

Construction d'un détecteur GEIGER-MUELLER

1- Présentation

Ce détecteur pourrait se présenter sous différentes formes. Par exemple, un boîtier parallélépipédique, contenant le circuit imprimé et les piles, auquel serait relié le tube Geiger par un cordon souple.

Mais c'est sous la forme d'un tube en PVC de 75 cm de long et de 4 cm de diamètre qu'il a été réalisé. Cette présentation permet une grande robustesse mais génère beaucoup de difficultés de réalisation...

Seule cette forme en tube est présentée ici.



Il s'agit avant tout d'un détecteur (et non d'un compteur) destiné à être utilisé sur le terrain pour la recherche de minéraux radio actifs. C'est pour cela qu'il ne se compose dans sa version "terrain" que d'un détecteur constitué par un tube Geiger-Müller et d'une électronique actionnant un buzzer.

Néanmoins, la carte électronique est munie d'une sortie sur laquelle on pourra raccorder un compteur d'impulsion ou un ordinateur destiné à effectuer par exemple des comptages sur des longues périodes, ou à apprécier le degré d'activité par comptage du nombre d'impulsions sur un temps très court (par exemple 1 seconde). Cette fonction qui sort du cadre de cette présentation ne sera pas décrite ici.

Le schéma théorique et le circuit imprimé ont été dessinés avec les logiciels SDS (Saisie de Schémas) et TCI (Traçage de Circuits Imprimés) que l'on téléchargera gratuitement à l'adresse :

<http://perso.orange.fr/xcotton/info/freeware.htm#Electronique>

Ce site propose en outre de nombreux logiciels gratuits intéressants.

Vous pouvez aussi télécharger ces logiciels directement depuis ici :

Cliquer sur [SDS](#) (2762 ko) pour télécharger le logiciel de saisie de schémas

Cliquer sur [TCI](#) (2761 ko) pour télécharger le logiciel de tracé de circuits imprimés

Il faut faire ensuite un double clic sur chacun des logiciels téléchargés pour les installer.

2- Un tout petit peu de théorie

2.1 Principe de fonctionnement d'un tube Geiger-Müller

Ce tube fonctionne à la manière d'un tube au néon. Il est constitué d'un cylindre métallique à l'intérieur duquel, se trouve une électrode. Le cylindre, étanche, est rempli d'un gaz ionisable lorsqu'on applique une tension élevée entre l'électrode et le cylindre.

Tandis que le but du tube néon est de conserver le plus longtemps possible l'ionisation afin de fournir de la lumière, le tube Geiger-Müller, lui, devra "s'éteindre" très rapidement.

Il sera maintenu à une tension proche de la tension d'ionisation (typiquement 500 V) et, dès qu'une décharge ionisante produite par un échantillon radioactif va se produire, ce supplément d'énergie suffira à déclencher l'ionisation du gaz à l'intérieur du tube.

La composition du gaz (tenue secrète par les constructeurs...) sera telle que l'ionisation produite sera immédiatement étouffée, afin de produire une impulsion électrique très courte en sortie du tube. Ainsi, celui-ci sera immédiatement prêt à détecter les décharges suivantes.

La tension de fonctionnement est appelée tension de plateau. En dessous de celle-ci, on obtient pas d'ionisation (tube insensible), au dessus, l'ionisation devient permanente et on risque de détruire le tube.

La plage acceptable de la tension de plateau est assez large (entre 500 et 600 V environ) et dépend des caractéristiques du tube.

On pourra visiter les liens suivants pour plus d'informations sur les caractéristiques des tubes :

<http://www.lndinc.com/gm/gm.htm> pour le tube LND.Inc 7231

http://www.centronic.co.uk/products_geiger_products_beta.asp pour les tubes RTC de la série ZP

Certains tubes ne sont sensibles qu'à un rayonnement Gamma (onde radio) et d'autres sont sensibles en plus au rayonnement Bêta (électrons) ou Alpha (noyau d'Hélium) qui sont des rayonnements de particules.

