

détecteur Geiger-Müller à double tube (extension pour Arduino)

Capteur très sensible pour très faible rayonnement



Gabriele Gorla (Italie/USA)

Avec deux tubes, ce shield Geiger-Müller a une sensibilité accrue : votre Arduino Uno devient un appareil de mesure et d'enregistrement des radiations nucléaires. Ajoutez-y un shield Dragino LoRa/GPS et détectez les radiations ambiantes sur le terrain. Les données seront accessibles où que vous soyez !

La radioactivité et les capteurs de radiations m'ont toujours fasciné. Les tubes Geiger-Müller [1] sont des capteurs répandus et assez bon marché. Mon projet « GRAD » est un compteur de radiations complet au format Arduino. Il se caractérise par deux tubes (pour augmenter la sensibilité) et une très faible consommation.

Introduction aux compteurs Geiger-Müller

Un compteur Geiger-Müller comporte quatre blocs fonctionnels essentiels.

➤ **Tube Geiger-Müller.** Rempli d'un mélange gazeux à basse pression, il a deux électrodes. Polarisé avec la tension appropriée, le gaz s'ionise et conduit brièvement l'électricité à chaque impact de radiation. Selon son type, il est peut déetecter des particules alpha, bêta et gamma. Le GRAD utilise des SBM-20 sensibles aux rayons gamma et bêta à haute énergie.

➤ **Alimentation à haute tension.** Le tube doit fonctionner dans ce qu'on appelle le plateau de Geiger. Il s'agit d'une région où le nombre d'impulsions est quasi indépendant de la polarisation HT.

Pour les tubes courants, elle se situe entre 400 et 500 V. Le point optimal du SBM-20 se situe vers 400 V.

➤ **Détecteur.** En sortie de tube, les impulsions sont très courtes et de tension variable. Le détecteur met le signal en forme pour faciliter le comptage.

➤ **Compteur.** Il compte les impulsions sur une durée fixe pour calculer une valeur en CPS (coups par seconde) ou CPM (coups par minute). Le facteur donné sur la fiche technique du tube sert à convertir cette valeur en débit de dose approximatif. La carte Arduino est chargée du comptage, de l'affichage et de l'enregistrement.

Alimentation

Sur la toile, on trouve de nombreux circuits d'alimentation de tubes Geiger-Müller. Beaucoup sont des convertisseurs élévateurs autour du *timer 555*, avec ou sans rétroaction. Je n'ai pas retenu de schéma à boucle ouverte parce que ça implique le réglage de chaque carte et que la tension à nombre élevé d'impulsions est instable. Les schémas à boucle fermée ont une meilleure stabilité. Cependant, pour que la consommation d'énergie globale soit faible, la boucle de rétroaction (12 µA de courant à 400 V, soit ~5 mW) doit être bien étudiée.

Pour limiter la puissance perdue par la rétroaction à haute tension, le plus élégant serait d'utiliser un transformateur élévateur non isolé, par ex. le *LT3420* d'*Analog Devices* qui détecte la tension au primaire. Cependant, nous avons conçu un convertisseur élévateur à découpage très simple à faible courant de rétroaction. La **figure 1** l'illustre ; il est fortement inspiré des adaptateurs Theremino Geiger [2]. Les versions CMS, DIY et « Pierrafeu » sont mélangées ici. La carte n'a que des composants traversants. Des diodes Zener font la rétroaction.

L'inverseur à trigger de Schmitt U1C, R4 et C5 forment un oscillateur. Mis en parallèle, U1A, U1B et U1D augmentent le courant de base de l'interrupteur principal Q2.

