

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN (USTO-MB)

Faculté de Physique



Département de Génie Physique



Spécialité : Physique Médicale

Présentée Par :

Mr BENTOUMI ABDELAALI

Thème

Etude et mise au point d'un détecteur de rayonnement gamma

Encadreur : Pr. BENABADJI Nouredine

Soutenance : le 24 Juin 2018

But du projet

- Etude du rayonnement gamma.
- Etude des détecteurs de rayonnement gamma.
- Réalisation d'un dispositif expérimental dédié.

Plan de travail

I. Introduction.

II. Etude du rayonnement gamma.

III. Etude des détecteurs de rayonnement gamma.

IV. Conception et réalisation d'un détecteur de rayonnement gamma.

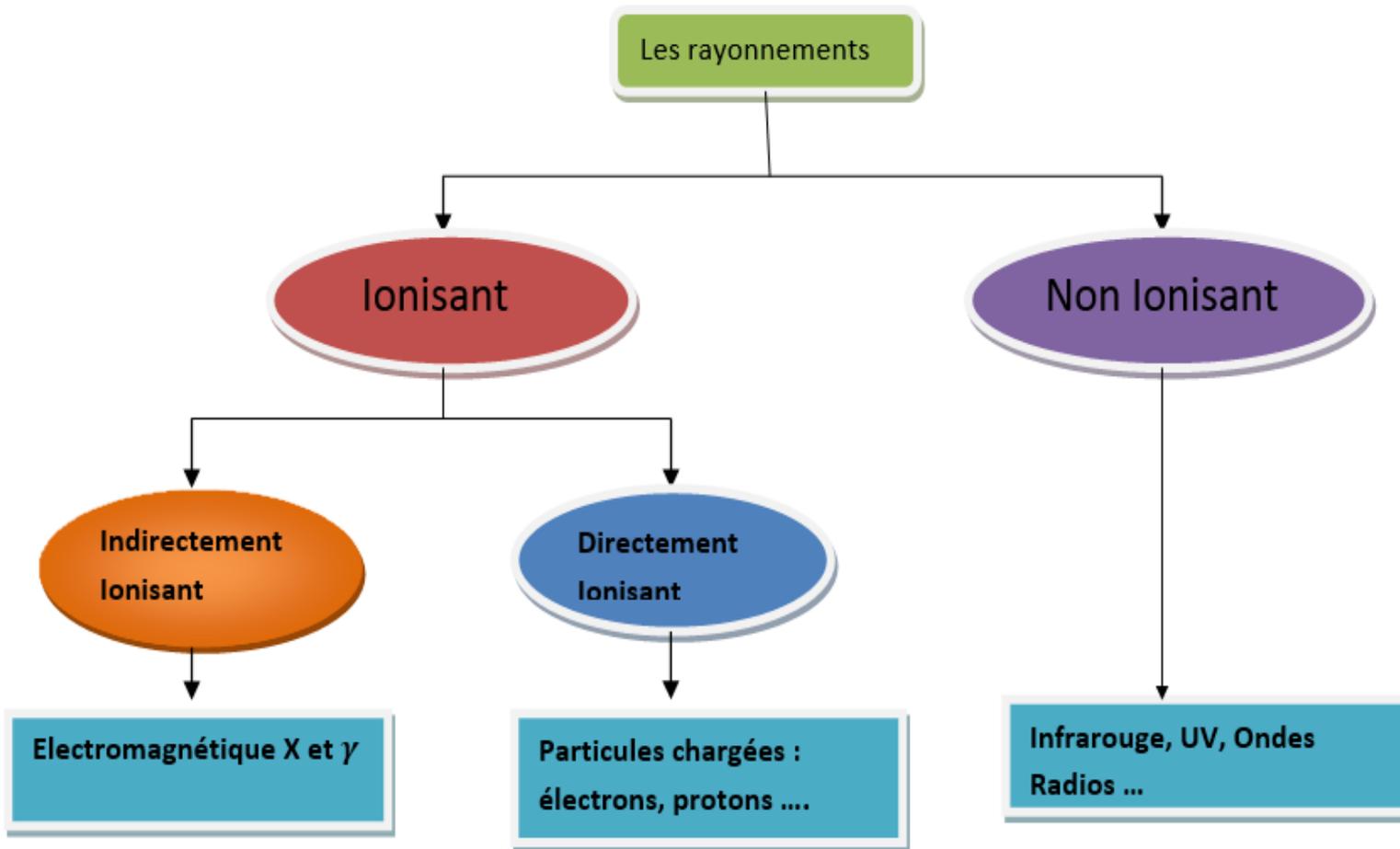
V. Tests et résultats.

VI. Conclusion et perspective.

I. Introduction

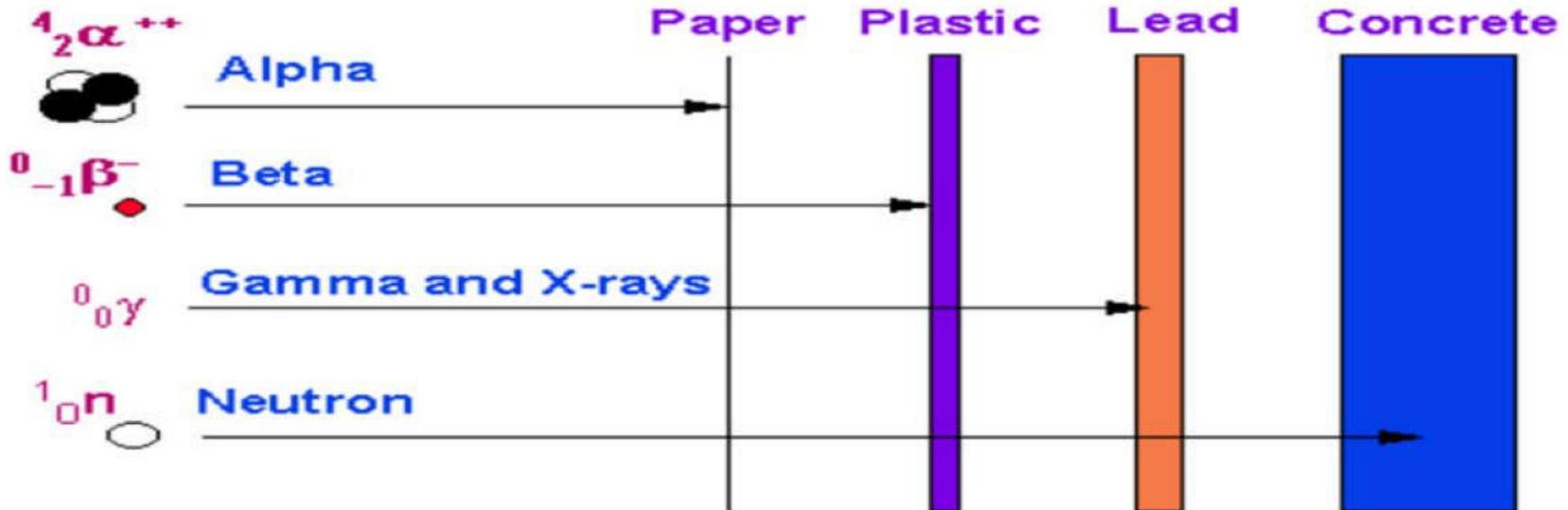
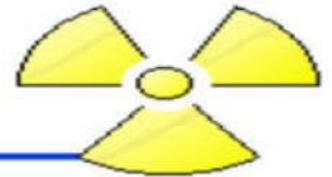
- Le rayonnement gamma est un rayonnement ionisant, souvent qualifié de néfaste pour l'organisme humain. Toutefois, sous dose précisément contrôlée, ce rayonnement peut être plutôt bénéfique à l'organisme humain : il suffit de constater les avancées en médecine nucléaire, où le nombre de pathologies traitées en curiethérapie est sans cesse croissant. D'autres domaines bénéficient de la maîtrise de ce rayonnement, notamment le domaine industriel, pour le contrôle de la qualité des produits alimentaires, par exemple.