2.2 Les unités utilisées pour mesurer la radio activité

3- Liste du matériel nécessaire

Composants électroniques :

1 tube Geiger-Müller (RTC : ZP 1310 , ZP 1320 ou ZP 1322), ou (LND.Inc : 7231)

1 buzzer (récupération d'un écouteur de combiné téléphonique)

1 plaque de circuit imprimé double face de 3,2 cm x 19,5 cm

1 interrupteur unipolaire miniature

Condensateurs :

22 μ F 16V

3 de 10 nF

2 de 0,1 μ F 630 V

4,7 pF

2 de 470 nF

47 pF

1 μ F

Résistances :

82 Ohms

100 Ohms

560 Ohms

1 kOhms

5,6 kOhms

12 kOhms

22 kOhms

47 kOhms

3 de 100 kOhms

3 de 220 kOhms

2 de 470 kOhms

4,7 MOhms

Circuits intégrés :

NE 555

CD 4011

TL 072

Transistors :

IRF 511

2N 2219

Diodes :

1 LED verte

2 diodes 1N4007

zener 2,7 V

zener 4,7 V

2 zener 100 V

zener 200 V

Transformateur :

Transformateur en pot ferrite de 2 cm / 2 cm environ (voir plus loin pour le bobinage)

Visserie :

1 entretoise de 2 cm avec rondelles et 2 vis

Divers :

1 tube en PVC diamètre 40 de 1m

1 manchon adaptateur diamètre 40/bouchon 50

1 boîte en plastique cylindrique de pellicule Kodak avec couvercle (la marque est importante, car la boîte munie de son couvercle ne doit pas pouvoir rentrer à l'intérieur du tube PVC)

1 boîte en plastique cylindrique de pellicule Fuji avec couvercle (la marque est importante, car la boîte munie de son couvercle doit pouvoir rentrer à l'intérieur du tube PVC)

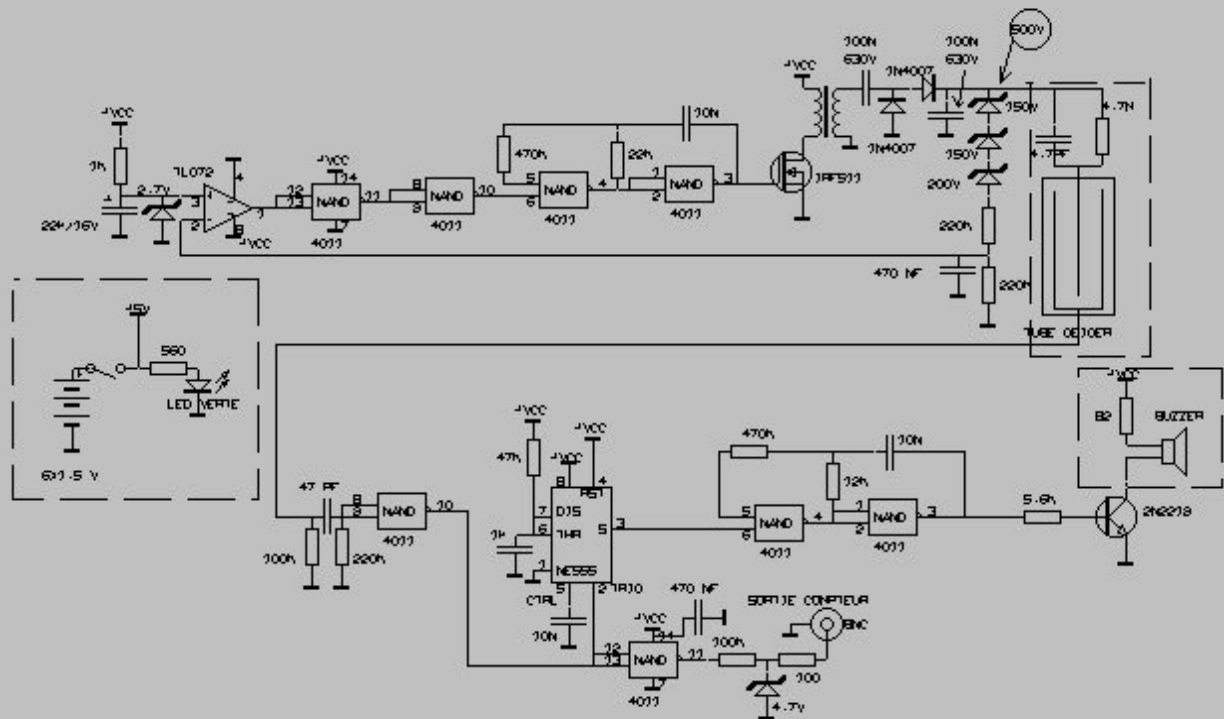
1m de câble plat 8 conducteurs

50 cm de gaine en mousse pour isolation de tuyau d'eau chaude. Cette gaine se présente sous la forme d'un tube de mousse fendu sur toute sa longueur. Le diamètre sera choisi pour rentrer exactement dans le tube de PVC.