La rétroaction utilise des diodes Zener à très faible courant de fuite

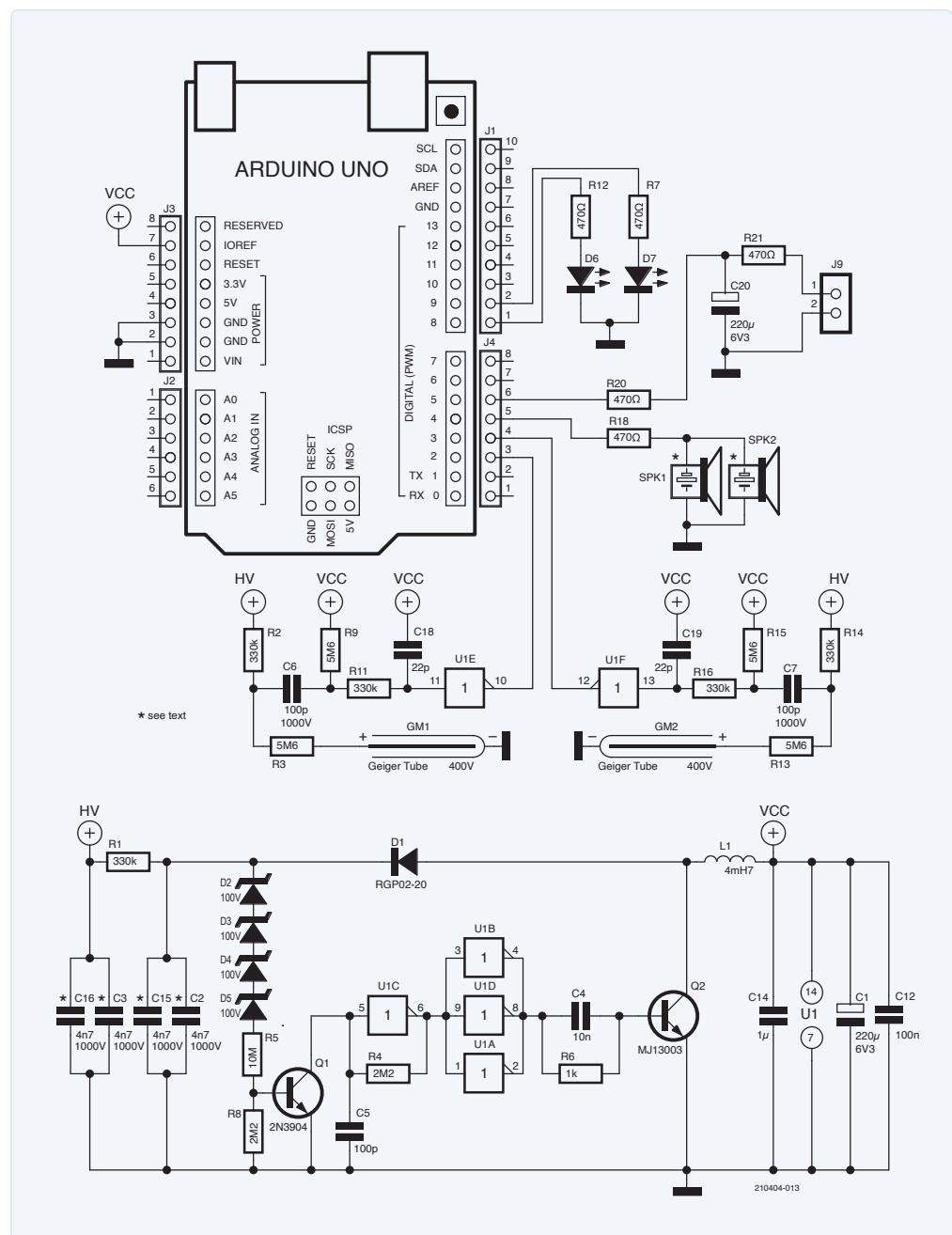


Figure 1. Schéma de principe du projet GRAD03 [3].

(D2 à D5) en série. Dès que la tension de sortie dépasse la tension Zener, Q1 conduit et stoppe l'oscillateur. Dès que la tension de sortie redescend, Q1 se coupe et libère l'oscillateur. R1 et C3 achèvent d'atténuer l'ondulation de sortie. Les résistances série (R2 et R3 pour GM1, R13 et R14 pour GM2) alimentent chaque tube séparément.

Comptage

Côté HT des tubes, un condensateur (C6 resp. C7) bloque le courant continu et laisse passer les impulsions qui sont mises en forme par les inverseurs à trigger de Schmitt U1E/U1F (voir **fig. 2**).

