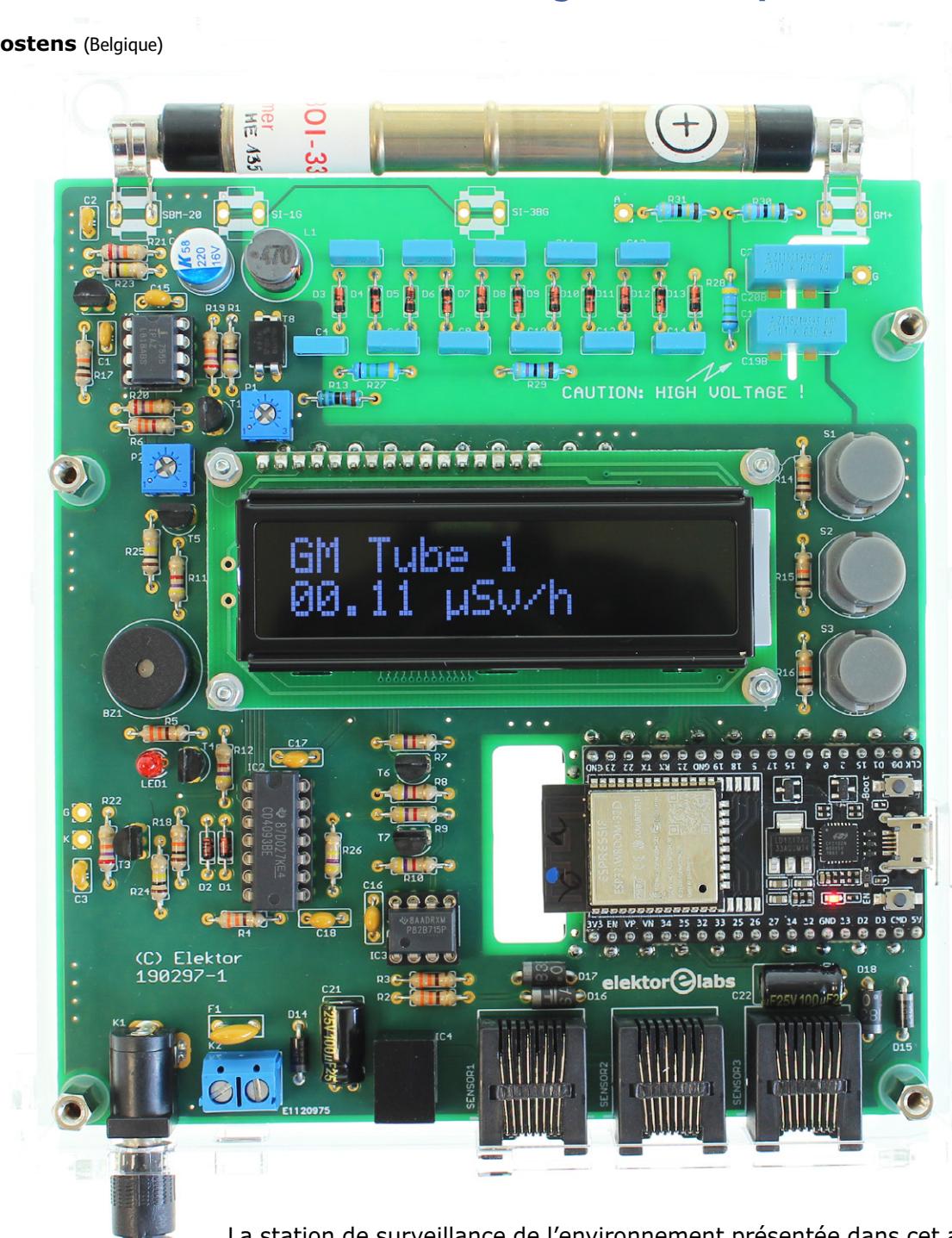


station de surveillance de rayonnement ionisant

Publier les données de 2 tubes Geiger sur les plates-formes IdO

Ilse Joostens (Belgique)



La station de surveillance de l'environnement présentée dans cet article mesure le niveau de rayonnement ionisant de fond et publie des données sur des plates-formes IdO comme *openSenseMap* et *ThingSpeak*. Elle est extensible.