6 grosses piles de 1,5V type R20-D

4- Construction

4.1 Le schéma



Ce schéma peut être téléchargé pour être utilisé (modifié / imprimé / ...) avec le programme SDS :

Cliquer avec le bouton droit de la souris sur : [Geiger.sds](#) (22 ko),

puis choisir "Enregistrer la cible sous...",

puis choisir le bon répertoire et renommer le fichier en [Geiger.sds](#) au lieu de Geiger.htm qui apparaît par défaut.

Cliquer ensuite sur "Enregistrer".

Remarque : Les parties entourées d'un pointillé sont montées hors du circuit imprimé.

La partie supérieure du schéma constitue un convertisseur CC/CC destiné à produire une tension d'environ 500 V à partir de la tension de batterie de 9 V.

On trouve un oscillateur composé par les 2 portes NAND du circuit CD 4011 qui va actionner un transistor commutateur IRF 511. Celui-ci va créer un courant impulsionnel dans le primaire du transformateur de rapport 1/40.

On recueille au secondaire une tension élevée de l'ordre de 300V qui sera envoyée sur le doubleur de tension constitué par les 2 diodes 1N4007 et les 2 condensateurs 0,1 μ F 630V.

Cette tension sera régulée à 500 V par les diodes zeners mises en série.

Une fraction de cette tension est retournée au circuit ampli OP TL072 qui va la comparer à sa tension de référence donnée par la zener de 2,7V. Lorsque la haute tension devient trop importante, l'ampli OP va couper l'oscillateur jusqu'au retour à la tension normale de fonctionnement.

Il s'agit d'un contrôle en feed back très important car il maintient la tension de sortie à un niveau stable lorsque la consommation du tube varie.

Très important :

Il est impératif, lors des essais, que tous les composants de cette partie soient installés afin que le contrôle automatique de la haute tension fonctionne.

Sinon, la tension de sortie à vide risque de monter à plus de 900 V et provoquer des arcs électriques qui pourront détruire les circuits ainsi que le transformateur.

(Mettre ses doigts sur le montage en fonctionnement ou juste après son extinction n'est pas mortel mais très désagréable...)

En fonctionnement normal, on doit mesurer une tension d'environ 520 V environ au point de raccordement du tube Geiger-Müller.

La partie inférieure du schéma présente le système d'activation du buzzer.

Les impulsions issues du compteur Geiger-Müller sont transmises par une cellule en T composée d'un condensateur de 47 pF et de 2 résistances de 100 et 200 kOhms.

Ces impulsions sont transmises d'une part à une porte NAND qui donnera la possibilité de connecter un compteur d'impulsion (autre possibilité d'utilisation en fonctionnement en comptage pour une station fixe par exemple).

D'autre part à un monostable NE555 qui va fournir une impulsion calibrée servant de déclencheur au multivibrateur constitué par les 2 portes NAND du circuit CD 4011.

Ce multivibrateur fournit au buzzer une fréquence amplifiée par le transistor 2N2219 afin de produire un beep audible.

4.2 Le circuit imprimé

Pour télécharger le circuit imprimé :

Cliquer avec le bouton droit de la souris sur : [Compteur.tci](#) (49 ko),

puis choisir "Enregistrer la cible sous...".

puis choisir le bon répertoire et renommer le fichier en [Compteur.tci](#) au lieu de [Compteur.htm](#) qui apparaît par défaut.

Cliquer ensuite sur "Enregistrer".

A l'aide du logiciel TCI, on pourra imprimer face par face le circuit sur un transparent.

Il faudra imprimer 2 fois chaque face car le tirage du circuit sera meilleur en superposant 2 transparents au moment de l'insolation aux UV.

Après insolation, développer à la soude (environ 12g/l), puis graver au perchlorure de fer.

Remarque :

La fabrication des circuits imprimés n'est pas décrite en détail ici.

Il est possible de faire graver le circuit chez certains revendeurs de composants électroniques pour une somme modique.