II. Etude du rayonnement gamma



Pénétration du rayonnement

Penetrating Distances



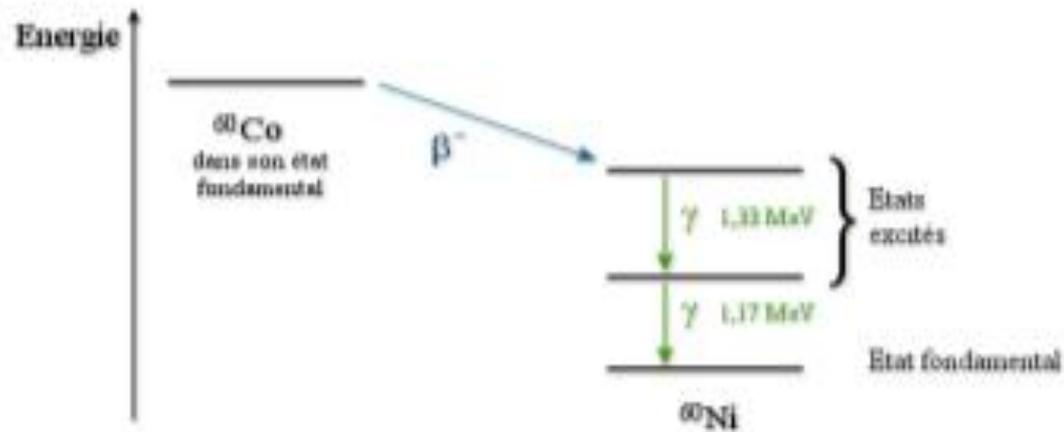
Source de rayonnement Gamma

□ Chaque photon gamma à une énergie discrète, et cette énergie est une caractéristique de la source isotopique, en mesurant les énergies de photons de rayons gamma, on peut déterminer la source du rayonnement.

Les sources de cobalt 60 sont très utilisées dans l'industrie. Le rayonnement γ émis par le noyau fils du cobalt 60, le nickel 60, est mis en œuvre dans de grands irradiateurs pour diverses applications : modification des propriétés physico-chimiques de certains matériaux, stérilisation du matériel chirurgical, amélioration de la conservation des aliments...

une énergie respectivement de 1,17 et 1,33 MeV, correspondant aux différences d'énergie des niveaux considérés.

On peut représenter le processus sur le diagramme suivant :



*Diagramme en énergie du noyau de nickel 60.
Emission de deux photons gamma à la suite de la
désintégration bêta moins.*

Figure I-8 : Emission gamma dans une source de cobalt 60. [14]

Interaction gamma - matière

Interaction gamma - matière

```
graph TD; A[Interaction gamma - matière] --> B[Photo-électrique]; A --> C[Diffusion Compton]; A --> D[Production des paires];
```

Photo-électrique

Diffusion Compton

Production des
paires

Effet Photo-électrique

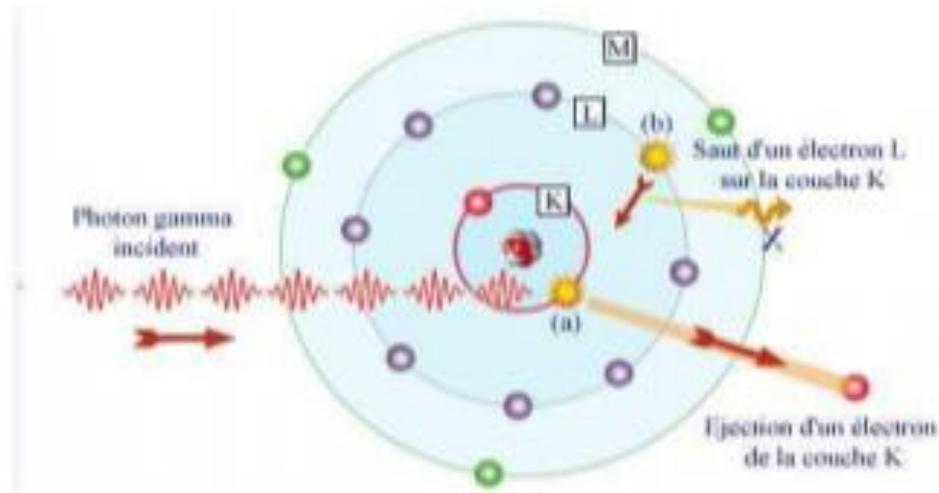


Figure I-12 Effet photoélectrique. [17]

Les photons qui interagissent avec l'atome absorbeur est complètement disparaissent et la probabilité des photons qui sont soumis à l'absorption photo-électrique τ , ce procédé est amélioré par l'absorbeur avec le nombre atomique élevé :