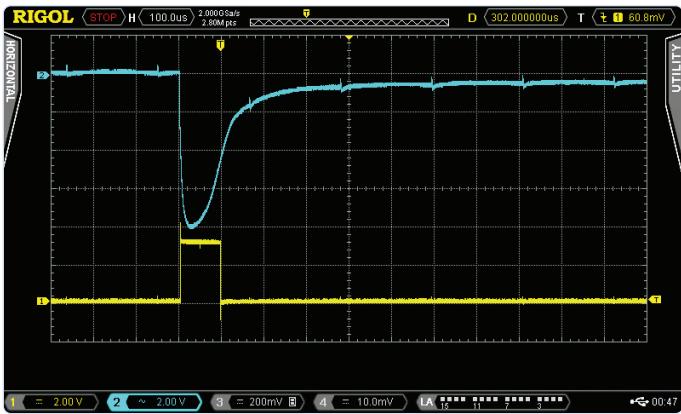


Figure 2. Oscilloscopogramme d'une radiation ionisante frappant le tube et impulsion mise en forme.

J1 à J4 sont les connecteurs standard d'Arduino, GRAD n'en utilise que quelques broches. Les entrées numériques D2 et D3 furent choisies pour leur capacité d'interruption. Cela permet à l'Arduino de compter les impulsions en arrière-plan tout en réalisant d'autres tâches. Les sorties numériques D8 et D9 de l'Arduino pilotent une paire de LED signalant les rayons ionisants frappant les tubes respectifs. La broche D4 est reliée au haut-parleur piézoélectrique SPK1 qui fournit un retour sonore.

Enfin, la sortie numérique D5 est connectée à un filtre passe-bas, formé par R20, R21 et C20, qui pilote un galvanomètre analogique de 10 mA (J9).

CAO des circuits imprimés

Le schéma et le circuit imprimé (**fig. 3**) ont été conçus avec KiCad. Les fichiers de CAO sont téléchargeables depuis la page *Elektor Labs* de ce projet [3], rubrique *Elements*. Les fichiers Gerber et de perçage de la carte s'y trouvent également. Utilisez-les pour la commander à votre fournisseur préféré. Enfin, vous y trouverez une feuille Excel de nomenclature très détaillée, en particulier pour les composants les plus critiques (HT !) de ce projet, avec les coordonnées, les références et même les codes des fabricants.

La **figure 4** montre la carte montée, tubes SBM-20 en place. Notez que les paires de composants SPK1/SPK2, C3/C16, et C2/C15 offrent deux empreintes alternatives sur la carte. En outre, un seul des composants de chacune de ces paires sera installé. J5 et J6 offrent aussi deux empreintes alternatives pour connecter les bornes négatives des tubes Geiger plus courts.

Options de tubes

La carte est conçue pour fonctionner avec le SBM-20 soviétique



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

R16 = 330 kΩ
R15 = 5,6 MΩ
R8 = 2,2 MΩ
R5 = 10 MΩ
R6 = 1 kΩ
R21 = 470 Ω

Condensateurs

C20 = 220 µF, 6,3 V
C3 = 4700 pF, 1000 V
C4 = 10 nF, 6,3 V
C5 = 100 pF, 50 V
C7 = 100 pF, 1000 V
C12 = 100 nF, 50 V
C14 = 1 µF, 6,3 V
C16 = 4700 pF, 1000 V
C19 = 22 pF, 50 V

Inductances

L1 = 4,7 mH

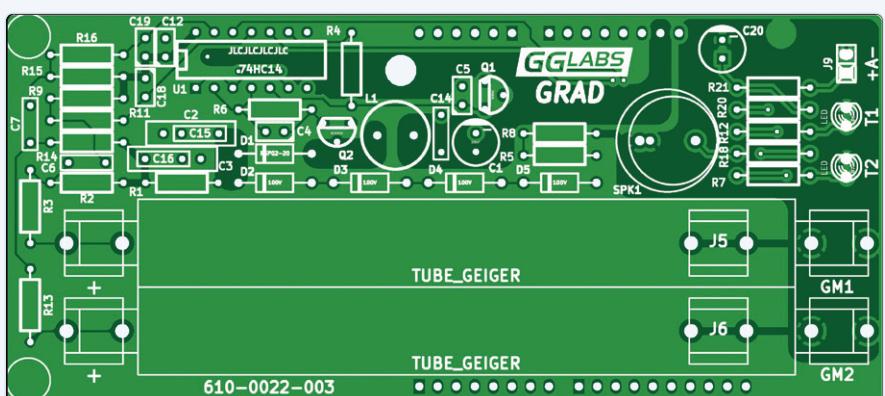


Figure 3. Circuit imprimé nu.