4.3 Découpe du tube PVC

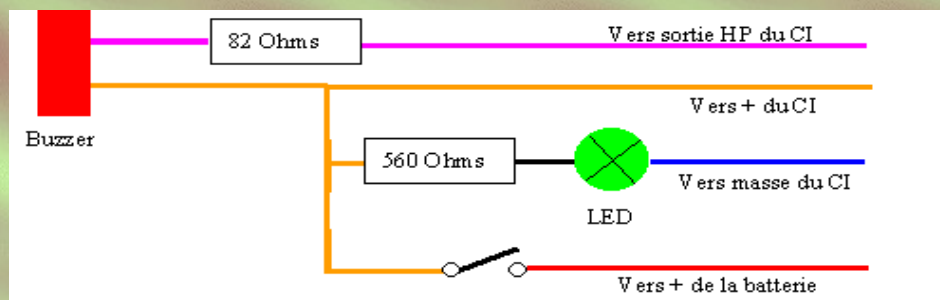
Couper le tube PVC à la longueur de 75 cm.

Pratiquer une ouverture de 2,5 cm x 2 cm, dans le tube à 5 cm du haut.

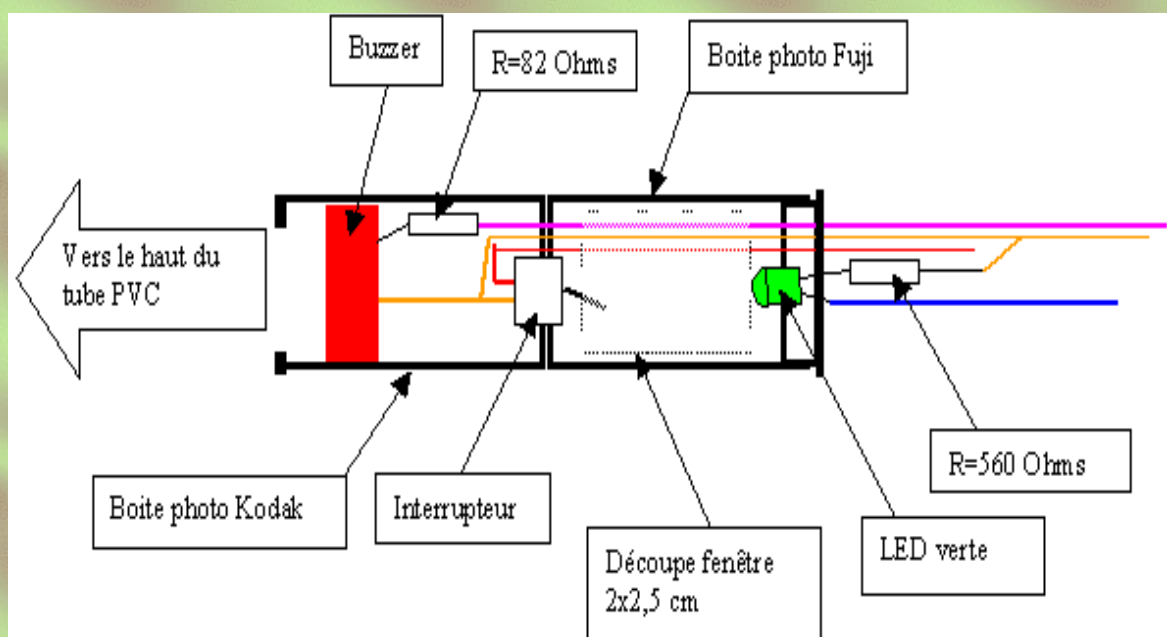
Percer un trou de 3 mm dans le tube à 26 cm de l'autre extrémité du tube.

4.4 Montage de la partie buzzer et de l'interrupteur de mise en marche

4.4.1 Schéma de principe



4.4.2 Schéma de montage



Percer un trou central pour fixer les 2 tubes tête bêche à l'aide de l'écrou de l'interrupteur. Le tube Kodak doit se trouver vers l'extrémité du tube PVC et la boîte Fuji du côté intérieur.

Percer également, à côté, un petit trou pour passer les fils.

Percer le couvercle du tube Fuji au centre pour fixer en force la LED.

Souder les composants (fils, résistances,...) et assembler le montage comme sur l'image en utilisant de la gaine thermo rétractable pour protéger les parties dénudées..



