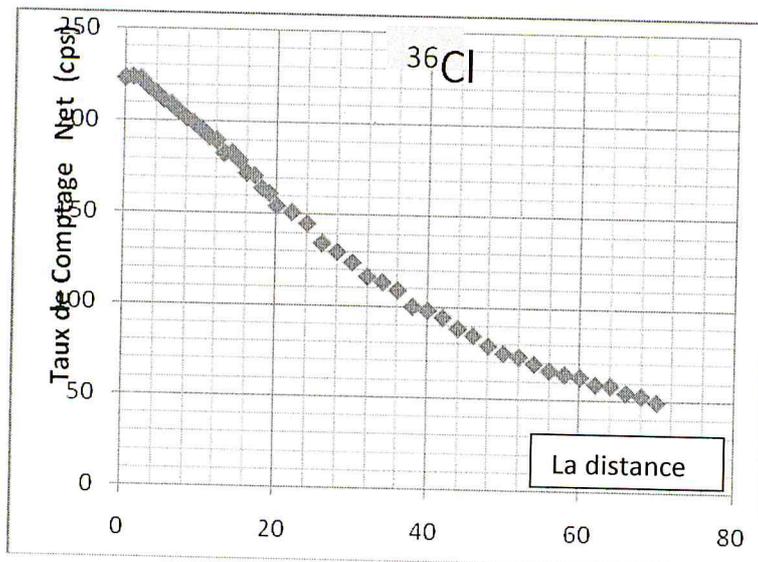


Fig.4.7. variation de la réponse en fonction de distance pour le ^{36}Cl

4.5.3. Mesure avec le ^{90}Sr :

Date de mesure : 05/04/2011: Bruit de fond : 1 Cps

Tab.15. Réponse du détecteur pour ^{90}Sr

Distance (mm)	M - BF (Cps)
0	148,6
1	149
2	145
3	143,2
4	141,6
5	145,8
6	143,6
7	144,8
8	141,6
9	138,4
10	138,4
11	135
12	134
13	128,8
14	130,6
15	125,6
16	130
17	125,8
18	125,6

Distance (mm)	M - BF (Cps)
20	119,4
25	108,4
30	95,85
35	81,35
40	74,05
45	66
50	58,6
60	50,1
70	37,2
80	33,4
90	27,7
100	23,65
110	22,2
120	17,95
140	13
160	11,1
180	7,3
200	5,7
220	1,8

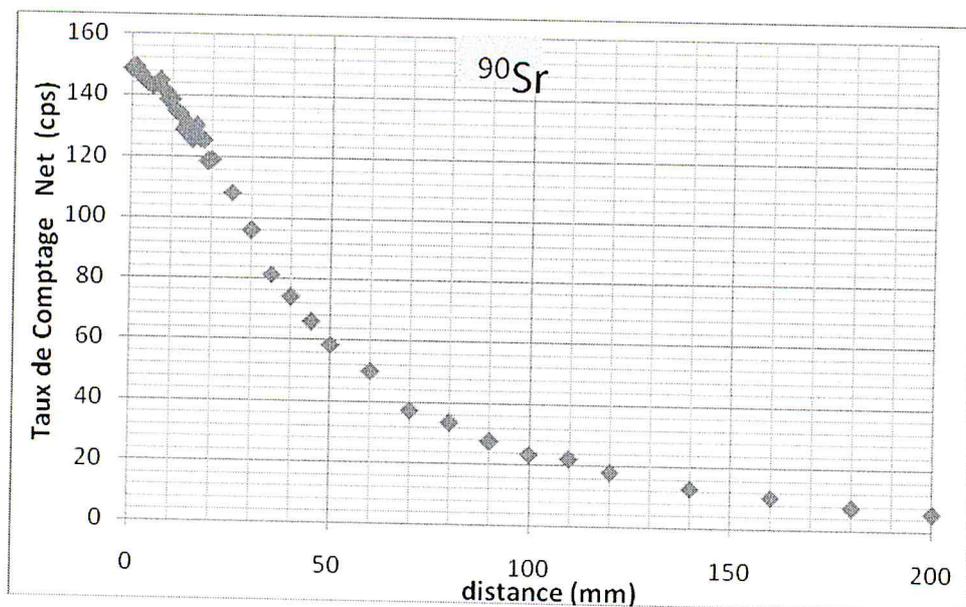


Fig.4.8. variation de la réponse en fonction de distance pour le ^{90}Sr

4.5.4. Mesure avec le ^{60}Co :

Date de mesure : 27/03/2011 : Bruit de fond : 1 Cps

Tab.16. Réponse du détecteur avec ^{60}Co

Distance (mm)	M - BF (Cps)
0	94,27
1	94,3
2	92,65
3	90,35
4	89,15
5	86,7
6	83,1
7	83,35
8	81,02
9	80,85
10	77,5
11	76,7
12	76,5
13	73,9
14	71,6
15	70,65
16	68,5
17	66,4
18	64,45
19	63,5
20	61,75
21	61,7

Distance (mm)	M - BF (Cps)
22	57,9
23	57,25
24	53,25
25	51,45
26	49,9
27	48
28	47,9
29	47,3
30	46,75
32	43,55
34	41,6
36	39
38	38
40	35,2
45	28,55
50	26,4
60	20,85
70	16
80	13,15
100	9,6
120	5,95

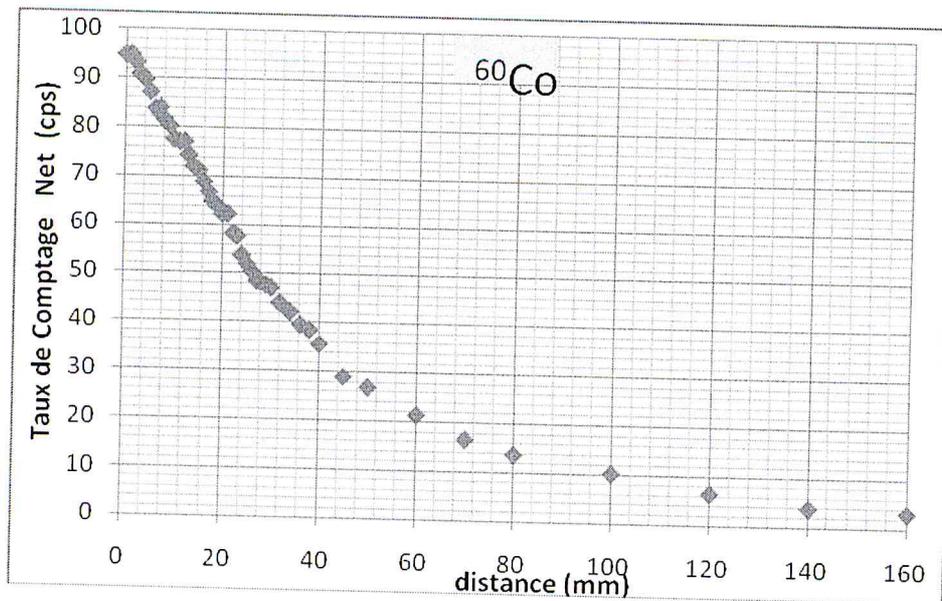


Fig.4.9. variation de la réponse en fonction de distance pour le ^{60}Co

4.5.5. Mesure avec ^{137}Cs :

Date de mesure : 07/04/2011 : Bruit de fond : 0,5.