INFOS SUR LE PROJET	
	rayonnement haute tension tube Geiger-Muller internet des objets ESP32
	débutant → connaisseur expert
	± 4 heures
	fer à souder, IDE Arduino, alim de labo
	±70 €

Caractéristiques

- Tension d'alimentation 9 à 20 V_{CC}
- Basé sur ESP32 avec Wi-Fi
- Jusqu'à deux tubes Geiger-Muller
- Tension de tube réglable (jusqu'à 1,1 kV)
- Mesure le rayonnement gamma (et bêta)
- Affichage des données sur l'afficheur LCD local et sur la plate-forme IoT distante
- Hautement configurable
- Alarme de niveau de rayonnement élevé avec seuil réglable
- Trois connecteurs d'extension I²C tamponnés

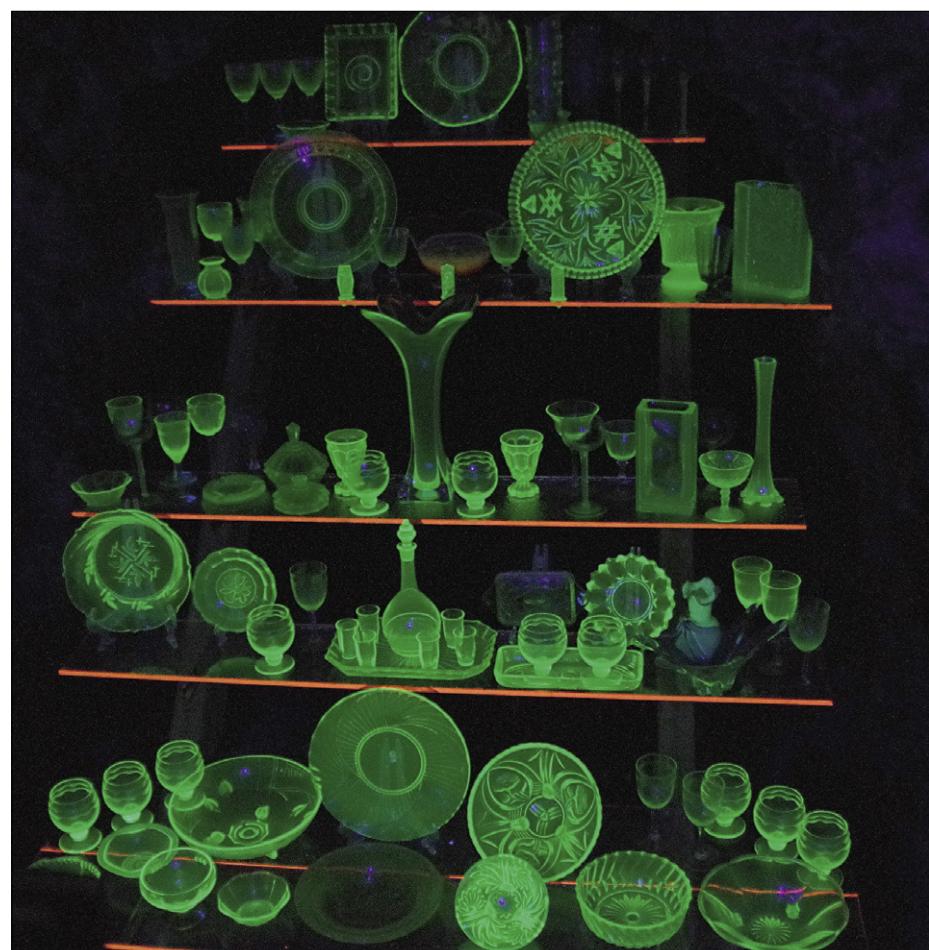


Figure 1. Le verre d'uranium est une source radioactive intéressante pour vérifier la station de surveillance environnementale. Les perles de ce verre, toujours produites en République tchèque, sont bon marché et inoffensives, car les sels d'uranium sont pris dans le verre.



Figure 2. Deux exemples courants de tubes Geiger-Muller à chambre métallique.