Semi-conducteurs

D1 = diode 1 A, 800 V
D5 = diode Zener 100 V 1,5 W
D7 = LED rouge 3 mm (marquées T1 et T2 sur le circuit imprimé)
Q1 = 2N3904
Q2 = MJ13003
U1 = 74HC14

Divers

GM2 = tube Geiger-Müller, par ex. SBM-20
J4 = jeu de connecteurs du shield Arduino Uno
SPK1 = buzzer piézoélectrique AC, par ex. AC-1205G-N1LF

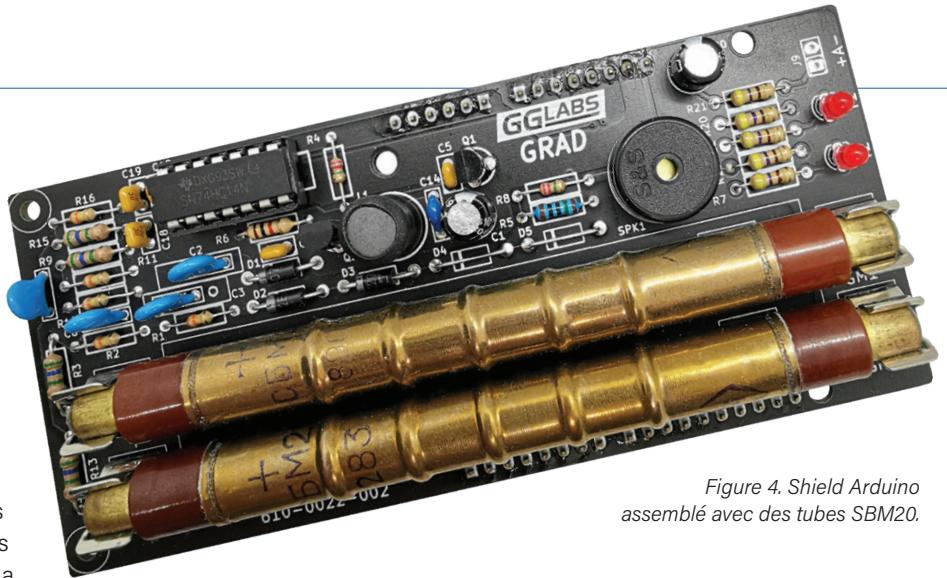


Figure 4. Shield Arduino assemblé avec des tubes SBM20.

(105 mm), le STS-5 et le J305 chinois ou les J305 et M4011 de 90 mm. Tout autre tube 400 V fonctionnera également avec une adaptation du montage. Dans ce cas, il faudra prendre soin de garder le fil positif aussi court que possible pour réduire la capacité parasite. Pour les tubes nécessitant une HT différente, la ou les diodes Zener doivent être remplacées pour obtenir la tension requise. Toute diode ayant une fuite $\leq 0,5 \mu\text{A}$ devrait fonctionner.

Performance

L'alimentation consomme $325 \mu\text{W}$ ($65 \mu\text{A}$) sous 5 V . En fonctionnement sur batterie, la carte peut aussi être alimentée en $3,3 \text{ V}$. À cette tension plus faible, la consommation tombe à $150 \mu\text{W}$ ($45 \mu\text{A}$).