Tab.16. Réponse du détecteur pour le ^{137}Cs

Distance (mm)	M -BF (Cps)
0	252,7
1	247,9
2	249,9
3	251,3
4	244,1
5	238,7
6	233,7
7	228,9
8	224,5
9	221,5
10	216,3
11	211,3
12	205,1
13	202,1
14	195,3
15	190,1

Distance (mm)	M -BF (Cps)
16	183,5
17	181,9
18	176,9
19	173,9
20	169,3
30	129,3
40	97,09
50	74,2
60	57,3
80	36,75
100	25,05
150	10,4
200	5,9
250	4,25
280	2,95
290	2,5

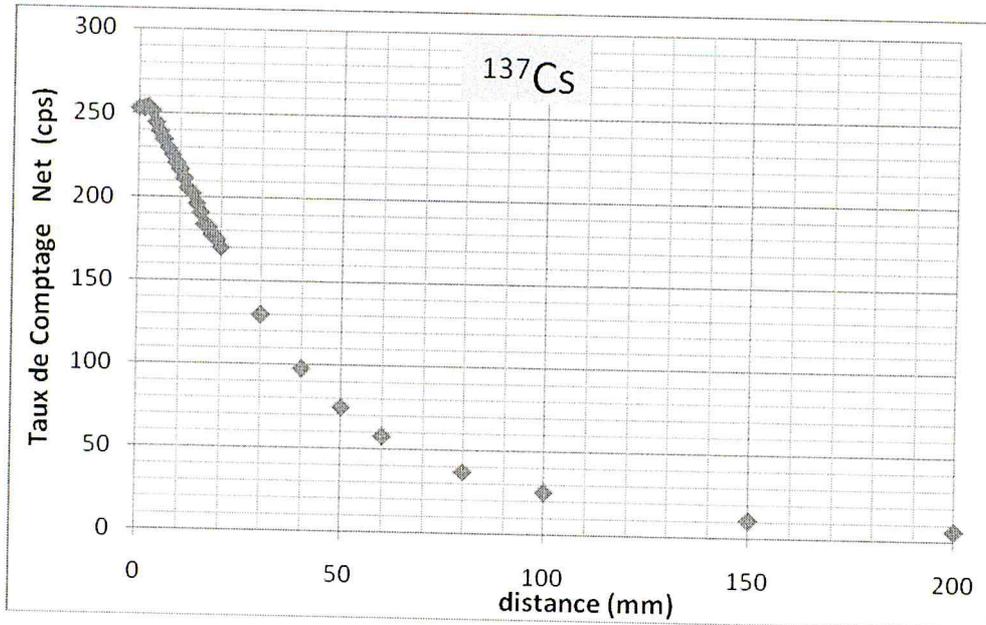


Fig.4.10. variation de la réponse en fonction de distance pour le ^{137}Cs

4.5.6. Mesure avec ^{241}Am :

Date de mesure : 22/03/2011 : Bruit de fond : 1 Cps.

Tab.17. Réponse du détecteur pour ^{241}Am

Distance (mm)	M - BF (Cps)
0	9,25
1	9,1
2	9,3
3	8,1
4	6,95
5	7,5
6	6,65
7	5,85
8	5,85
9	5,25
10	4,75
11	4,35
12	2,95

Distance (mm)	M - BF (Cps)
13	2,65
14	2,15
15	1,8
16	1,25
17	0,8
18	0,4
19	0,2
20	0,35
22	0,4
24	0,3
26	0,05
28	0,4
30	0,15

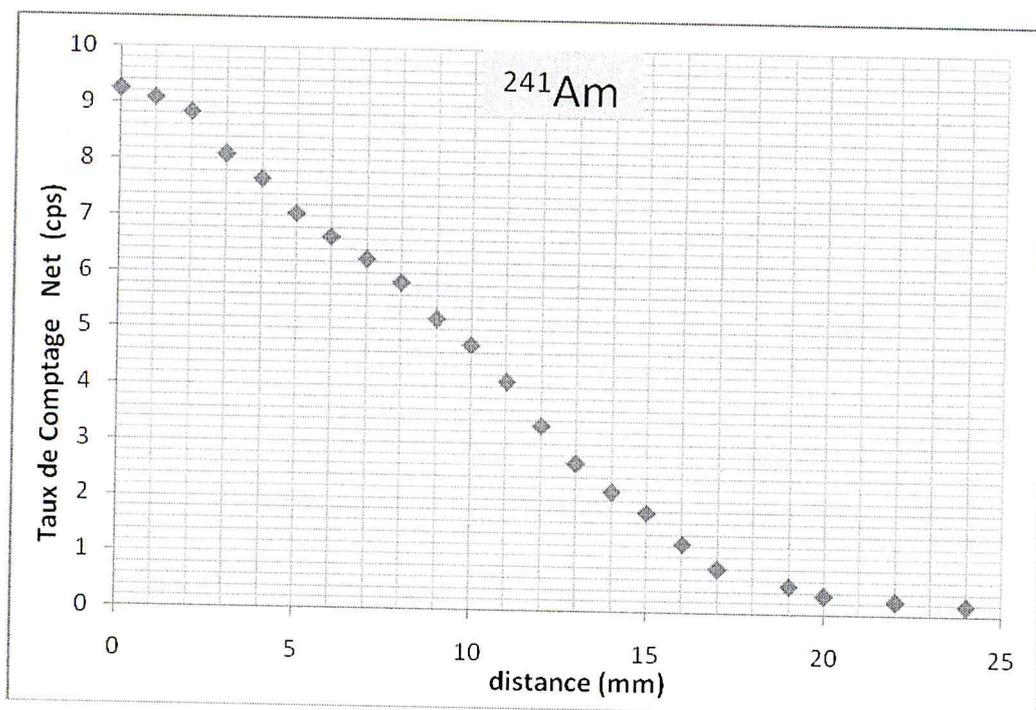


Fig.4.11. variation de la réponse en fonction de distance pour le ^{241}Am

4.5.7. Récapitulatif

Après avoir relevé des mesures du taux de comptage à différentes distance, on voit que la réponse du détecteur aux six radioéléments (^{14}C , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{36}Cl , ^{241}Am) présente le même comportement. La différence réside dans le parcours maximal qui change avec l'énergie. Pour mettre en évidence cet aspect, nous avons comparé la réponse du détecteur en normalisant le taux de comptage par rapport à la distance $x=0$. Les résultats sont représentés par la figure 4.12.

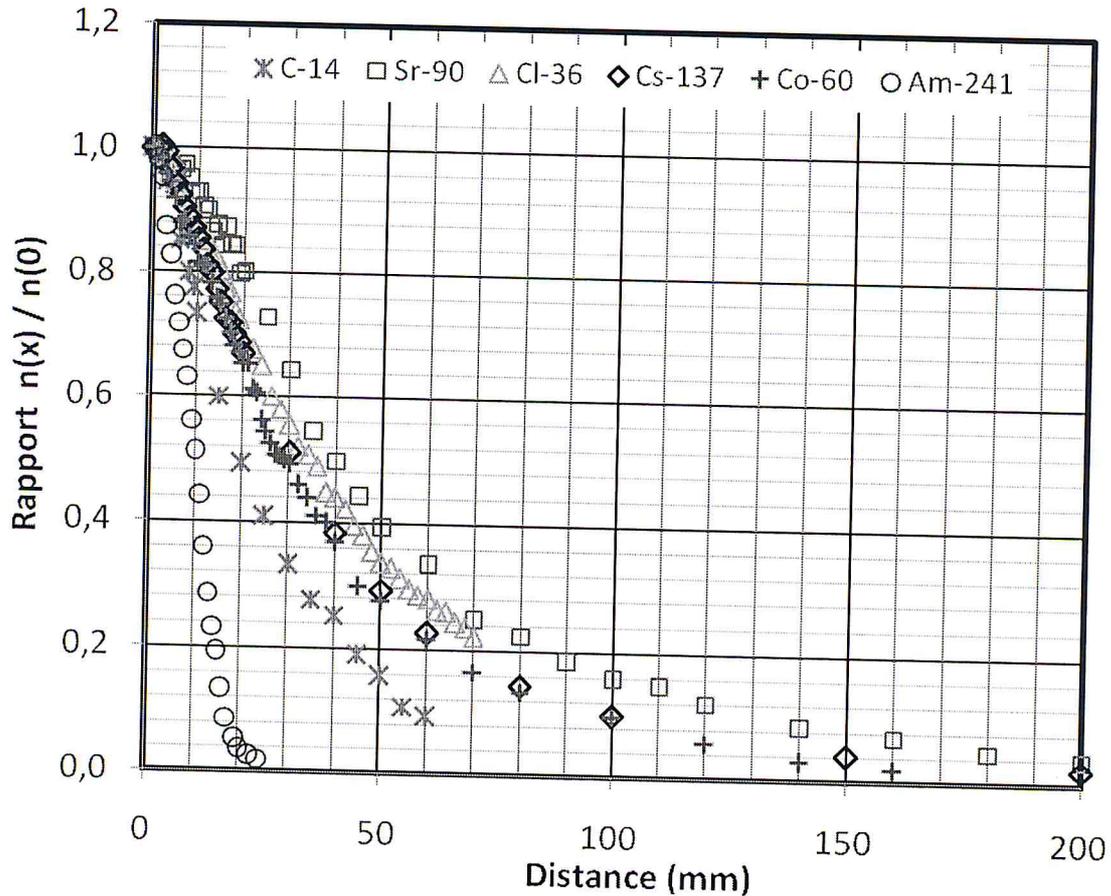


Fig.4.12. Taux de comptage normalisé à $x=0$ en fonction de la distance

Nous remarquons par ailleurs, que la variation du taux de comptage en coups par seconde décroît quasi exponentiellement avec la distance. Néanmoins, pour des distances inférieures à 10 mm, cette variation est linéaire. Ceci peut être observé en retraçant les figures précédentes entre 0mm et 10mm.