Rayonnement de fond

Issu de sources naturelles ou artificielles, le rayonnement de fond peut être considéré comme le niveau de rayonnement ionisant permanent à un endroit donné. Par rayonnement ionisant, on entend toute forme de rayonnement capable de détacher les électrons des atomes ou des molécules. Ce n'est pas la même chose que la radioactivité, mais la désintégration radioactive s'accompagne généralement d'un rayonnement ionisant [1]. Pratiquement tous les matériaux présents dans la nature ont un tel rayonnement en raison de la présence de radionucléides naturels. Ceux qui nous concernent sont principalement l'uranium 238/235, le thorium 232, le potassium 40 et le rubidium 87. Dans l'air, on trouve principalement du radon 222, ses nucléides descendants, et des radionucléides cosmogéniques [2]. Enfin, les articles artificiels radioactifs comme les matériaux de construction, les biens de consommation et les articles ménagers (**fig. 1**) contribuent également au rayonnement de fond (domestique) [3].

Mesure du rayonnement ionisant

Lors de la surveillance du rayonnement de fond, les rayonnements alpha et bêta sont habituellement moins préoccupants, car leur portée dans l'air est très limitée. Pour obtenir de bons résultats, il faut un tube G-M avec une sensibi-

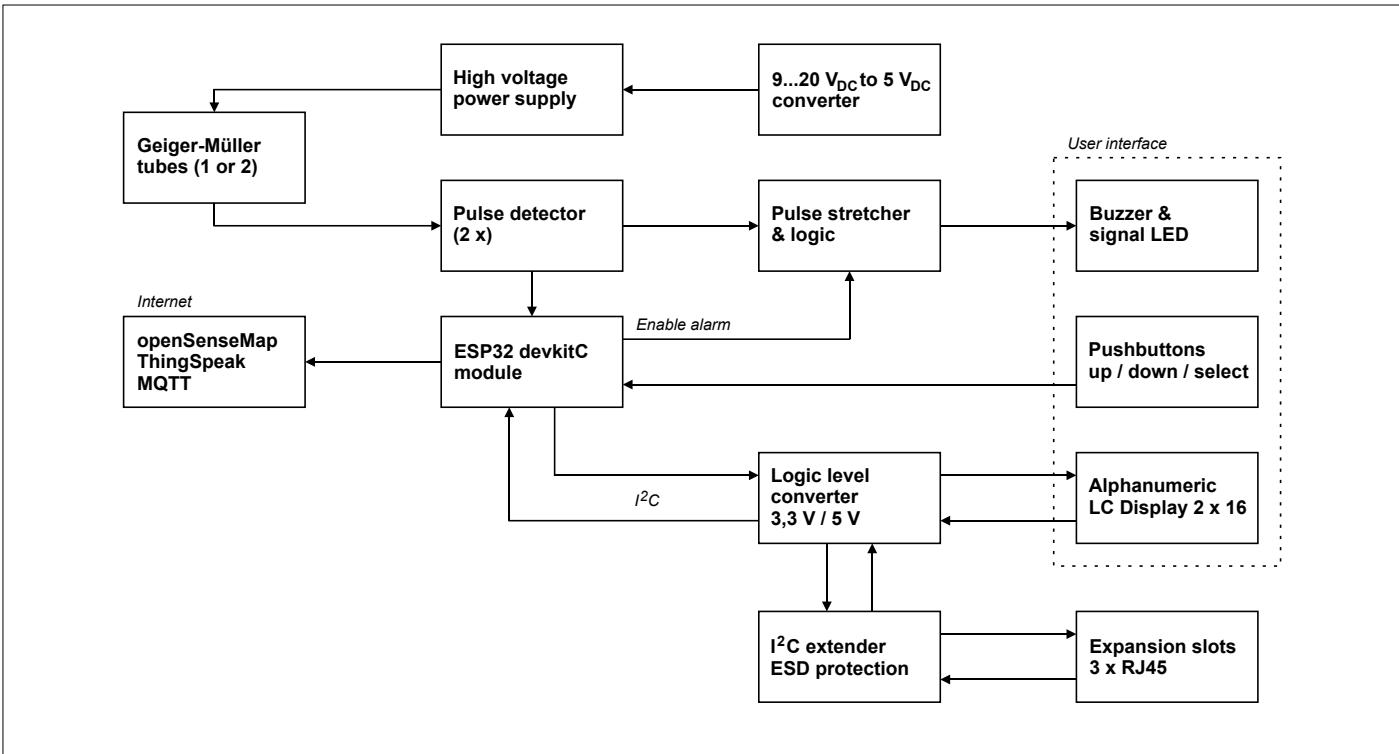


Figure 3. Le synoptique de cette station de surveillance environnementale montre que ce n'est pas juste un compteur Geiger-Müller comme les autres.