Exemple de code Arduino

Pour piloter le compteur, un croquis Arduino simple est disponible sous la rubrique *Elements* de la page du projet Elektor Labs. Toutes les 60 s, le logiciel émet via le port série une ligne de valeurs séparées par des virgules (CSV) : numéro séquentiel, comptage brut de chaque tube, moyenne mobile de `cnt1 + cnt2` et débit de dose en $\mu\text{Sv/h}$ déduit du comptage moyen. L'extrait de sortie ci-après montre le début d'une mesure de radiation de fond effectuée à Santa Clara (Californie) avec un GRAD doté de deux tubes SBM-20.

```
Seq , cnt1 , cnt2 , avg10 , µSv/h
1 , 14 , 19 , 33.0 , 0.075
2 , 10 , 17 , 32.3 , 0.073
3 , 16 , 12 , 31.8 , 0.072
4 , 16 , 24 , 32.5 , 0.074
5 , 13 , 11 , 31.6 , 0.072
```

Le graphe de la **figure 5** présente la mesure complète sur 15 heures. Au début figure une série de définitions modifiables en fonction de la configuration de la carte et des préférences de l'utilisateur. La 1^{re} série configure les paramètres du tube Geiger-Müller et la taille de la fenêtre mobile pour le suivi.

```
#define CPM2USV 220 // nbre de CPM pour 1 µSv/h
// du tube
#define TUBES 2 // nbre de tubes installés
#define WSIZE 10 // fenêtre de la moyenne mobile
// (en min)
```

CPM2USV est le comptage/min pour $1 \mu\text{Sv/h}$ **du tube utilisé**. Malheureusement, aucun chiffre « correct » n'est publié pour ce dernier.

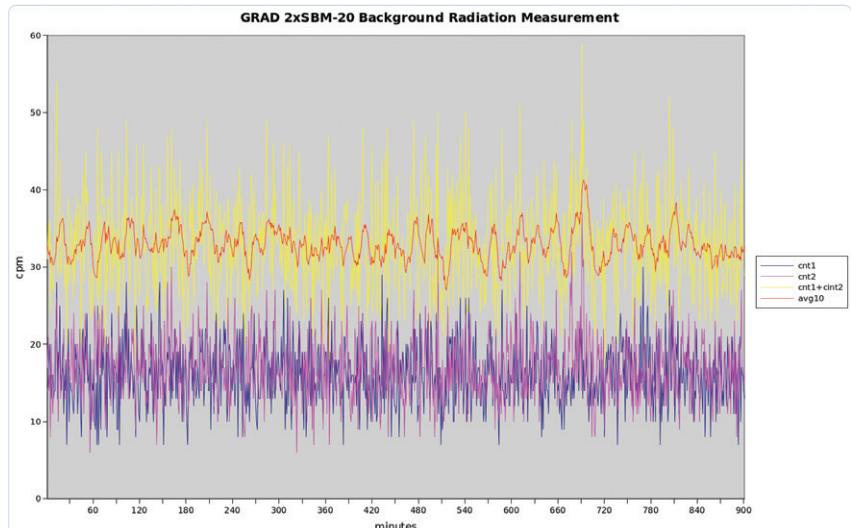


Figure 5. Rayonnement de fond à Santa Clara (Californie).

Pour le SBM-20, les amateurs du web utilisent des valeurs allant de 130 à 220 (facteur de conversion de 0,0075 à 0,0045).

TUBES, comme son nom l'indique, définit le nombre de tubes installés. Les valeurs permises sont 1 et 2. Enfin, **WSIZE** définit la taille de la fenêtre de moyenne mobile pour les comptages. 10 (val. par défaut) définit une fenêtre de 10 min.

La 2^e série de paramètres définit les attributs des fonctions matérielles optionnelles :

```
#define LED1_PIN     8 // broche de la LED du TUBE1
#define LED2_PIN     9 // broche de la LED de TUBE2
#define SPKR_PIN      4 // broche du haut-parleur
#define LED_BLINK_MS 20 // durée du clignotement de la
// LED pour chaque compte
```

Les trois **...PIN** définissent la broche Arduino à laquelle les LED et le HP sont connectés. Le **LED_BLINK_MS** définit le temps d'allumage de la LED pour chaque impulsion que le tube reçoit.