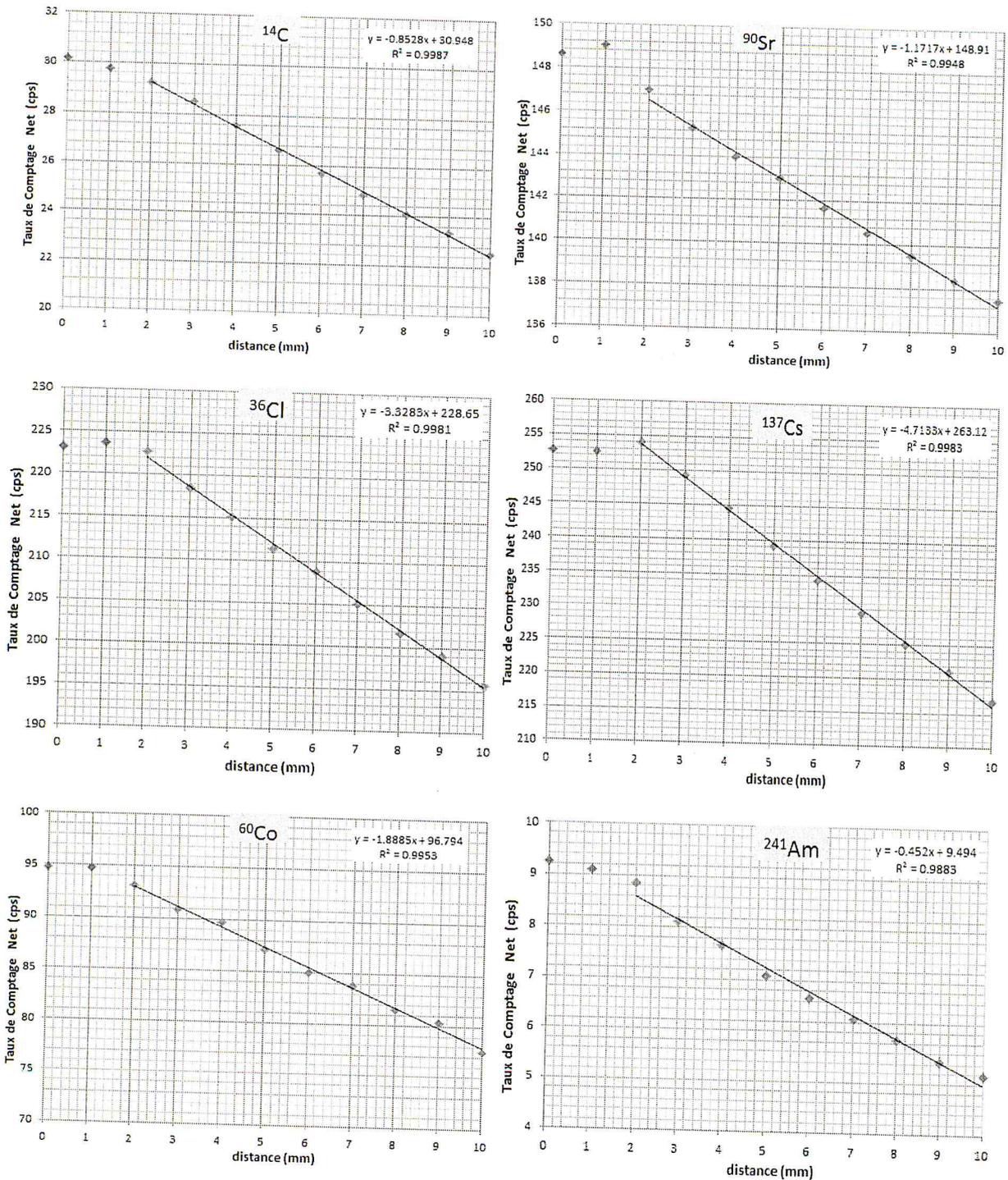


Fig.4.13. variation de la réponse du détecteur TRACERCO T201 pour des distances inférieures à 10 mm

Les courbes de la figures 4.13 montrent bien que qu'au-delà de la distance $x=2$ mm, la variation de la réponse du détecteur TRACERCO T201 est linéaire. Ceci permet de conclure que pour l'étalonnage de ce détecteur, il faut choisir une distance comprise entre 2 et 10 mm. Nous avons choisi le milieu de l'intervalle ($x=5$ mm).

4.5.8. Interprétation des résultats

On voit que pour la réponse du détecteur dépend de la distance de mesure. Pour une distance de 20 mm par exemple, le rapport de la réponse par rapport à zéro est compris entre 2 % (chute de 98 %) pour ^{241}Am (alpha) et 80 % (chute de 20%) (beta). A la distance de 50 mm, ce rapport devient 0% pour ^{241}Am (rayons alpha absorbés dans l'aire) et 40% (chute de 60%) pour le ^{90}Sr - ^{90}Y . Par conséquent, il est important de maintenir le détecteur à une distance inférieure à 20 mm si l'on veut détecter toutes les contaminations y compris la contamination alpha.

Nous avons remarqué que la réponse est linéaire pour des distances comprises entre 2mm et 10mm. Ceci est une caractéristique intéressante parce qu'elle nous permet de calculer la réponse du détecteur à l'aide d'une équation linéaire en effectuant simplement son étalonnage à une distance donnée comprise entre 2mm et 10mm). Dans ce qui suit, nous allons nous intéresser à l'étude du rendement du détecteur et son étalonnage.

4.6. Le rendement de détection :

4.6.1. Définition

Le Rendement est défini comme Le rapport entre le nombre d'impulsions comptées et le nombre de particules émises par la source.

$$\varepsilon = \frac{M - B_F}{q_{2\pi}} = \frac{M - B_F}{E_{SR} \cdot W} \quad 4.3.$$

Où

M et B_F sont respectivement les taux de comptage total mesuré de la source de référence et du bruit de fond, en s^{-1} (CPS);

$q_{2\pi}$ est le taux d'émission de la source de référence en s^{-1} en dessous de la surface W ; en cm^2 de la fenêtre sensible du détecteur ;

E_{SR} est le taux d'émission surfacique, en $\text{s}^{-1} \text{cm}^{-2}$, de la source de référence ;

Pour le calcul des rendements du détecteur *TRACERCO T201*, nous avons mesuré le diamètre de la surface active de sa sonde. Les valeurs obtenues sont :

$$\varnothing = 49 \text{ mm} \rightarrow W = 18.848 \text{ cm}^2$$

Les rendements de détection en fonction de la distance ont été calculés en utilisant les résultats du taux de comptage mesurés précédemment et en utilisant les taux d'émission des sources de référence du tableau 4.7. De la même manière que pour les taux de comptage ; nous avons étudié la variation du rendement de détection pour les distances $x=0\text{mm}$ à $x=10\text{mm}$. Les résultats sont donnés par les figures 4.14a à b suivantes.