lité gamma élevée. Pour un système d'entrée de gamme, le tube SBM-20 russe est un bon choix. Soyez prudent lorsque vous commandez un tel tube, car de nombreux modèles compatibles sont vendus sous l'étiquette SBM-20. Le LND712 est une autre option abordable, mais du fait de sa faible sensibilité aux rayons gamma du césium 137, ce n'est pas le meilleur choix pour détecter le rayonnement consécutif à une catastrophe comme Tchernobyl. Nous avons également essayé les tubes LND7121217 et LND78017. La sensibilité du premier est comparable à celle du SBM-20. Le second est beaucoup plus sensible.

Geiger & Muller et leur tube

Le physicien allemand Geiger inventa en 1908 le principe à partir duquel Muller, un autre physicien allemand, fabriquera en 1928 un tube utilisable.

Généralement, les tubes G-M ont la forme d'un cylindre métallique servant de cathode et sont dotés d'une anode centrale (**fig. 2**). Certains tubes ont une fenêtre en mica pour la détection des particules alpha et du rayonnement bêta trop faibles pour traverser la paroi métallique du tube. Il existe aussi des tubes en verre au lieu de métal

et les tubes *pancake* plats (comme une crêpe) [4].

Le tube est rempli d'un mélange Penning composé d'un gaz de remplissage inerte comme le néon ou l'argon et d'un gaz de trempe, généralement du chlore ou du brome. La pression du mélange gazeux est égale à quelques dixièmes de la pression atmosphérique. Une haute tension de l'ordre de 300 V à 1200 V est appliquée entre anode et cathode.

Une particule alpha ou bêta entrant dans le tube ionisera le gaz. La même chose se produit indirectement par effet photoélectrique lorsqu'un photon gamma frappe le tube et frappe un électron de la paroi interne du tube dans le gaz de remplissage.

Townsend et son avalanche

Lorsque le gaz de remplissage est ionisé, des paires d'ions chargés positivement et des électrons libres sont créés. Le champ électrique dans le tube accélère les ions positifs vers la cathode et les électrons négatifs vers l'anode. Si les électrons libres gagnent assez d'élan, ils ioniseront d'autres molécules de gaz sur leur trajectoire, créant des électrons libres supplémentaires qui à leur tour ioniseront encore plus de molécules de gaz, et ainsi de suite. Le résultat de cette avalanche

dite de Townsend est une impulsion électrique facilement détectable.

Les avalanches finissent par s'arrêter lorsque l'intensité du champ électrique diminue en raison de l'accumulation d'ions positifs autour de l'anode.

Le gaz de trempe agit contre les avalanches prolongées et évite les décharges secondaires intempestives en empêchant l'émission de photons UV lorsque les ions positifs atteignent la cathode. Lorsque l'avalanche s'arrête, le tube est temporairement réfractaire à un nouvel événement ionisant, on parle de *temps mort*.

Tubes G-M : avantages et inconvénients

Les tubes G-M sont relativement bon marché ; capables de détecter tous les types de rayonnement, ils sont durables et portables. Par rapport aux détecteurs à scintillation et à semi-conducteurs, l'impulsion de sortie est toujours la même quel que soit le niveau d'énergie ou le type de rayonnement détecté. Le rendement des tubes G-M (ϵ) est très faible. Ils ne détectent qu'une petite fraction du rayonnement ionisant qui les frappe. Ils ne sont généralement pas assez sensibles pour détecter de manière fiable, par exemple, la contamination radioactive des produits alimentaires.

Tube G-M : comment l'utiliser dans un circuit

Maintenant que nous avons une idée du fonctionnement des tubes G-M, nous pouvons concevoir un circuit d'application.

Au fond, ce dont nous avons besoin se limite à une alimentation haute tension (HV) pour polariser le tube G-M et un amplificateur pour rendre audibles et visibles les impulsions de sortie.