$$\tau \propto zn / E_{\gamma}^2 \quad (8)$$

Diffusion de Compton

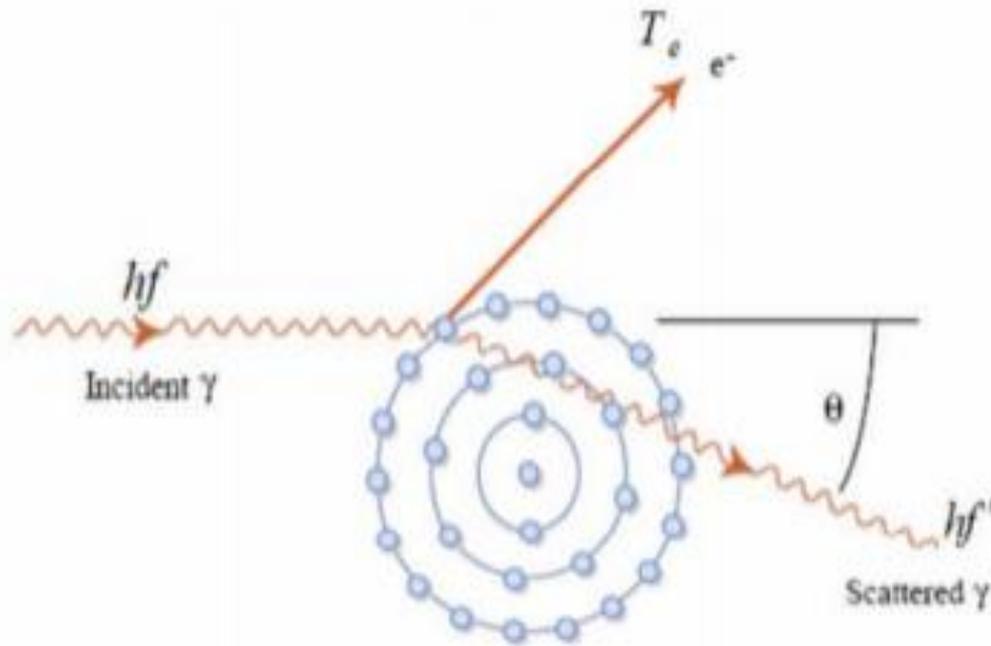


Figure I-13 : Le mécanisme de diffusion Compton. [17]

I-10-4 Production des paires :

Contrairement de l'absorption photoélectrique et la diffusion Compton, la production de paires

Production des paires

Chapitre I

Études du rayonnement gamma

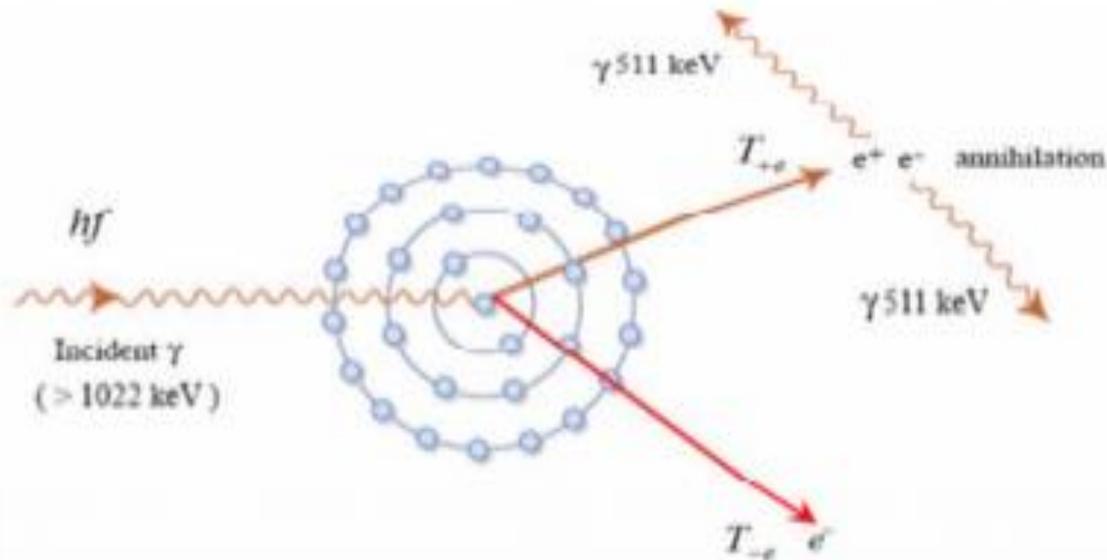


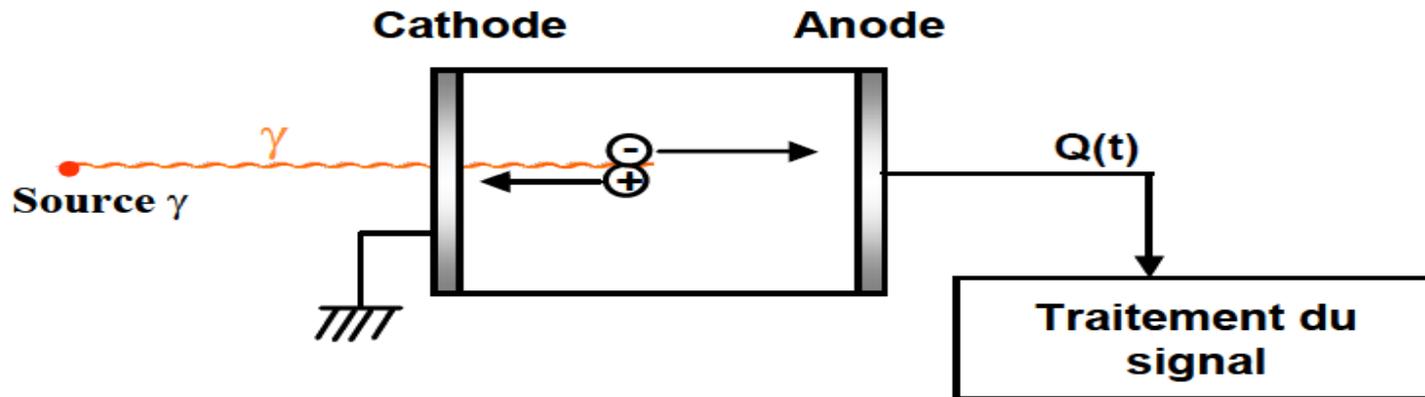
Figure I-14 : Le mécanisme de production de paires. [17]

I.10.5 Abundance relative des affats •

III. Etude des détecteurs du rayonnement gamma

Détection du photon γ :

Le principe d'une chaîne de détection gamma est de convertir chaque photon détecté en un signal mesurable, proportionnel à l'énergie du photon incident. Le détecteur étudié est un parallélépipède de semi-conducteur avec des électrodes sur deux faces opposées,

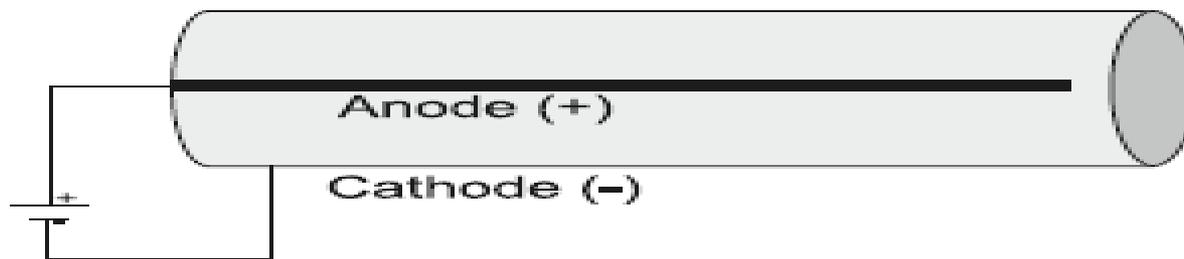


Types de détecteurs

1) Détecteurs à gaz :

1)-a Compteur Geiger :

Les compteurs Geiger ou Geiger Müller (GM) travaillent dans ce régime et sont souvent utilisés pour détecter la radioactivité. Par contre, le taux de comptage est limité car il y a un temps mort important lors de la détection successive de particules.