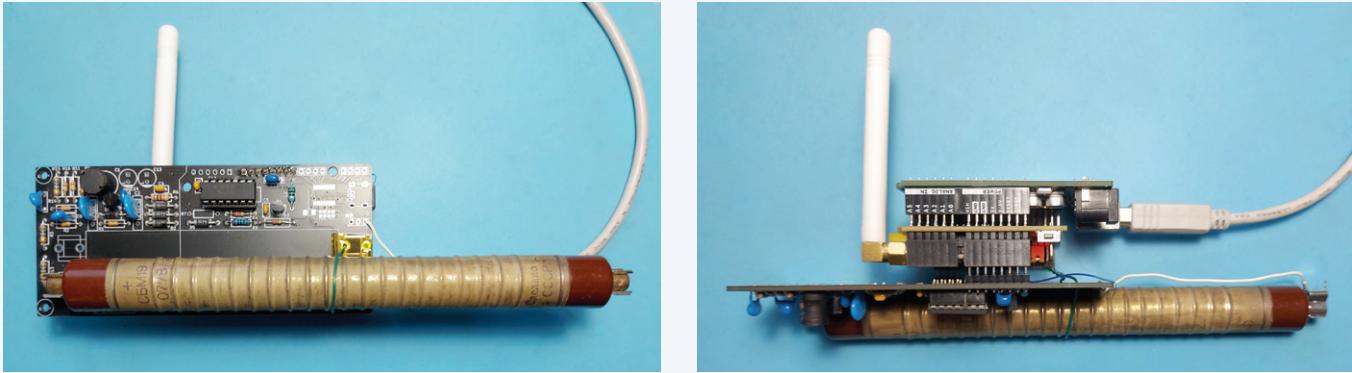


Figure 6. Carte GRAD03 et shield Dragino LoRa/GPS combinés sur l'Arduino Uno.

Mise en réseau LoRaWAN

Le croquis de base implique la connexion par USB de l'unité à un ordinateur. Cependant ce capteur a pour vocation la mesure de terrain donc loin de l'ordinateur, sans connexion USB.

On peut y ajouter un shield Dragino LoRa/GPS et bénéficier de sa connectivité. Malheureusement, le shield Dragino utilise aussi la broche D2 de l'Arduino, il faut donc pouvoir choisir entre un tube et deux tubes. Option monotube : dans ce cas, seul le tube GM2 peut être utilisé et la broche 10 du trigger de Schmitt U1 doit être supprimée pour éviter tout parasitage de la communication LoRa. La **figure 6** montre l'empilement avec un seul SBM-19 soviétique.

Option bi-tube : dans ce cas, il faut modifier le shield Dragino et la carte GRAD. Pour le shield Dragino, R5 et J_DIO0 doivent être retirés. Reliez par un fil la broche radio DIO0 à D7 de l'Arduino.

Pour la carte GRAD, il faut enlever R7, R12, C20 et les deux LED. R21 doit être court-circuité, et une seule LED doit être placée à l'emplacement J9 (remplace la sortie analogique du compteur).

Un croquis téléchargeable de liaison avec le réseau *The Things Network* (TTN) poste le comptage du tube toutes les 60 s. Il utilise la bibliothèque LMIC Arduino pour piloter le shield Dragino LoRa/GPS et se connecte au réseau TTN en utilisant l'activation par voie aérienne (OTAA). Un simple flux Node-RED est utilisé pour afficher les données (voir **fig. 7**).