4.6.2. Résultats obtenus pour le détecteur 1 (TRACERCO T201)

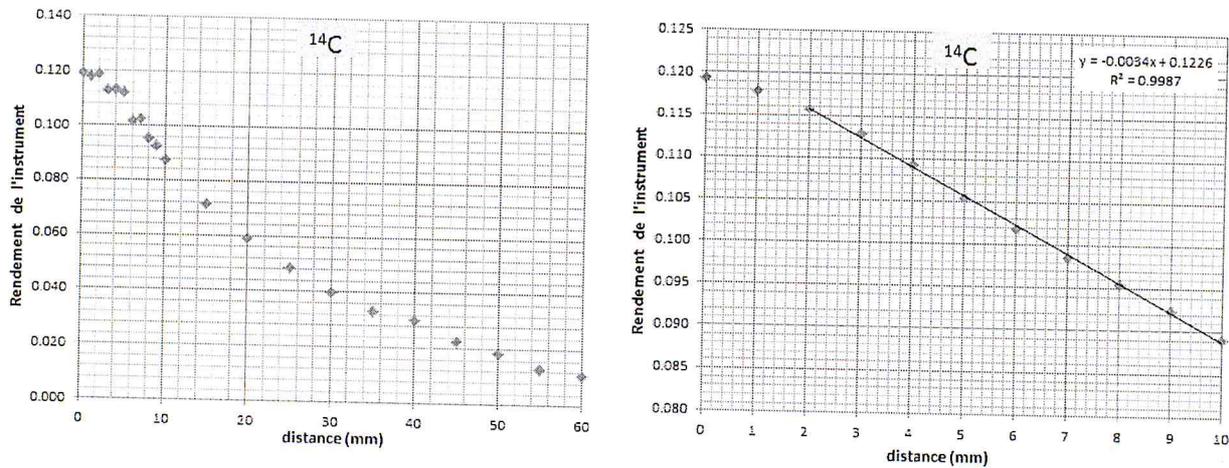


Fig.4.14a. Variation du rendement en fonction de la distance (^{14}C). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm

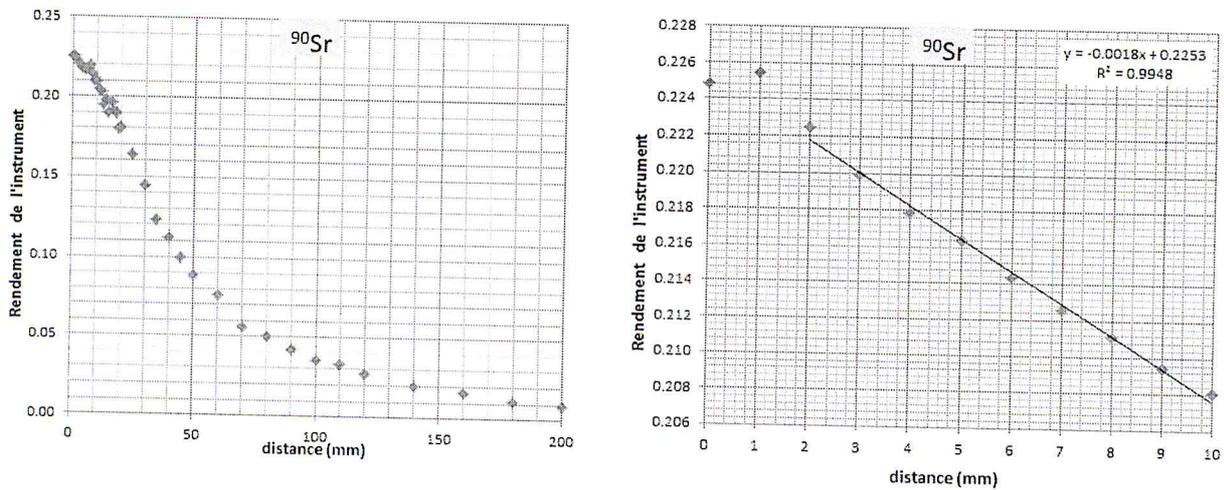


Fig.4.14b. Variation du rendement en fonction de la distance (^{90}Sr). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm

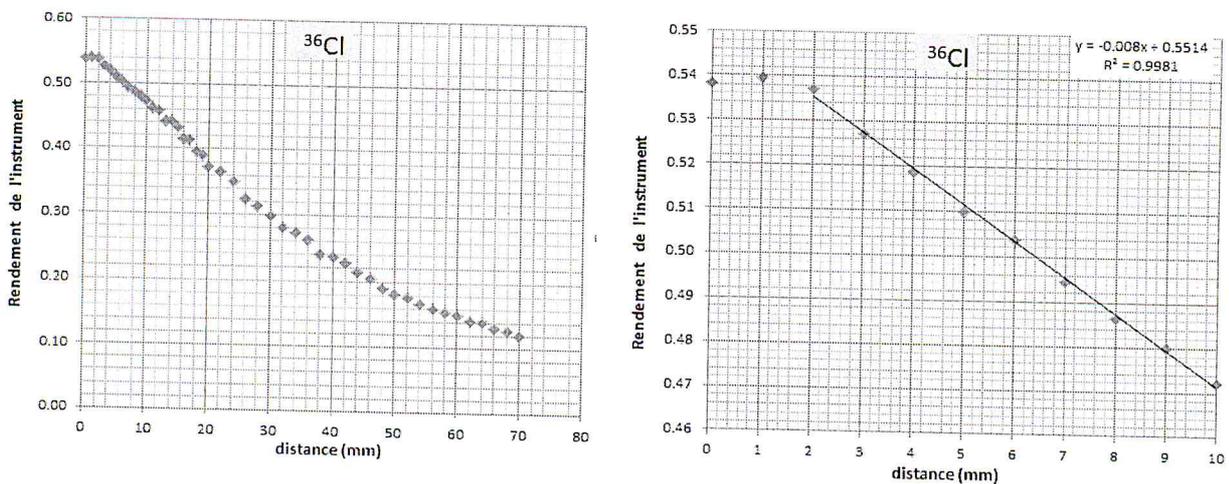


Fig.4.14c. Variation du rendement en fonction de la distance (^{36}Cl). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm

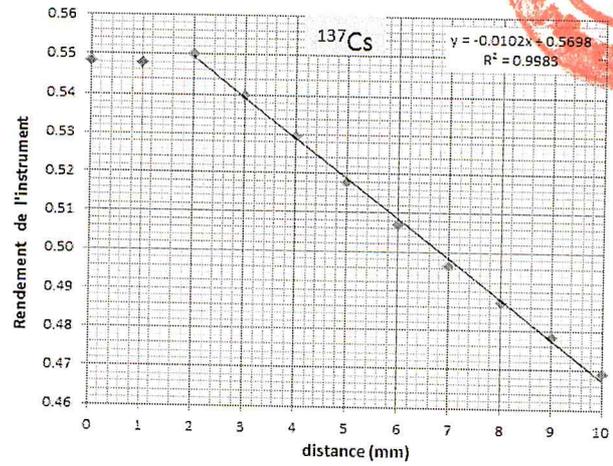
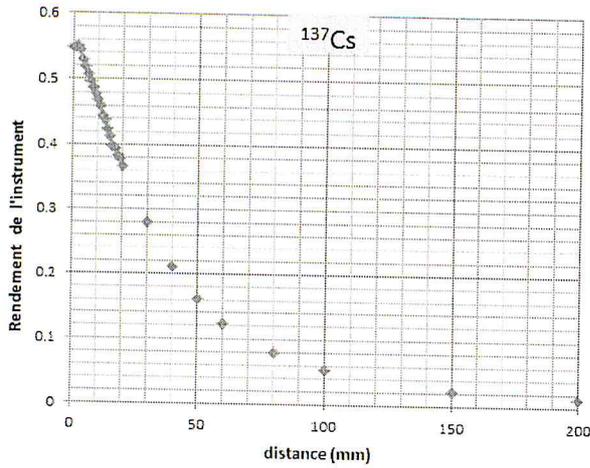


Fig.4.14d. Variation du rendement en fonction de la distance (^{137}Cs). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm

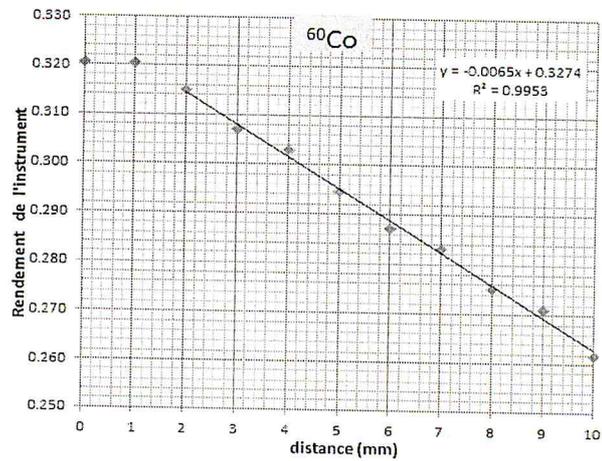
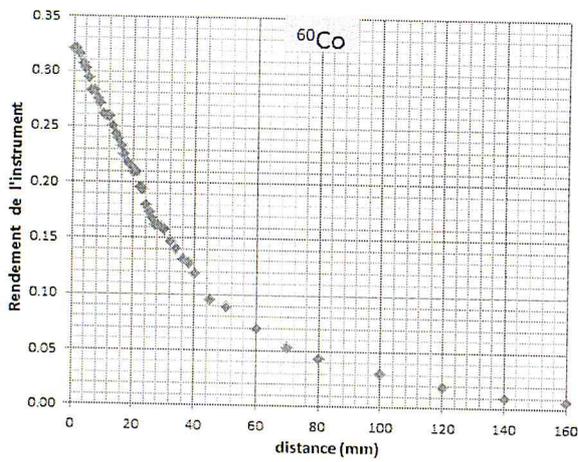


Fig.4.14e. Variation du rendement en fonction de la distance (^{60}Co). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm

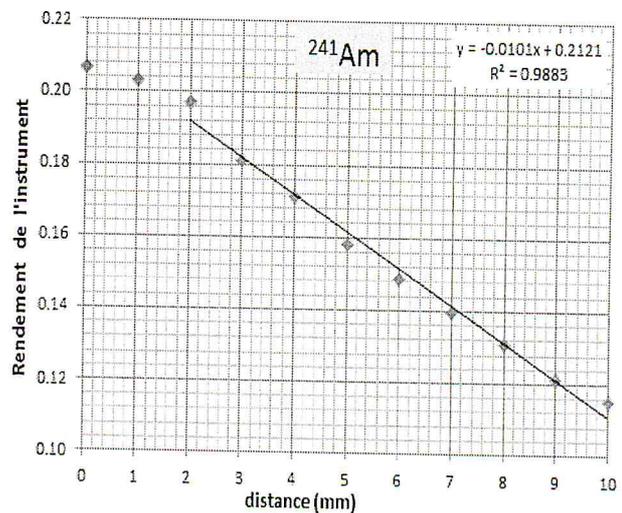
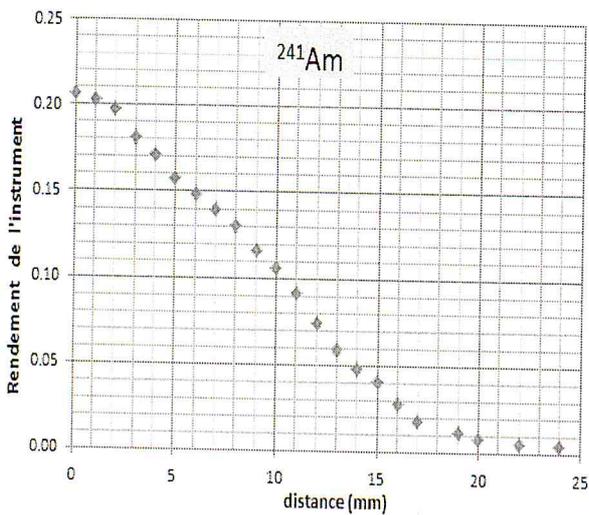


Fig.4.14f. Variation du rendement en fonction de la distance (^{241}Am). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm.

4.6.3. Interprétation des résultats obtenus :

Le rendement d'un détecteur est un paramètre important qui caractérise la chaîne de détection. On remarque que pour les six radioéléments, le rendement de détection suit les mêmes variations que le taux de comptage. Il décroît de manière quasi exponentielle et atteint une stabilisation au-delà d'une certaine distance qui dépend du radioélément. Nous remarquons particulièrement que le rendement de détection est linéaire entre les distances $x=2\text{mm}$ et $x=10\text{mm}$. Comme pour le taux de détection, nous avons opté pour la distance $x=5\text{ mm}$ pour le calcul du rendement de référence. Les résultats seront donnés plus loin.

4.7. Procédure d'étalonnage de détecteurs de contaminations surfaciques :

4.7.1. Le but

L'étalonnage d'un détecteur de contamination consiste à comparer, à travers le facteur d'étalonnage, sa réponse, en termes de taux de comptage, par rapport aux taux d'émission des sources surfaciques de référence qui émettent des rayonnements (alpha et beta).

4.7.2. Equipements utilisés

- Détecteurs de contamination surfacique décrits en 4.2.1.
- Sources de références surfaciques d'émission alpha et beta décrites en 4.2.2.

Une étude détaillée a été au préalable réalisée avec le détecteur TRACERCO T201. Cette étude a porté sur la variation du facteur d'étalonnage en fonction de la distance en utilisant les résultats de mesure du taux de comptage dont les résultats ont été présentés en 4.5.

4.7.3. Conditions standards de mesure

Tab.4.18. Condition standards de mesure

Paramètres d'influences	Limites d'acceptance
temps de préchauffage	> 60 s spécifié par le constructeur
Contamination	Non détectable
bruit fond de photon	inférieure à (0.1 μSv)
Température ambiante	20°C – 24°C
pression atmosphérique	70-106 kPa
humidité relative	Ne passe pas 75%
Champ électromagnétique	Négligeable pour la calibration
Champ magnétique	Négligeable pour la calibration

4.7.4. Source standard de référence

Les sources de référence standard de classe 2, non collimatées, avec une superficie égale ou supérieure à celle du détecteur, doivent être utilisées. Ces sources doivent être étalonnées en termes de débit d'émission de surface dans un laboratoire accrédité. La période de recalibration de sources de classe 2 ne doit pas dépasser 4 ans.

4.7.5. Géométrie d'étalonnage

La distance d'étalonnage exacte entre la fenêtre de détecteur et la surface de la source est égale 5mm. La géométrie de calibration est bien présentée dans la Fig. 4.15.

4.7.6. Correction de l'activité

Le débit d'émission d'une large source surfacique décroît avec le temps à cause de la décroissance radioactive. Par conséquent, à chaque utilisation de la source, il faut tenir compte de cette décroissance.

4.7.7. Calcul du facteur d'étalonnage :

Le facteur d'étalonnage est donné par le formalisme suivant:

$$F_C = \frac{S_A}{M - B_F} \quad 4.4.$$

F_C est le facteur d'étalonnage (cm^{-2}).

S_A : Activité surfacique ($\text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$).

M : La lecture par le détecteur (s^{-1}).

B_F : bruit de fond (s^{-1}).

Pour calculer l'activité surfacique on utilise le formalisme suivant: $S_A = \text{activité} / \text{surface}$.

4.7.8. Résultats obtenus pour le détecteur 1 (TRACERCO T201)

Pour ce détecteur, nous utilisons les résultats du paragraphe 4.5. pour étudier la variation en fonction de la distance. Les résultats sont donnés par les figures 4.16.

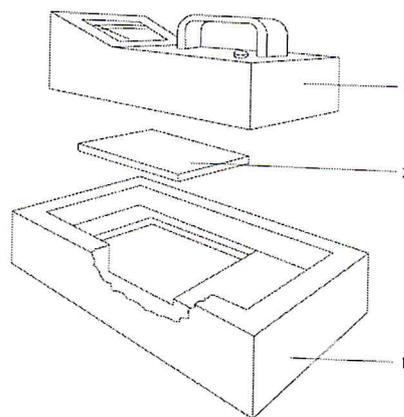


Fig.4.15. Géométrie recommandée pour l'étalonnage d'un détecteur de la contamination. (1) support de la source de référence (2) source de référence. (3) instrument à étalonner