Rentrer le buzzer en force à l'intérieur du tube Kodak.

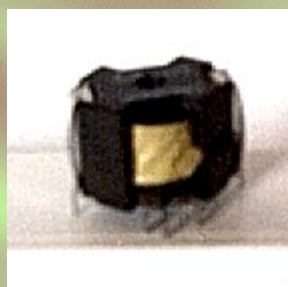
Mettre le couvercle de la boîte en plastique et y découper une fenêtre ronde; le couvercle formant alors une sorte de joint torique.

Vérifier qu'ainsi, à cause du couvercle, l'ensemble des boîtes ne passe pas à travers le tube PVC.

4.5 Fabrication du transformateur

4.5.1 Transformateurs utilisés

Ce transformateur doit avoir un rapport de 1/40. C'est à dire, qu'il doit y avoir 40 fois plus de spires au secondaire qu'au primaire. Pour de raisons d'encombrement, on utilisera un pot ferrite de 2 cm / 2 cm.



(Si nécessaire, je peux en fournir un à quelques collègues intéressés).

Si on a de la place, on peut aussi utiliser un transformateur d'alimentation moulé miniature 220V/6V.

4.5.2 Bobinage du transformateur

On bobinera 25 spires de fil émaillé 2/10 mm pour le primaire et 1000 spires de fil émaillé 1/10 mm au secondaire.

Remarque : On mesure le diamètre du fil au palmer après avoir brûlé l'émail avec un briquet.

Ce fil très fin pourra être récupéré sur l'enroulement d'un petit relais 12V par exemple.

Les diamètres de fils ne sont pas critiques, cependant, ils doivent être suffisamment petit afin de tenir dans le pot ferrite.

On pourra utiliser pour bobiner le fil, un foret placé à l'intérieur de la canette sur laquelle sera bobiner le fil.

En faisant tourner le foret entre ses doigts, on arrive facilement à bobiner les spires en comptant chaque tour. C'est plus rapide qu'il n'y paraît (1/2 heure suffit à bobiner les 1000 spires du secondaire, d'autant que l'on est pas à quelques spires prêt en plus ou en moins...).

4.5.3 Montage du circuit imprimé

Après avoir réalisé le circuit imprimé, souder en premier les strapps en fil isolé représentés en jaune sur le dessin du CI. Ensuite, il faut monter les composants.

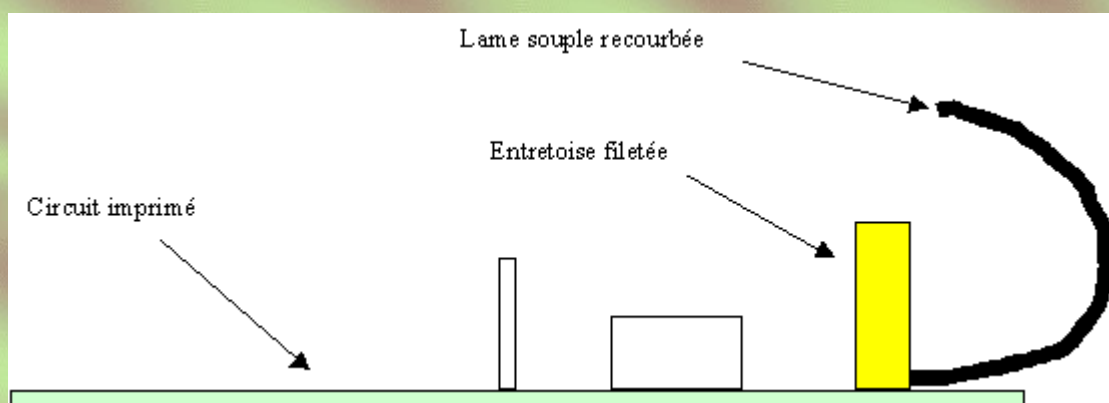
Les circuits intégrés sont montés sur support extra plat. De plus, un condensateur de découplage de 470 nF sera soudé directement côté cuivre entre les broches 7 et 14 du 4011 alimentant le buzzer. Ce condensateur sert à éliminer les parasites générés par le transformateur qui déclenchent à tort le buzzer.

Les diodes zeners sont au nombre de 3 ($150V + 150V + 200V = 500 V$) sur le schéma de principe. Cependant, comme les tensions de référence de ces diodes sont en pratique assez peu précises, il est prévu sur le CI un emplacement pour en monter une 4ème afin d'obtenir la bonne tension en sortie : environ 520V.