À cause de fonctions accessoires, le synoptique (fig. 3) est un peu plus compliqué que ce qui vient d'être décrit. Le circuit de base est formé par l'alimentation HT, le tube G-M, un détecteur d'im-

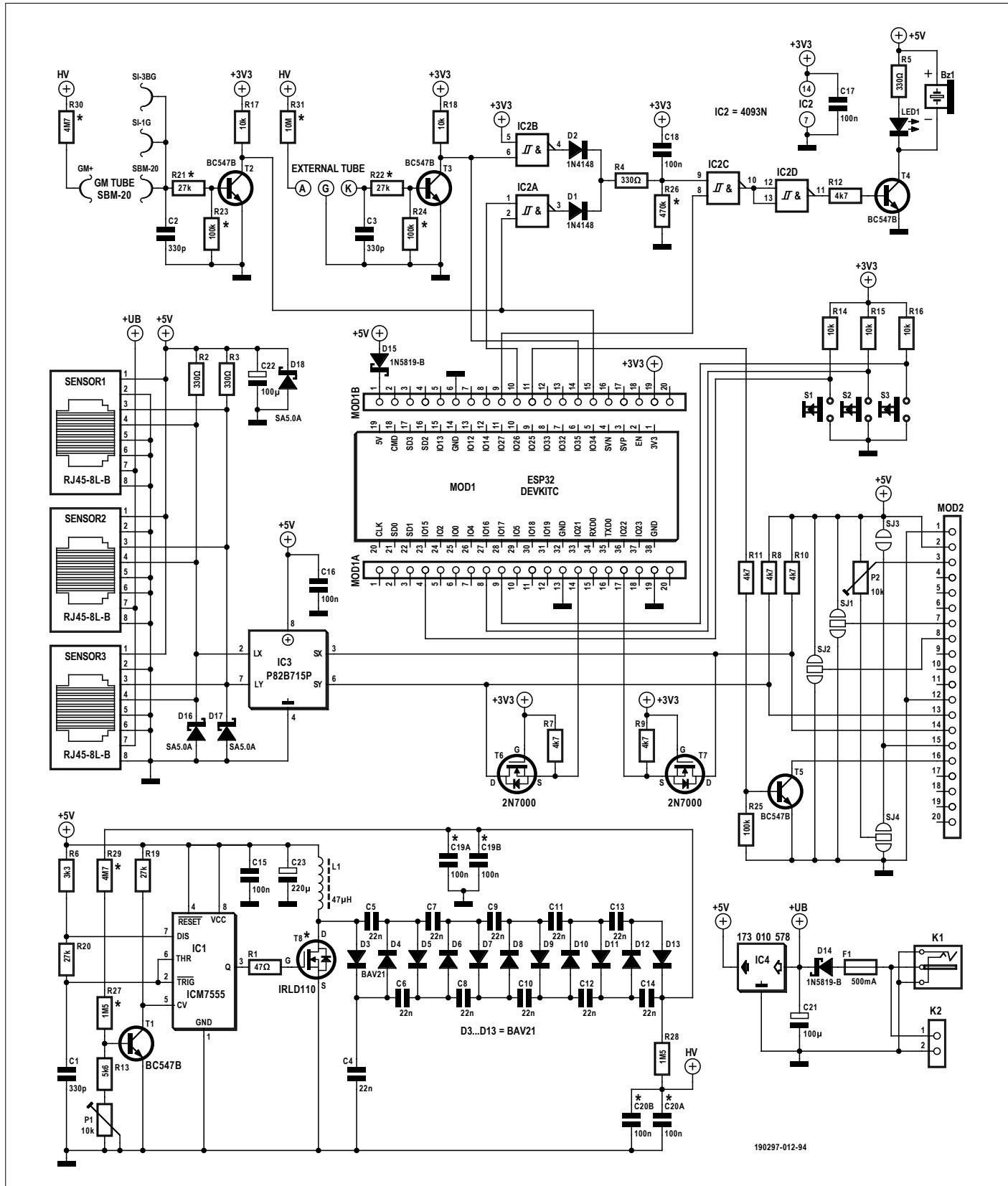


Figure 4. L'élévateur de tension avec son échelle de diodes à 11 étages est l'attraction principale de ce circuit. Le module ESP32, moins spectaculaire, n'en est pas moins digne d'intérêt.