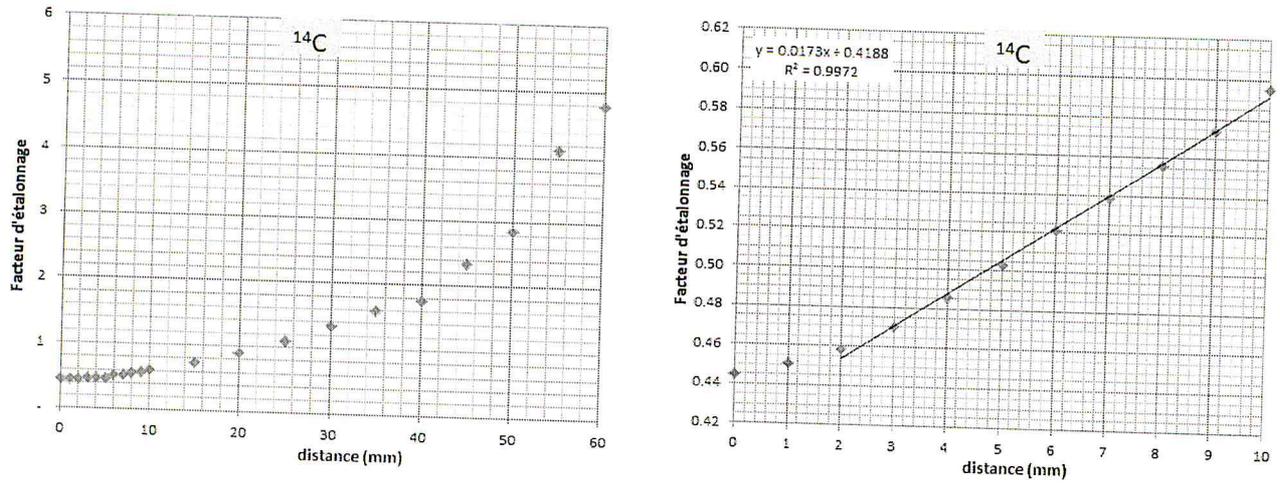


Fig.4.16a. Variation du facteur d'étalonnage en fonction de la distance (^{14}C). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm

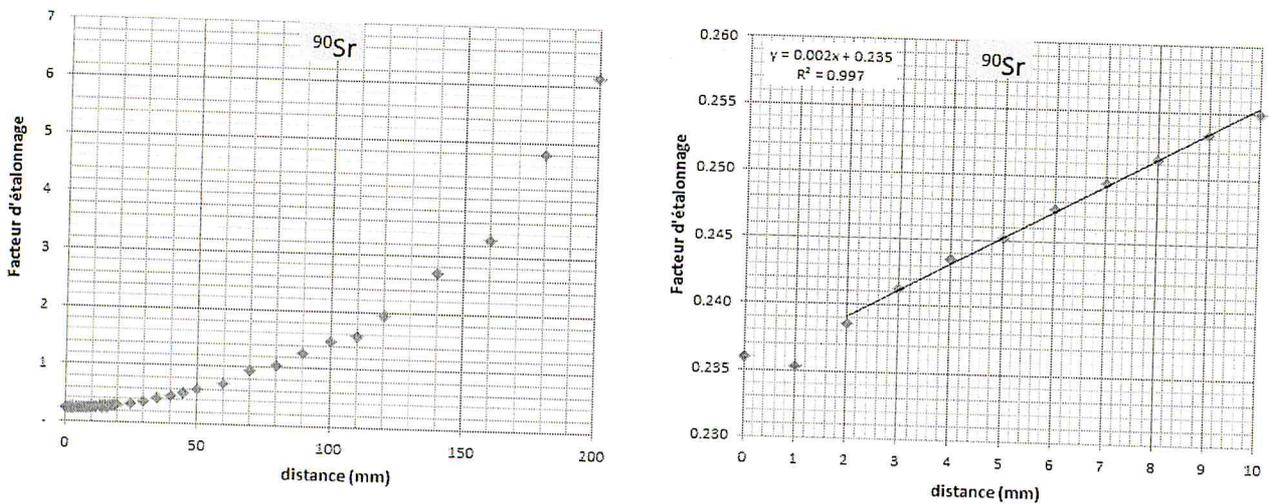


Fig.4.16b. Variation du facteur d'étalonnage en fonction de la distance (^{90}Sr). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm

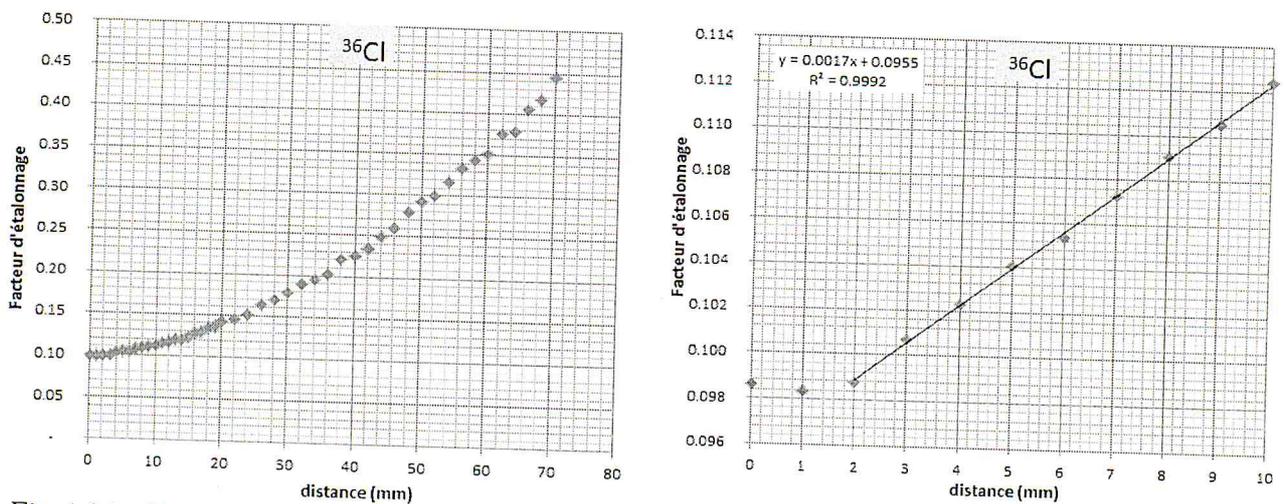


Fig.4.16c. Variation du facteur d'étalonnage en fonction de la distance (^{36}Cl). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm

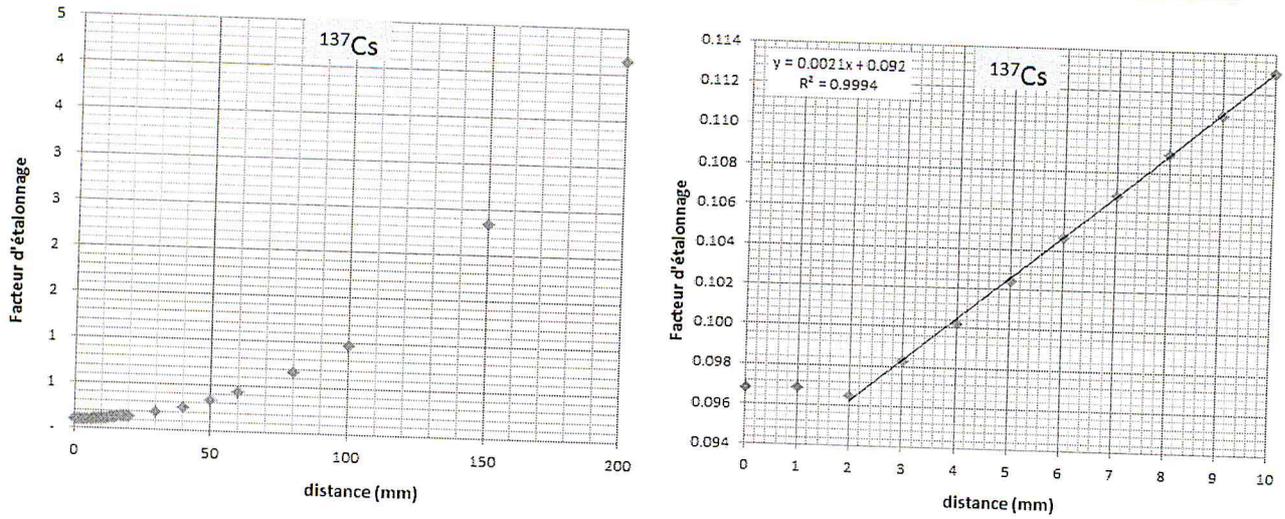


Fig.4.16d. Variation du facteur d'étalonnage en fonction de la distance (^{137}Cs). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm

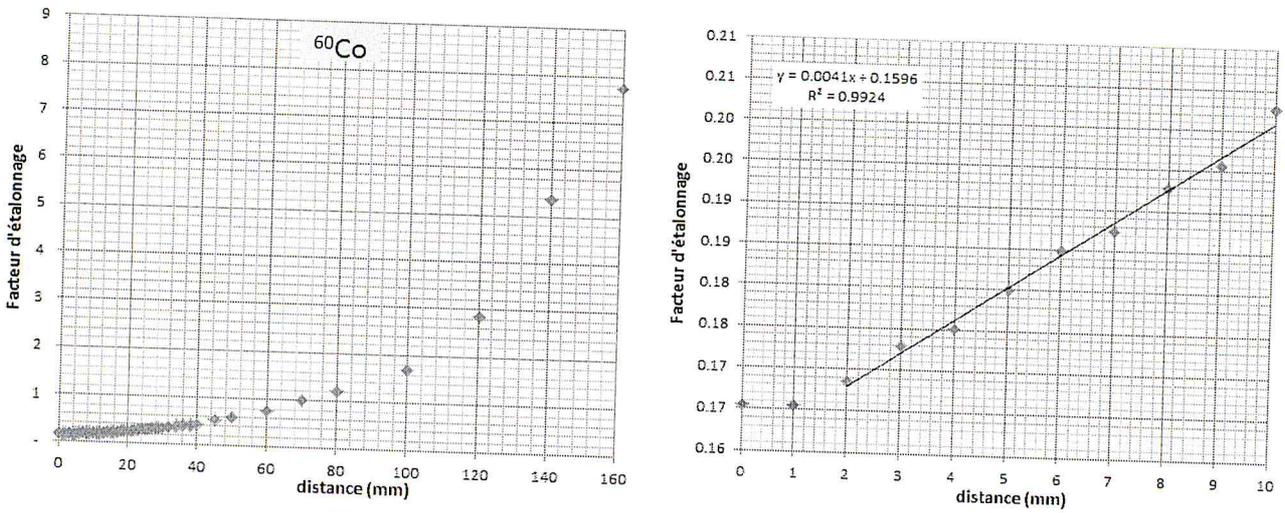


Fig.4.16e. Variation du facteur d'étalonnage en fonction de la distance (^{60}Co). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm

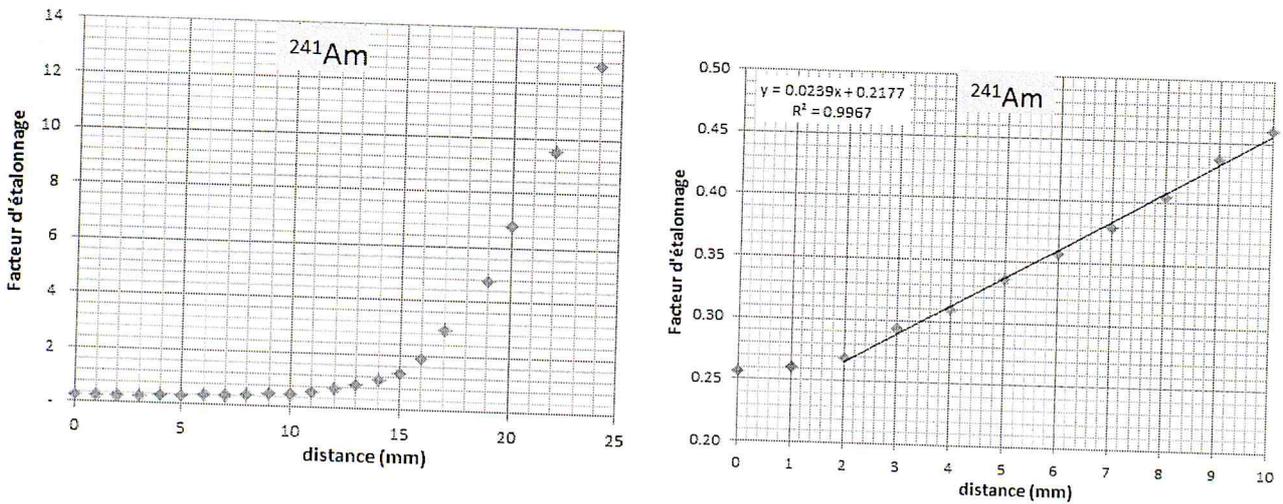


Fig.4.16f. Variation du facteur d'étalonnage en fonction de la distance (^{241}Am). La figure de droite représente une restriction aux distances inférieures à 10 mm.

4.7.9. Interprétation des résultats obtenus :

On remarque que pour les six radioéléments, le facteur d'étalonnage augmente avec la distance. La variation devient importante au-delà d'une distance qui dépend du radioélément donc de l'énergie des betas. Nous remarquons particulièrement que la variation du facteur d'étalonnage est parfaitement linéaire entre les distances $x=2\text{mm}$ et $x=10\text{mm}$. Comme pour le rendement, nous avons opté pour la distance $x=5\text{ mm}$ pour le calcul du rendement de référence. Les résultats seront donnés plus loin.

4.8. Détermination du rendement et étalonnage des autres détecteurs

4.8.1. Résultats obtenus pour les trois détecteurs

a) *Détecteur 1 (TRACERCO T201)* ($\varnothing = 49\text{ mm}$ \rightarrow $W = 18.848\text{ cm}^2$)

Tab.4.19. Rendements de détection et facteurs d'étalonnage pour le détecteur 1

Sources de référence	Activité surfacique ($\text{s}^{-1}/\text{cm}^2$)	ESC . W (s^{-1})	M-B _F (s^{-1})	Rendement	F _c (cm^{-2})
¹⁴ C	13.40	252.52	30.15	0.11	0.473
⁹⁰ Sr	35.06	660.83	148.60	0.22	0.245
³⁶ Cl	22.00	414.65	223.10	0.51	0.104
¹³⁷ Cs	24.45	460.91	252.70	0.52	0.102
⁶⁰ Co	15.53	292.62	93.78	0.29	0.180
²⁴¹ Am	2.38	44.77	9.25	0.16	0.336

Remarque :

Pour ce détecteur, le facteur d'étalonnage a été déterminé pour une distance égale à 5mm.

b) *Détecteur 1 (900 mini – monitor)* ($\varnothing = 32\text{ mm}$ \rightarrow $W = 8.038\text{ cm}^2$)

Tab.4.20. Le facteur d'étalonnage de détecteur 2

Sources de référence	Activité surfacique ($\text{s}^{-1}/\text{cm}^2$)	ESC . W (s^{-1})	M-B _F (s^{-1})	Rendement	F _c (cm^{-2})
¹⁴ C	13.4	107.70	7.00	0.06	1.914
⁹⁰ Sr	35.02	281.47	69.00	0.25	0.508
³⁶ Cl	22	176.84	104.00	0.59	0.212
¹³⁷ Cs	24.43	196.35	127.33	0.65	0.192
⁶⁰ Co	15.36	123.51	49.00	0.40	0.313
²⁴¹ Am	2.37	19.09	13.50	0.71	0.176

Remarque :

Pour ce détecteur, le facteur d'étalonnage a été déterminé pour une distance égale à 2mm qui correspond à l'épaisseur de la protection en plastique de la fenêtre. En raison de l'impossibilité de placer la sonde sur le dispositif expérimental, celle-ci a été mise en contact avec les sources.

a) *Détecteur 3 (Nardeux MCB21) ($\varnothing = 28 \text{ mm} \rightarrow W = 6.154 \text{ cm}^2$)*

Tab.4.21. Le facteur d'étalonnage de détecteur 3

Sources de référence	Activité surfacique ($\text{s}^{-1}/\text{cm}^2$)	ESC . W (s^{-1})	M-B _F (s^{-1})	Rendement	Fc (cm^{-2})
¹⁴ C	13.40	82.46	37.33	0.45	0.359
⁹⁰ Sr	35.01	215.49	40.67	0.19	0.861
³⁶ Cl	22.00	135.40	74.00	0.55	0.297
¹³⁷ Cs	24.43	150.32	74.00	0.49	0.330
⁶⁰ Co	15.36	94.53	10.33	0.11	1.486
²⁴¹ Am	2.37	14.62	7.67	0.52	0.310

Remarque :

De la même manière que pour le détecteur 2, le facteur d'étalonnage a été déterminé pour une distance égale à 2mm qui correspond à l'épaisseur de la protection en plastique de la fenêtre.