Si la tension va au-delà du régime de Geiger Müller, on amorce une décharge continue, même en l'absence de rayonnement traversant le détecteur, et le compteur est inutilisable.

1-a-1) Fonctionnement d'un tube Geiger-Müller:

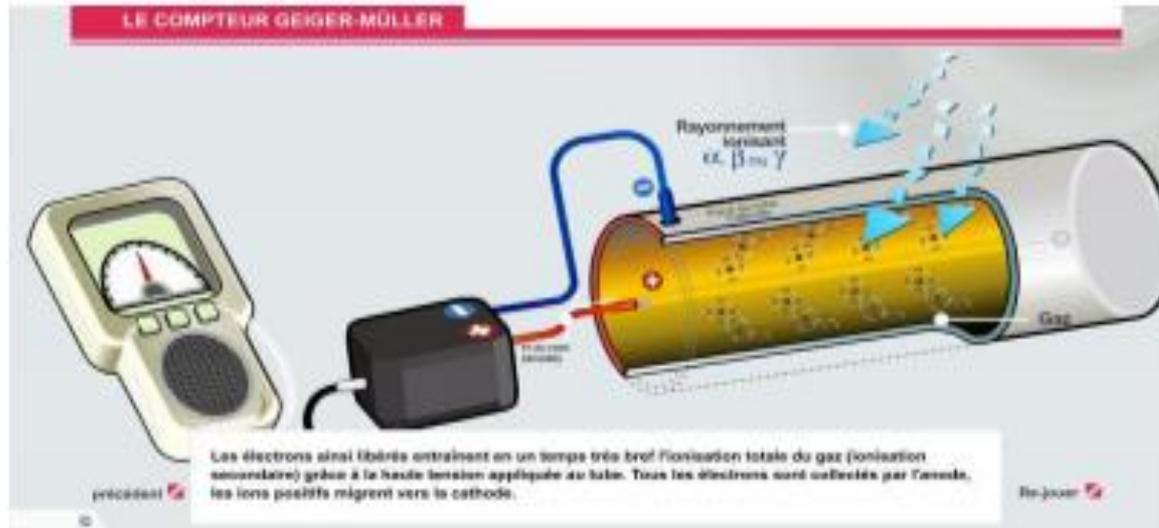
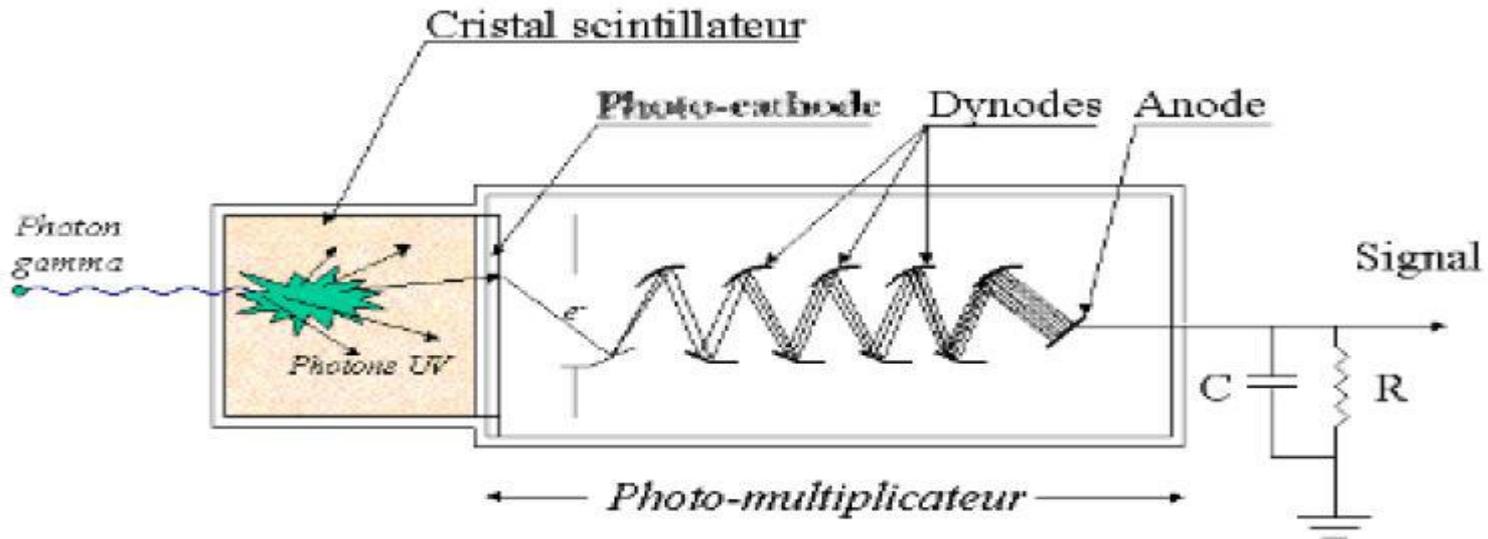


Figure II-13 : Fonctionnement d'un tube de Geiger-Müller

Durant ces phénomènes, un courant circule dans le tube qui doit être détecté par le compteur. Une fois détecté, le rôle du compteur est de restituer l'événement avec une interface utilisable par un humain. Typiquement :