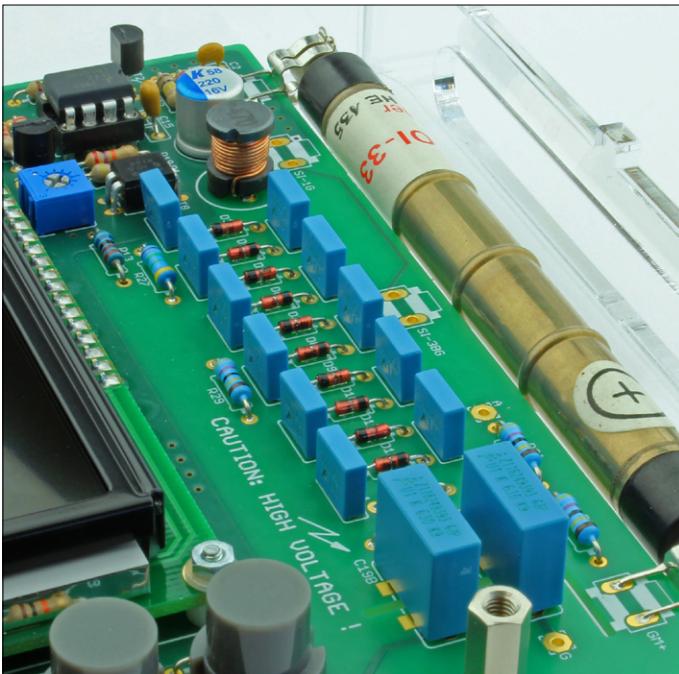


Figure 5. Un tube Geiger-Muller ne fonctionne que sous haute tension.

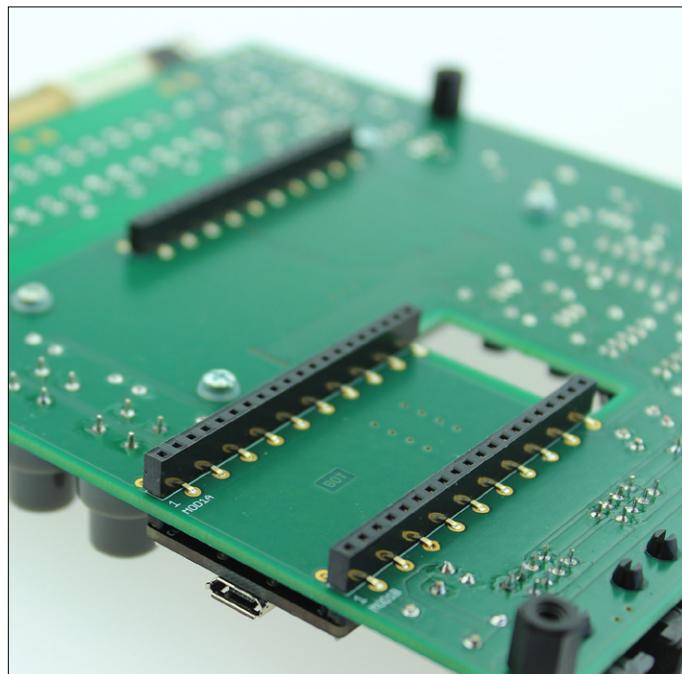


Figure 6. Le profil surbaissé du support permet de réduire l'encombrement.

pulsions suivi d'un allongeur, un transducteur sonore et une LED. Ce circuit capable d'écouter deux tubes G-M au lieu d'un seul pour les comparer est donc doté de deux détecteurs d'impulsions. Nous y avons ajouté un microcontrôleur (μ C) pour le traitement des données. Les valeurs mesurées sont données par le μ C sur un afficheur à cristaux liquides et envoyées sur l'internet par une connexion sans fil. Trois extensions I²C tamponnées sont prévues pour d'autres capteurs ou d'autres appareils. Le schéma de la **figure 4** est facile à analyser.