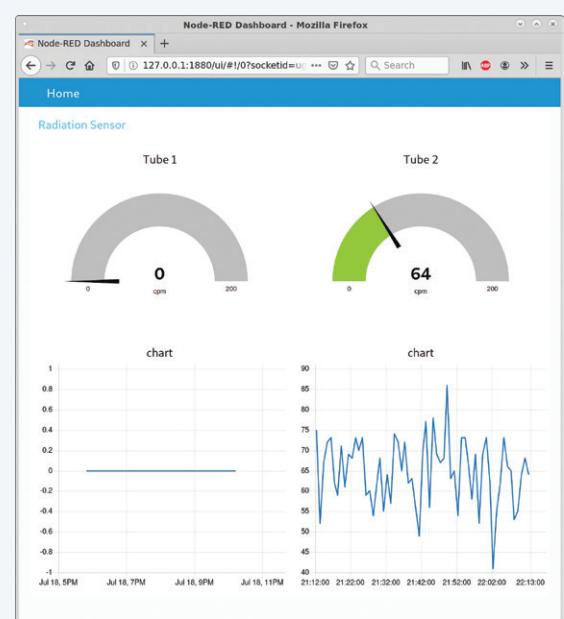
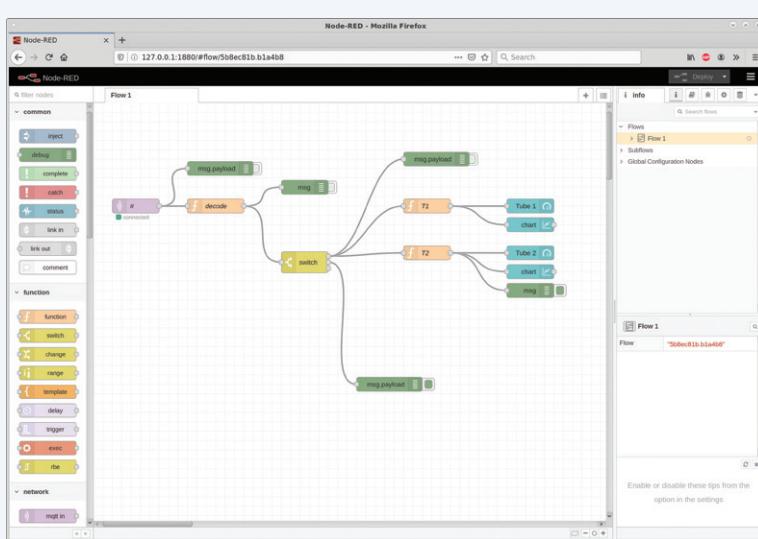


Figure 7. Flux et tableau de bord Node-Red.

Mesure de radiation

Pour vérifier le bon fonctionnement du compteur Geiger, une source de radiation est nécessaire. On peut en acheter en ligne chez des fournisseurs spécialisés. Il est aussi possible de trouver en friperie ou sur Ebay des articles *vintage* contenant une petite quantité de matériau radioactif. Parmi les objets radioactifs les plus courants, citons : objets en verre à l'uranium, manchons de lanterne au thorium et certaines couleurs d'objets de fête vintage.

Alternativement, on peut mesurer le produit de désintégration du radon capturé par le filtre à air d'un climatiseur ou d'un purificateur d'air (**fig. 8**). Ces produits ont une demi-vie assez courte (qq. dizaines de minutes). Faites fonctionner la climatisation pendant 2 ou 3 h, puis mesurez immédiatement le filtre. Si le filtre est assez fin, il émettra un taux de radiation plusieurs fois supérieur au bruit de fond de votre région. Le graphe ci-après montre que le taux atteint presque dix fois le bruit de fond et décroît ensuite exponentiellement, caractérisant la désintégration radioactive. 



Figure 8. Rayonnement de désintégration du radon du filtre d'un climatiseur.

Cet article est basé sur le matériel présenté sur la page Elektor Labs de ce projet [3]. Vous y trouverez tous les téléchargements pour GRAD03, ainsi que des discussions et des remarques sur ce sujet.

210404-04

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (gorlik@yahoo.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Contributeurs

Conception : Gabriele Gorla

Texte : Gabriele Gorla, Luc Lemmens

Illustrations : Gabriele Gorla, Patrick Wielders

Rédaction : Jens Nickel, C. J. Abate

Mise en page : Giel Dols

Traduction : Yves Georges



PRODUITS

➤ **Arduino Uno SMD Rev3**
www.elektor.fr/19938

➤ **Kit compteur Geiger MightyOhm (avec boîtier)**
www.elektor.fr/18509

LIENS

[1] Tubes Geiger-Müller : https://france2.wiki/wiki/Geiger%E2%80%93M%C3%BCller_tube

[2] Adaptations Theremino Geiger (voir les trois derniers modèles de cette page) : www.theremino.com/en/technical/schematics

[3] Ce projet sur Elektor Labs : www.elektormagazine.fr/labs/dual-geiger-muller-tube-radiation-sensor-for-arduino