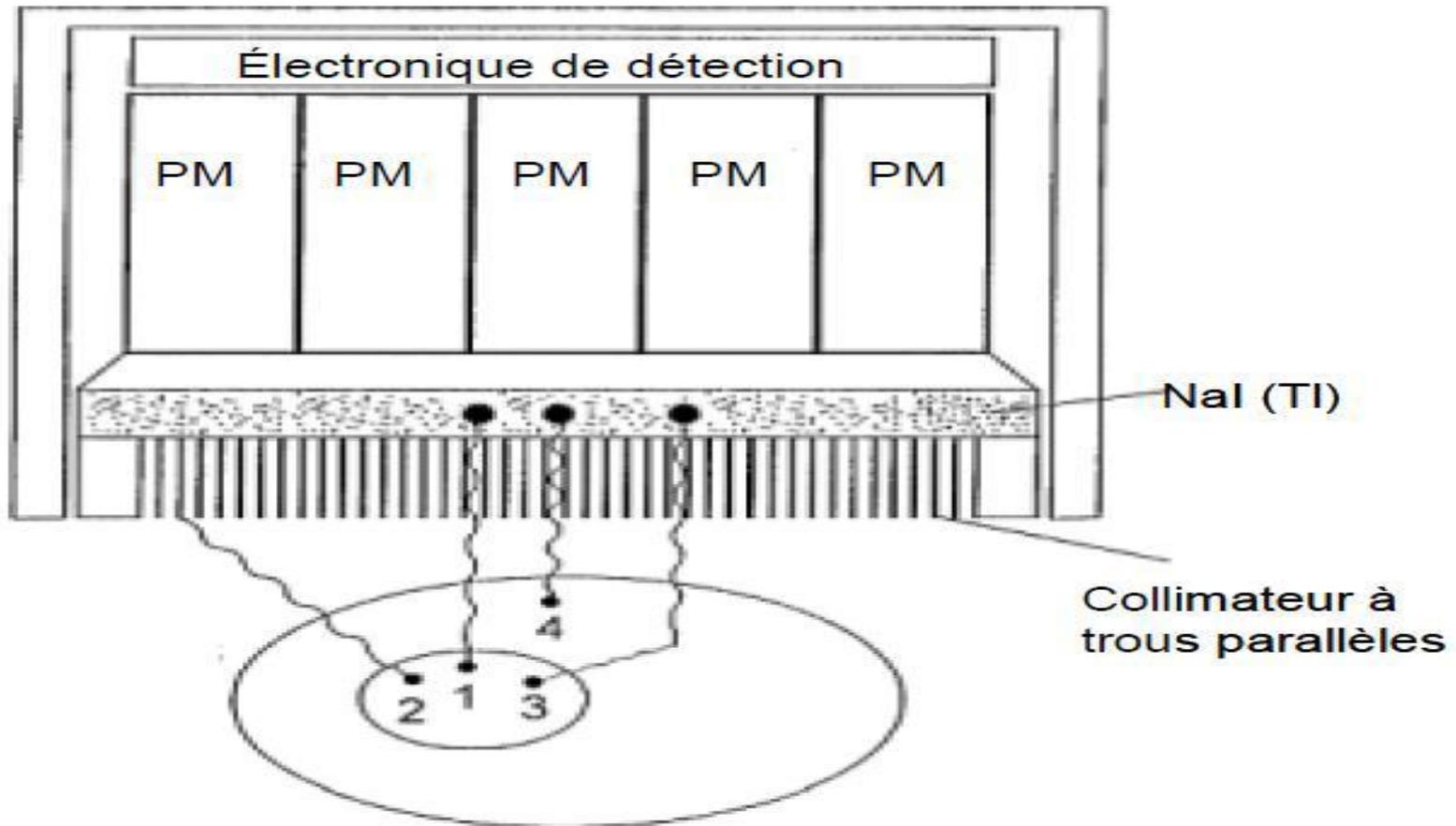
2) Détecteurs à scintillation:

2-b) La caméra d'Anger:



Dans le cas idéal, lorsqu'un photon gamma interagit avec le cristal, il cède son énergie par effet photoélectrique. Le photoélectron éjecté a une énergie suffisante pour provoquer à son tour l'expulsion de nombreux autres électrons dans le cristal. Un photon de fluorescence (dans le domaine bleu-ultraviolet) est émis pour chaque photoélectron expulsé. On obtient ainsi une gerbe de photons isotropes :

c'est la scintillation. Une partie de ces photons UV (correspondant à l'angle solide), est détectée par le photomultiplicateur (PM).



3) Détecteur à semi-conducteur :

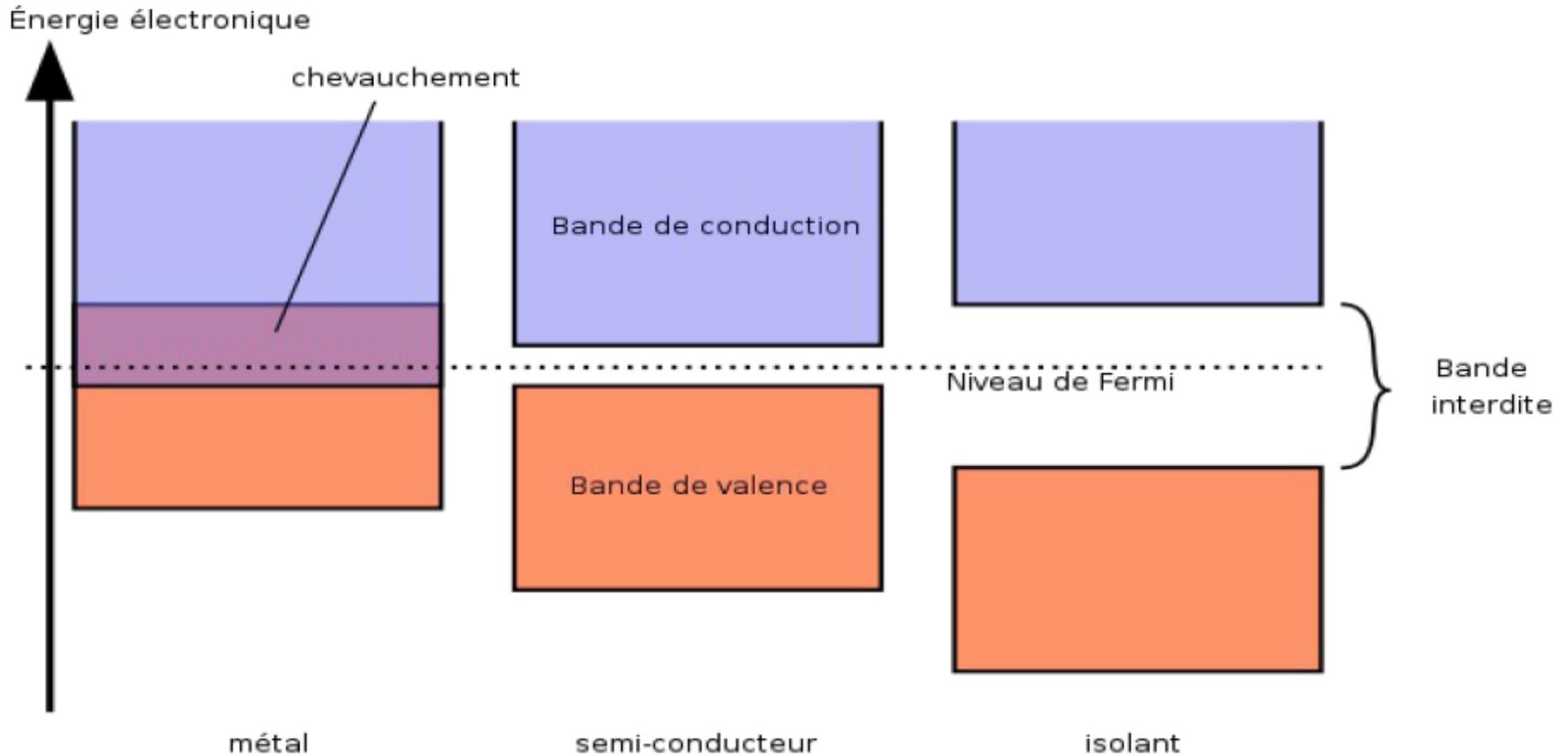
Les détecteurs à semi-conducteurs sont des détecteurs d'ionisation, mais la particule détectée, au lieu de créer des paires ions-électrons dans la zone active, crée des paires électrons-trous dans le cristal. On utilise beaucoup de détecteurs à base de silicium pour détecter des ions lourds.