Il faudra souder un strapp à cet emplacement, si l'ajout de cette diode n'est pas nécessaire.

Les 2 condensateurs de 0,1 μ F du doubleur de tension doivent impérativement avoir une tension d'isolement supérieure ou égale à 630 V.

A l'extrémité du CI, côté composants, on vissera sur la masse du CI, l'entretoise de 2 cm (qui va servir à fixer le CI au tube) en même temps qu'une lame recourbée souple métallique qui fera le contact avec le côté négatif de l'empilement des piles (voir figure).



A l'autre extrémité, on soudera en ligne le tube Geiger avec sa résistance de 4,7 MOhm en parallèle avec un condensateur de 4,7 pF.

Le modèle de tube représenté ici est le tube LND.Inc : 7231. Les autres modèles ont un diamètre plus petit et devront être entourés avec un morceau de tube en mousse isolante pour isolation de tuyaux d'eau chaude.



5- Essais sur table du circuit

5.1 Essais de la haute tension

Enlever les circuits intégrés NE555, CD4011 de la partie inférieure du schéma (générateur BF), le tube Geiger.

Seule la partie supérieure du schéma doit être montée entièrement.

Attention : Bien vérifier le montage car l'absence du circuit TL072 ou des diodes zeners laissera monter la tension de sortie à plus de 900 V.

Relier une alimentation de 9 V au CI.

Ne pas mettre ses doigts sur le montage en fonctionnement...

Vérifier que la tension aux bornes des diodes zeners est d'environ 520 V. Si la haute tension est inférieure à 500 V, on ajoutera la 4ème diode dont la valeur sera choisie pour obtenir la haute tension nominale.

Le transformateur émet un grésillement caractéristique à cause des vibrations causées par les impulsions magnétiques dans la bobine.

5.2 Essai de la partie buzzer

Monter le reste des composants sauf le tube Geiger.

En appliquant des impulsions courtes positives sur les broches 8 et 9 du CD4011 de la partie inférieure du schéma, on doit entendre un BIP dans le buzzer.

5.3 Essai du montage

Monter le tube Geiger

On doit entendre un BIP de temps à autre même en absence d'échantillon radioactif à proximité.

En approchant un peu de minerais d'Uranium par exemple, le buzzer doit sonner beaucoup plus.

6 Intégration des sous-ensembles dans le tube

C'est la partie la plus délicate compte tenu du peu de place disponible.

Souder 4 fils du câble plat sur la masse (cela permet d'avoir une résistance à la traction supérieure si on

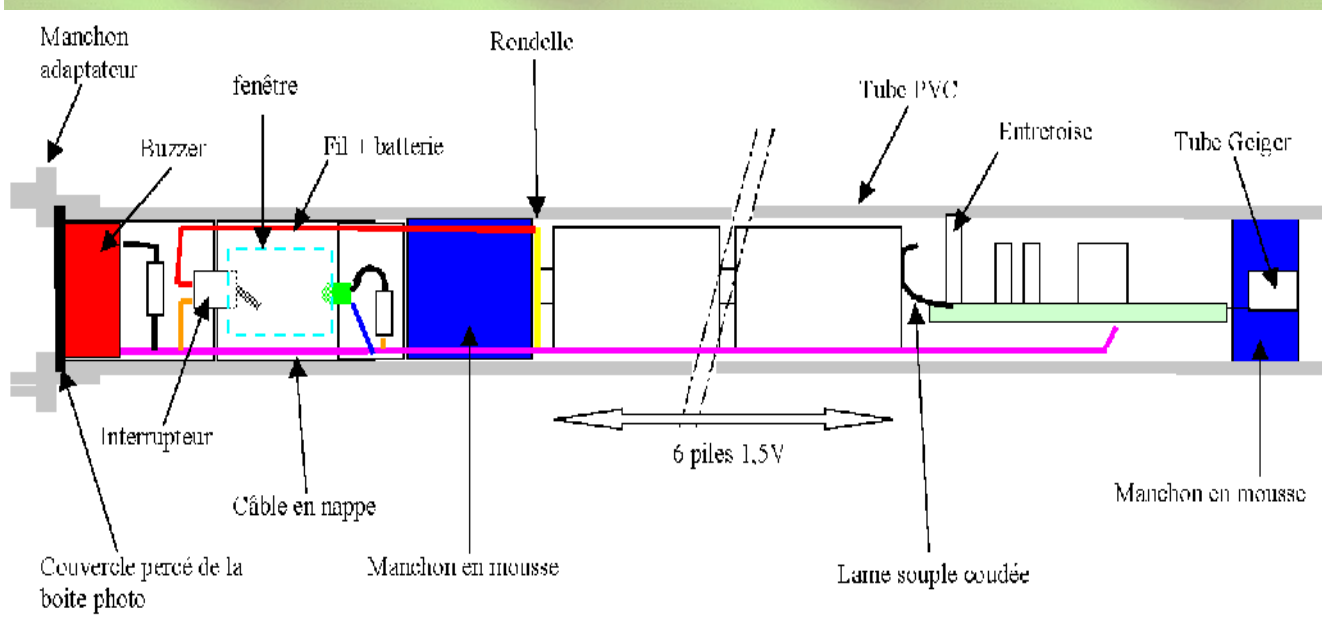
doit utiliser ce câble pour tirer un peu sur la platine à l'intérieur du tube PVC).