4.8.2. Récapitulatif

Les récapitulatifs des résultats des rendements de détection et des facteurs d'étalonnage sont représentés par les figures 4.17. Où nous avons représenté les valeurs obtenus en fonction du radioélément utilisé pour la source de référence.

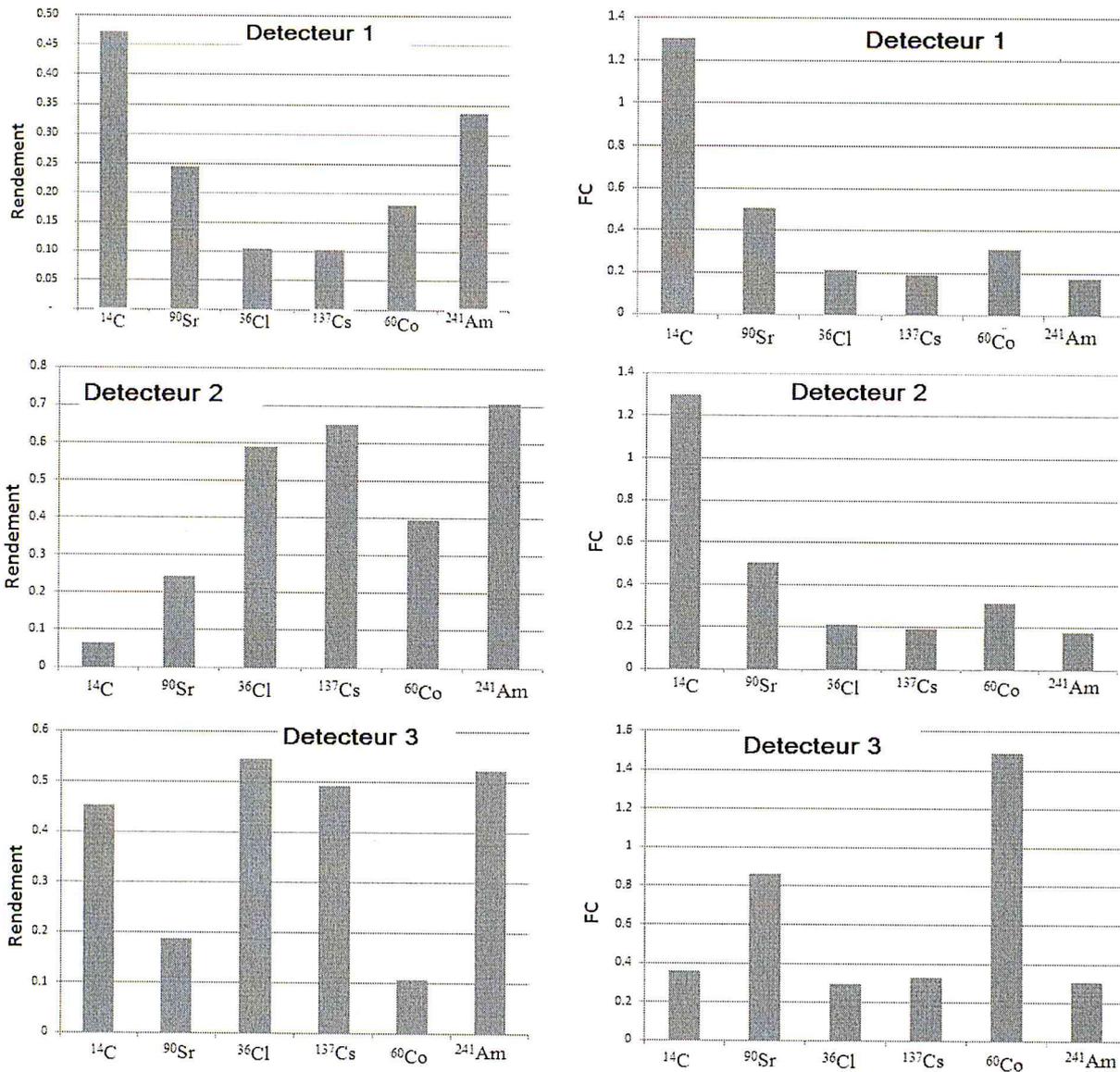


Fig.4.17. Récapitulatif des résultats obtenus pour les trois détecteurs

4.8.2. Interprétation et conclusion :

Nous remarquons que les rendements et les facteurs d'étalonnage des détecteurs étudiés dépendent du radioélément utilisé. Lors des mesures de contamination, Il est très important de connaître le radioélément pour pouvoir appliquer le rendement ou le facteur d'étalonnage correspondant.

Conclusion :

Notre étude a porté sur l'étalonnage des détecteurs de contamination à l'aide de sources surfaciques de référence étalonnées dans un laboratoire primaire. Cette étude a porté sur trois détecteurs de contamination disponibles au moment de notre étude.

Une étude détaillée a porté sur le détecteur TRACERCO T201. Pour ce dernier, nous avons vérifié que le taux de comptage varie de manière quasi exponentielle avec la distance et que pour des distances comprises entre 2 et 10mm, cette variation est parfaitement linéaire, ce qui nous a permis de conclure que l'étalonnage doit être effectué à une distance comprise entre 2 et 10mm, c'est-à-dire $x=5\text{mm}$.

Pour les autres détecteurs, en raison de l'impossibilité de les utiliser avec le dispositif expérimental, nous les avons étalonnés à une distance de 2 mm ; qui est la distance minimale requise.

Notre étude a montré que le rendement des détecteurs dépend du radioélément utilisé.

REFERENCES :

- [1] : Le risque nucléaire (Henri de choudens 2001).
- [2] : Biophysique : Radioactivité, interaction des rayonnements avec la matière, dosimétrie (Faculté de médecine de Grenoble 2003.2004)
- [3] : Radioprotection en milieu médical (B. Hocini 2009).
- [4] : LEA. Site nucléaire du tricastin BP 75. 26701. France (Pierrelatte cedex 2008).
- [5] : WWW. Détecteurs de rayonnement. Com.
- [6] : Détection des rayonnements ionisants (1 cours 6. 2005).
- [7] : JOUVE.S.I, technique de l'ingénieur, 1997.
- [8]: CHINA Institut of ATOMIC ENERGIE MHWRR, saftey analyse report, january, 1991.
- [9]: Safety Reports series N° 16: calibration of radiation protection Monitoring instruments.
- [10] : ALLITI MUSTAPHA, Décontamination d'un milieu hospitalisé, centre de recherche nucléaire d'Alger, mémoire d'un ingénieur niveau 1,1993.
- [11] : H.chodens, la radioprotection dans l'installation nucléaire, paris, 1973.
- [12] : ALI MOHAMED SAID, cours pédagogique de radioprotection, centre de recherche nucléaire de Birine, 2000.
- [13] : D.J. GAMBINI et R. GRANI, manuel de protection, paris, 1973.
- [14] : AGENCE INTERNATIONAL A L'ENERGIE ATOMIQUE, cours universitaire de radioprotection, vienne, 1995.
- [15] : La définition officielle de l'étalonnage selon le Vocabulaire International des termes fondamentaux et généraux de Métrologie (VIM).
- [16] : Fiche de radioprotection: données essentiels nécessaire a la mise en œuvre de la radioprotection (UNIVERSITE DE LIEGE : A. SMONS Chargé de cours adj 2002).
- [17] : Fiche technique de radioprotection pour l'utilisation de radionucléides en sources non scellées : Institut national de recherche et de sécurité BP.35.78110. Le Vésinet.

[18]Manuel de radioprotection à usage des sapeurs-pompier, ministère de l'intérieur, Direction de la sécurité civile, 1992.

[19]Mémonto du risque nucléaire, Institut des risques majeurs, 9 rue lesdiguières 38000 Grenoble, 1990.

[20]Radioprotection dans les installations nucléaires, H. de Choudens, G. Troesch ; Cours de sécurité nucléaire, Radioprotection ; Section génie atomique ; Tec et doc lavoisier, 1995.

[21]Le commissariat à l'énergie atomique, M.-J. Loverini ; Editions du CEA 1995.