Les détecteurs semi-conducteurs sont très rapides et le temps de montée des impulsions est de l'ordre de quelques nanosecondes, ce qui peut parfois être utilisé pour faire du temps de vol. La qualité des détecteurs à semi-conducteur (notamment leur bonne résolution en énergie) leur ont permis de supplanter les détecteurs à gaz et à scintillation dans de nombreuses applications.

On s'intéresse ici à la caractérisation : activité et énergie d'échantillons émettant des rayons gamma, pour cela, on utilise un détecteur à semi-conducteur qui a pour but de convertir le rayonnement à étudier en un signal électrique, tout en conservant les propriétés énergétique et quantitative du rayonnement .

3-a) Propriétés des semi-conducteurs :

Les électrons dans un matériau (isolant, semi-conducteur, métaux) peuvent se situer sur deux bandes d'énergie (niveaux d'énergie) :



3-b) Principe de fonctionnement :

Le principe est le suivant : les photons interagissent dans une plaque de plomb qui émet alors des photoélectrons dont l'énergie est mesurée à l'aide d'une lentille magnétique. Ce dispositif paraît coûteux en temps puisqu'il faut focaliser l'instrument pour chaque canal en énergie.

-Choix du semi-conducteur :

Le matériau semi-conducteur utilisé est choisi en fonction de ses performances :

- L'efficacité de détection du matériau est liée à sa densité et à son numéro atomique.
- L'énergie de création de paires électron trou doit être la plus faible possible.
- La croissance du matériau doit être suffisamment maîtrisée pour avoir accès à des détecteurs d'un volume suffisant et d'une bonne qualité cristalline.

Plus d'une vingtaine de semi-conducteurs sont susceptibles d'être utilisés pour la détection des particules ionisantes. Les plus courants sont le silicium (Si), le germanium (Ge), la famille du tellure de cadmium (CdTe et CdZnTe) et l'arséniure de gallium (GaAs). On trouve aussi des détecteurs à base d'iodure mercurique (HgI₂).

Applications industrielles :

Il existe de nombreuses applications des radionucléides dans le domaine de l'industrie.

-Traceurs :

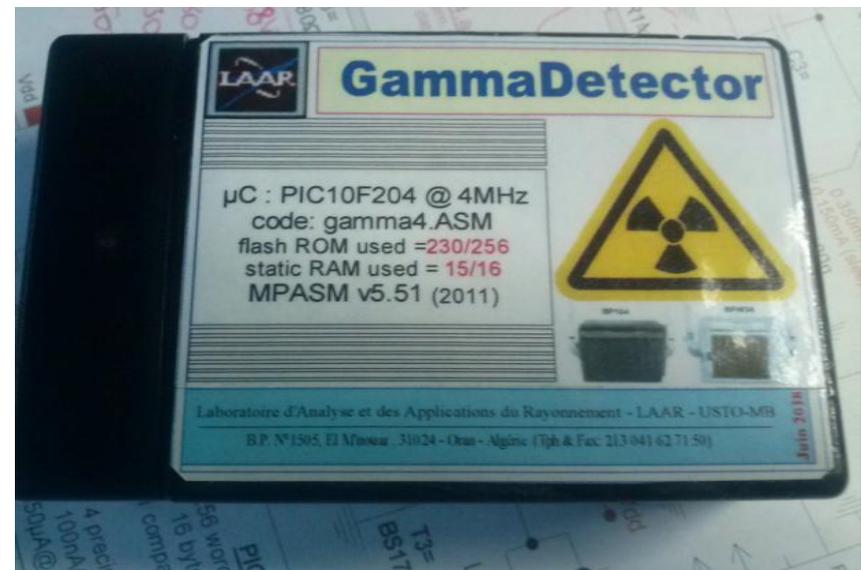
Comme la radioactivité se détecte avec une très grande sensibilité, on peut utiliser des isotopes radioactifs comme traceurs pour suivre le déplacement de substances dans des milieux difficilement accessibles par les méthodes usuelles.

-Stérilisation :

Les radiations sont souvent utilisées pour stériliser des accessoires médicaux comme les seringues, les gants chirurgicaux, etc...

IV. Conception et réalisation d'un détecteur de radiation gamma

Ce dispositif est un prototype expérimental simplifié, dédié à la détection du rayonnement Gamma. La conception de ce prototype fait suite à une recherche intensive sur internet, où il existe plusieurs solutions de complexités différentes, de même pour les performances citées, coût, disponibilité des composants, etc...

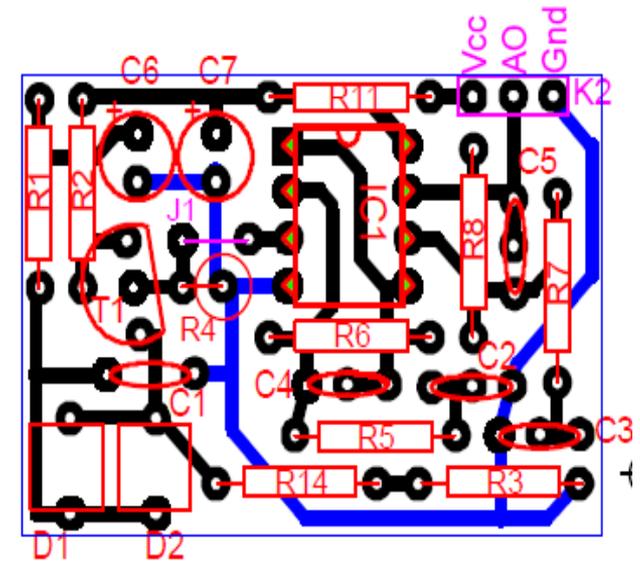
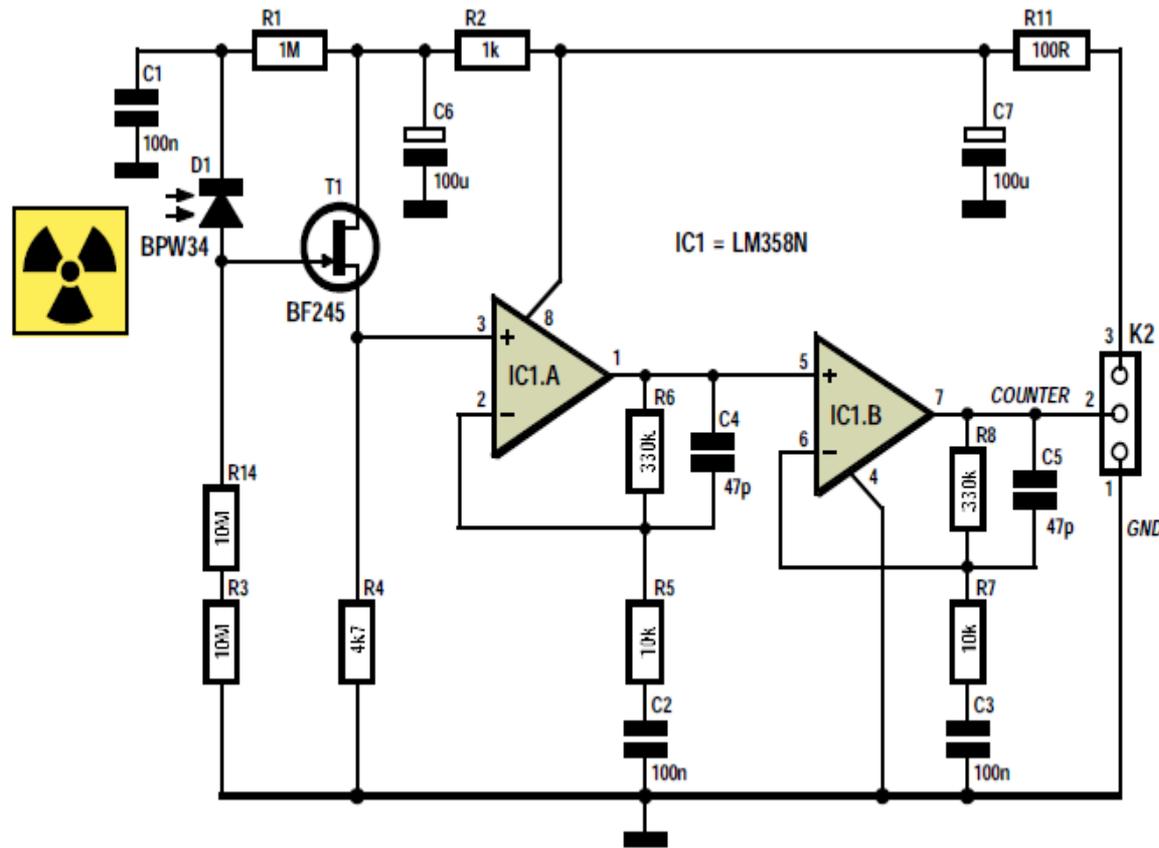