Souder 1 fil sur le + 9V.

Souder 1 fil sur la sortie HP.

Le reste du montage se compose d'une sorte de sandwich...

Clic droit sur [MONTAGE](#) puis Enregistrer la cible sous... pour télécharger le schéma ci-dessous au format WORD 97



Rentrer la platine du CI avec le tube Geiger à l'intérieur du tube PVC jusqu'à ce que l'entretoise du CI apparaisse à travers le trou percé dans la paroi du tube PVC proche de son extrémité.

Visser l'entretoise sur le tube PVC.

Laisser dépasser le câble plat à l'autre extrémité d'une dizaine de centimètres en le plaquant bien le long de la paroi du tube.

Souder les fils sur la partie terminale du montage comme indiqué sur le schéma de principe.

Enfiler les 6 piles de 1,5 V (le pôle négatif côté circuit imprimé).

Enfiler la rondelle de contact du + batterie.

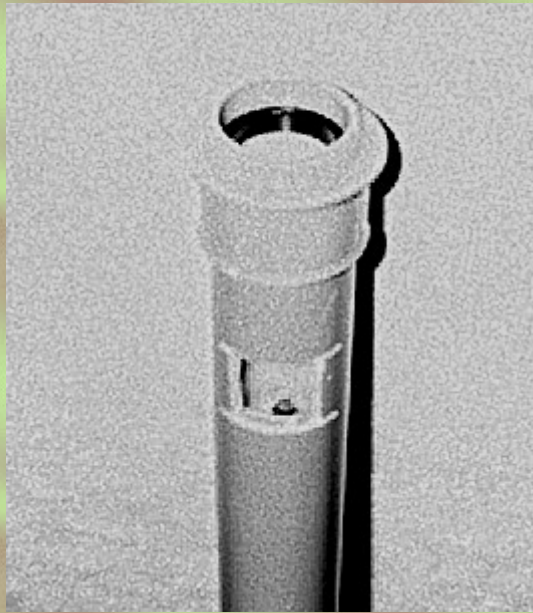
Enfiler une longueur de quelques centimètres (à ajuster en fin de montage) de tube en mousse par dessus pour former un bouchon élastique qui permettra d'appuyer la rondelle de contact du + batterie sur les piles.

Enfiler la partie terminale du montage comportant l'interrupteur et la diode LED dans le tube PVC. Cette partie doit dépasser du tube de quelques centimètres.

Enfiler le bouchon adaptateur en PVC sur le tube. Celui-ci doit venir presser l'ensemble de la partie terminale de sorte qu'un bon contact s'établisse entre la rondelle et le pôle positif des piles.

Pratiquer au cutter une découpe de la boîte Fuji à la dimension de celle du tube PVC, pour avoir accès à

l'interrupteur.



Vérifier que la diode s'allume bien quand on met en marche l'interrupteur.

Le tube Geiger doit se trouver à l'intérieur, à environ 1 cm de la sortie du tube PVC. Pour le protéger, on pourra ajouter, sur cette extrémité, un manchon en PVC muni d'un bouchon à vis.

Pour tout renseignement, correctif ou proposition d'amélioration, contactez moi : [Pierre](#)

Bon courage