Indispensable alimentation haute tension

L'alimentation haute tension (HT) est construite autour d'un temporisateur 7555. Il s'agit d'un convertisseur élévateur suivi d'une cascade HT qui multiplie la tension de sortie par six (**fig. 5**). Pour obtenir une tension aussi propre que possible, la sortie du multiplicateur passe par le filtre R28/C20 (A ou B). Comme T8 (un MOSFET de type IRLD110) peut commuter des tensions jusqu'à 100 V, la tension de sortie maximale théorique est de 600 V. En pratique, la tension de sortie peut être réglée de 280 V à 550 V, ce qui permettra l'utilisation de nombreux types de tubes G-M. Si T8 est un IRFD220 et que C19B ainsi que C20B remplacent C19A et C20A, une tension

de tube encore plus élevée est possible. Dans ce cas, la valeur de chacune des résistances de retour R27 et R29 doit être portée à 5,6 M Ω environ. Le circuit HT, alimenté depuis la tension stabilisée de 5 V, est donc indépendant de la tension d'entrée de 9 à 20 VCC du circuit. Sous une tension de sortie de 550 V, les résistances R27 et R29 dissipent quelque 50 mW et chauffent donc un peu. Pour améliorer encore la stabilité de l'alimentation HT, on choisira pour ces deux composants un modèle à faible coefficient thermique.

Crucial détecteur d'impulsions

Les circuits de détection d'impulsions, du côté secondaire du tube G-M, se composent d'un transistor NPN, d'un condensateur et de quelques résistances. Les résistances anodiques R30 et R31 et les composants des circuits de détection doivent être choisis en fonction du tube G-M utilisé. En règle générale, la somme des valeurs des résistances connectées à la base du transistor doit être approximativement 1/45^e (0,022) de la valeur de la résistance de l'anode.

Les collecteurs des transistors sont connectés au μ C et au rail 3,3 V par une résistance de polarisation de 10 k Ω .

Nécessaire allongeur d'impulsions

Comme les impulsions de quelques μ s

sur les collecteurs sont trop courtes pour être visibles et audibles, elles sont étirées par le circuit R4, R26, C18 et IC2C. Quand la fréquence des impulsions est élevée, ce circuit rallonge l'impulsion en continu avant la fin de l'impulsion en cours. Il en résulte un signal sonore continu. Jouez sur la valeur des composants du rallongeur d'impulsions pour atténuer cet effet si vous le souhaitez. L'étirement des impulsions aurait pu être effectué par le logiciel, mais à des fréquences d'impulsions élevées, à raison de plusieurs centaines par seconde ou plus, cela mobiliserait une puissance de traitement que nous préférions réservé à des tâches plus importantes.

μ C + LCD avec interface I²C

Ses aptitudes Wi-Fi entrent pour une large part dans la popularité de l'ESP32. Nous avons choisi le module devkitC ESP32 auquel nous avons ajouté trois poussoirs (*Up*, *Down* et *Select*) et un afficheur alphanumérique de 2 × 16 signes (avec interface I²C, ce qui est assez rare). Comme il fonctionne sous 5 V, les convertisseurs de niveau T6 et T7 sont nécessaires. Les modules LCD standard avec à l'arrière un petit convertisseur I²C-parallèle sont plus courants, mais trop encombrants ici.

Le module ESP32 est doté de deux connecteurs à 19 broches et l'afficheur LCD n'a que 16 broches, mais nous avons

opté pour des connecteurs à 20 broches, faciles à trouver. Les broches inutiles ne sont pas connectées.

Connecteurs d'extension

Trois prises RJ45 permettent de connecter des capteurs externes à l'aide de câbles Ethernet standard. Y sont connectés la tension d'alimentation d'entrée, le rail 5 V et un bus I²C tamponné par un prolongateur de bus P82B715 (IC3). Les diodes TVS protègent le rail 5 V et les signaux I²C contre les surtensions.

Logiciels

Nous n'avons pas ménagé nos efforts de sorte que le logiciel dispose de nombreuses commandes (voir **encadré**, documenté dans le fichier *cmd_proc.ino*).