Ce dispositif est composé de 2 parties:

- Le module préamplificateur associé au capteur, pour le traitement du signal,
- et le module microcontrôleur, pour le traitement de l'information.

Le module préamplificateur :

Ce module est basé sur l'emploi d'un circuit intégré amplificateur opérationnel double IC1, précédé par un convertisseur I-V discret basé sur le transistor T1 de type JFET.



Le capteur (photodiode PIN BPW34) :

Le capteur est une photodiode PIN dont les plus connues sont : BP104, BPW34, PS025, PD68C. Selon l'usage pour lequel cette photodiode est destinée (dans notre cas, la détection du rayonnement gamma), il fallait donc choisir le composant qui offre le plus d'espace à la détection, avec un courant de fuite et une capacitance parasite les plus faibles possibles (contraintes contradictoires).



BP104



BPW34



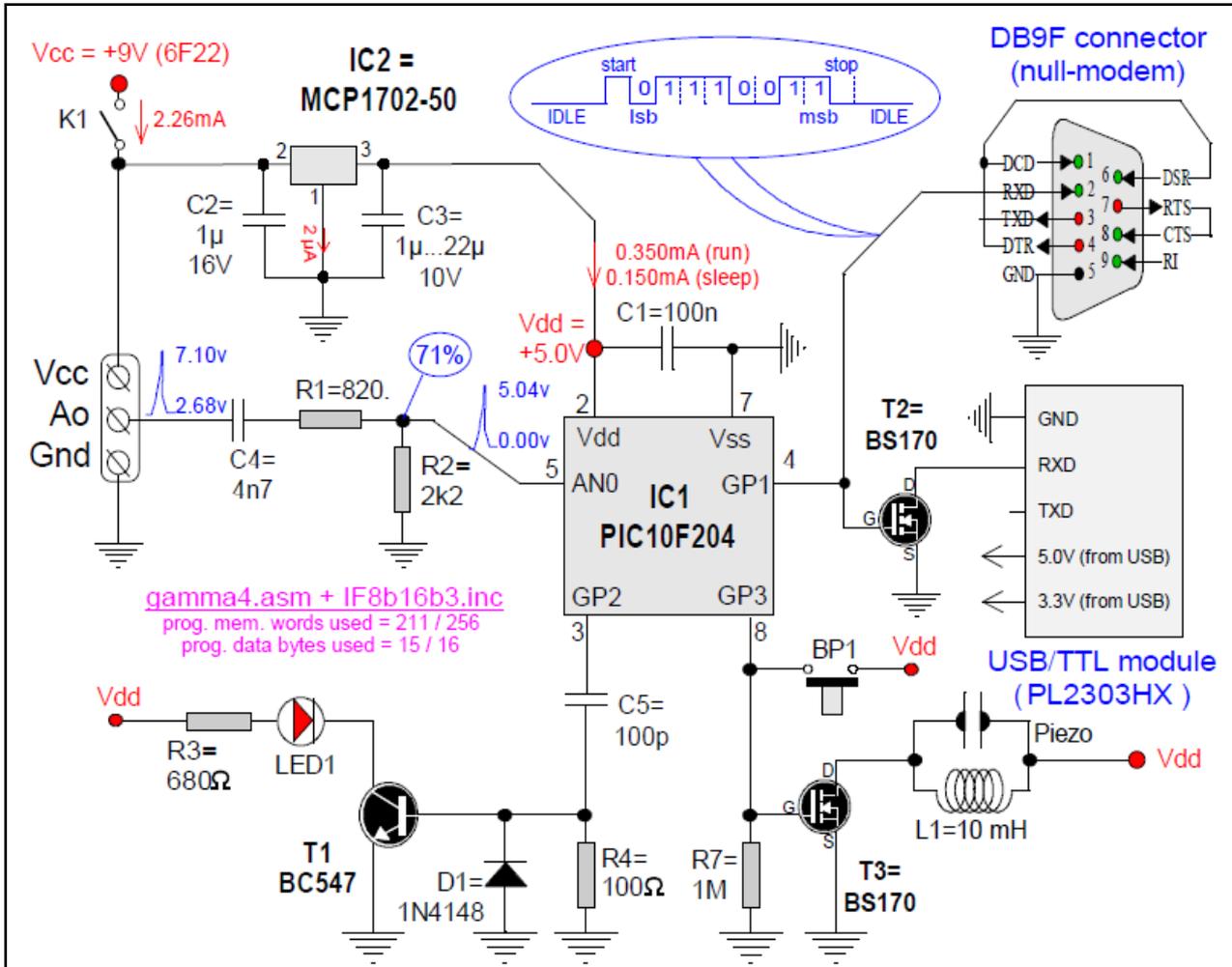
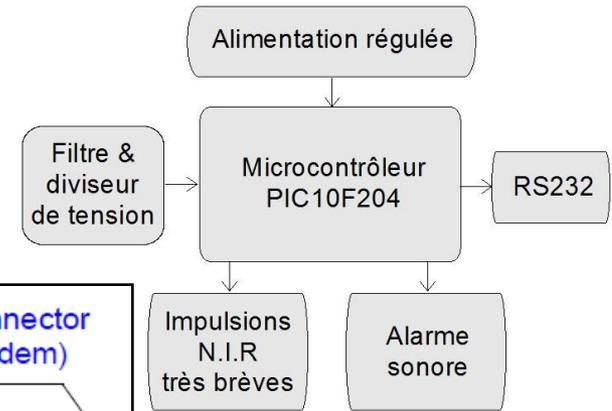
PD68C



PS025

Le module microcontrôleur :

Ce module assure plusieurs fonctions, facilement reconfigurable grâce à l'emploi d'un microcontrôleur 8-bit.



IC1: le microcontrôleur.

IC2: le régulateur 5V.

C4,R1,R2: filtre HF et diviseur de tension.

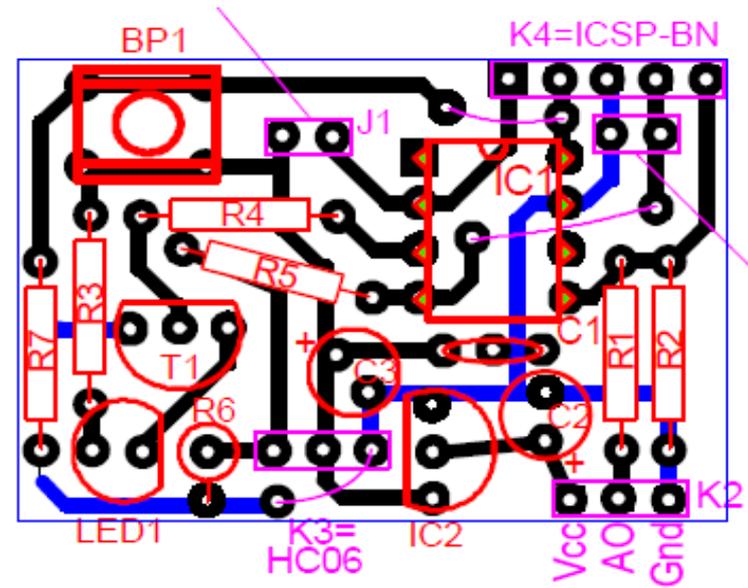
T1,LED1: flash I.R. très brefs, au démarrage.

T2,DB9F: liaison série.

T3,piezo: alarme sonore.

L'algorithme gravé dans la puce du microcontrôleur permet, au démarrage, d'activer 1 fois l'alarme sonore (pour vérifier l'état du buzzer), puis, d'émettre une salve de 4 impulsions infrarouges très brèves sur le capteur photodiode (pour vérifier toute la chaîne de traitement, de la détection jusqu'à l'alarme sonore) et enfin, il se met en veilleuse (pour diminuer la consommation afin d'augmenter la longévité de l'alimentation). Seul des impulsions d'amplitudes suffisantes ($> 0.6V$ en sortie du module préampli) peuvent réveiller le microcontrôleur pour opérer le traitement suivant :

- incrémenter le compteur interne d'impulsions détectées.
- l'envoyer en sortie RS232.
- activer l'alarme sonore.



V. Test et résultats

Contrôle de détecteur gamma :

Un 1er contrôle de ce détecteur gamma a été effectué avec succès, le 09/05/2018, dans le service de médecine nucléaire de l'hôpital EHU du 1er novembre d'Oran, en utilisant une source radioactive : le Technétium ^{99m}Tc , dont les caractéristiques principales sont une durée demi-vie de 6 heures et une énergie de désintégration de 141 keV.



Un 2ème contrôle de ce détecteur gamma a été effectué sans succès, le 22/05/2018, dans le service de médecine nucléaire de l'hôpital EHU du 1er novembre d'Oran, en utilisant une autre source radioactive, cette fois-ci moins énergétique : l'iode 125, dont les caractéristiques principales sont une durée demi-vie de 60 jours et une énergie de désintégration de 35 keV.



Un 3ème contrôle de ce détecteur gamma a été effectué sans succès, le 06/06/2018, dans le service de médecine nucléaire de l'hôpital de Tlemcen, en utilisant une autre source radioactive, plus énergétique : l'iode 131, dont les caractéristiques principales sont une durée demi-vie de 8 jours et une énergie de désintégration de 364 keV (il est donc extrêmement radioactif) .



VI. CONCLUSION.

Le but de ce travail était, dans un premier temps, de faire une étude suffisamment avancée (et détaillée) concernant le rayonnement gamma et les différents types de détecteurs dédiés, pour tenter, dans un second temps, de réaliser un prototype expérimental dans notre laboratoire, ayant un cout aussi faible que possible, une simplicité de conception (notamment le choix de composants disponibles localement) et enfin une sensibilité relativement acceptable (selon l'usage final).

Le choix final du capteur a été d'utiliser une photodiode PIN (la BPW34), largement disponible, ayant fait l'objet de plusieurs montages décrit sur internet, relativement à ce sujet, mais présentant des résultats mitigés, à cause principalement de la faiblesse de sensibilité de ce composant.

Les difficultés rencontrées dans les différentes étapes lors de la réalisation de ce dispositif était de cerner un préamplificateur de bonne performance (notamment : une sensibilité élevée, un très faible bruit, une bande passante suffisante et une stabilité en température acceptable). Nous avons fini par opter pour un préamplificateur de conception hybride : un circuit discret basé sur un transistor JFET (un BF245), suivi par un amplificateur opérationnel double, fréquemment utilisé (le LM358 : faible cout, faible consommation, peut être alimenté à partir de 3V, etc...).

PERSPECTIVE

LE TRAITEMENT ENVISAGÉ EN PERSPECTIVE CONSISTE À :

- COMPTER LE NOMBRE D'IMPULSIONS PAR MINUTE POUR CONSIDÉRER CE PROTOTYPE COMME ÉTANT UN COMPTEUR DE RAYONNEMENT GAMMA, AU LIEU D'UN SIMPLE DÉTECTEUR GAMMA.
- MESURER L'AMPLITUDE DES IMPULSIONS REÇUES, POUR TENTER DE DÉTERMINER LE SPECTRE D'ÉNERGIE DE LA SOURCE DE RAYONNEMENT TESTÉE, ET PAR LA MÊME, DE L'IDENTIFIER.
- PRÉVOIR, SI NÉCESSAIRE, LE REMPLACEMENT DU MICROCONTRÔLEUR, PAR UN AUTRE DE LA MÊME FAMILLE (8-BIT, MÊME BROCHAGE ET MÊME ENSEMBLE D'INSTRUCTIONS) MAIS DE CAPACITÉ MÉMOIRE PLUS IMPORTANTE, POUR ENVISAGER L'OPTION DATALOGGER, OÙ LE PROTOTYPE RESTERA FONCTIONNEL SUR UNE LONGUE DURÉE, AVEC STOCKAGE PÉRIODIQUE DES MESURES, POUR SUBIR À LA FIN, UN TRAITEMENT DE DONNÉES ADÉQUAT, SELON LES OBJECTIFS FIXÉS.



**Merci
pour
votre attention**