Ces commandes peuvent être envoyées par Wi-Fi à la station de surveillance, ou à travers le port série (via le connecteur USB du module ESP32). Le débit du port série est réglé à 115 200 bits/s. Avec le moniteur série de l'EDI Arduino, désactivez l'option '*Pas de fin de ligne*'. Envoyez les commandes Wi-Fi au port 5010 à l'adresse IP de la station. Vous pouvez utiliser PuTTY ou une application de terminal TCP sur votre téléphone tactile. Le logiciel a été écrit dans l'EDI Arduino 1.8.9 avec le noyau Arduino pour l'ESP32 installé.

Comptage d'impulsions

Les impulsions des tubes G-M sont comptées pendant un intervalle réglable, puis converties en une valeur moyenne de *compte par minute* (CPM) pour cet intervalle. Un débit de dose en *microsieverts* par heure ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) est calculé à partir de cette valeur puis publié sur une plate-forme IdO. La valeur sur l'afficheur local est mise à jour toutes les 15 secondes. Comme il prend en compte le nombre d'impulsions détectées au cours de la dernière minute, sa réactivité convient pour expérimenter avec une source radioactive. Les valeurs affichées sur l'afficheur LCD peuvent différer quelque peu des valeurs envoyées sur l'internet en raison de différences de filtrage.

De l'impulsion au microsievert par heure

Tout d'abord, corrigeons le taux de comptage R (exprimé en CPM) pour le temps mort du tube :

$$R_{\text{corrige}} = R_{\text{observé}} / (1 - (R_{\text{observé}} \times t_{\text{mort}}))$$

[compte/min.]

Notez que le temps mort d'un tube est généralement spécifié en microsecondes (μs) et dans la formule ci-dessus, doit être converti en minutes lorsque le taux de comptage R est en impulsions comptées par minute. Pour le SBM-20, dont le temps mort est de 190 μs , son effet est insignifiant pour les valeurs de CPM inférieures à 3000 CPM (c'est-à-dire moins de 1 % d'erreur).

Facteur de conversion

La deuxième (et dernière) étape du calcul est facile si vous connaissez le *facteur de conversion* de votre tube G-M. Malheureusement, pour déterminer ce facteur, il faut une source radioactive dont l'activité est connue avec précision. De

telles sources sont non seulement très coûteuses, mais elles doivent généralement être autorisées par une autorité de réglementation nucléaire.

Vous pouvez trouver sur l'internet les données de moniteurs de rayonnement officiels dans votre voisinage et ajuster le facteur de conversion de votre système pour obtenir des mesures alignées sur ces valeurs officielles. Pour le tube SBM-20 utilisé dans notre prototype, nous avons obtenu de bons résultats avec un facteur de conversion de 0,003931. Lorsque le facteur de conversion k est connu, le débit de dose D est :

$$D = k \times R_{\text{corrige}} [\mu\text{Sv}/\text{h}]$$

Configuration de la station de mesure atmosphérique

Commandes de configuration des tubes G-M.

gm N			G-M tube, N=1...2
	set		Réglages
		attached att YN	Le tube est connecté y/n
		accperiod ap N	Période d'accumulation (min)
		deadtime dt N	Temps mort (μs)
		cnvfactor cf N	Facteur de conversion
		threshold th N	Seuil d'alarme (nanoSv/h)

Commandes de configuration du transducteur et de la LED.

buzzer			Transducteur & LED
	alarm al YN		Activer / désactiver l'alarme sonore
	set		Réglages
		enabled ena YN	Activer / désactiver le transducteur

Si vous voulez publier les mesures sur une plate-forme IoT, vous pouvez choisir *openSenseMap* et/ou *ThingSpeak* (compte obligatoire). Pour *ThingSpeak*, vous aurez besoin d'une clé API d'écriture et d'un nom de champ pour chaque tube G-M. Pour *openSenseMap*, vous aurez besoin d'un identifiant *SenseBox* et d'un identifiant *Sensor*.

thingspeak thsp				ThingSpeak client
	set			Réglages
		gm N		tube G-M, N=1..2
			writekey wk "..."	Écriture de la clé API
				fieldname fn "..." Nom du champ
opensensemap osmap				OpenSenseMap client
	set			Réglages
		gm N		tube G-M, N=1..2
			senseboxid sbid "..."	Identifiant SenseBox
			sensorid sid "..."	Identifiant Capteur



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

R1 = 47 Ω
 R2-R5 = 330 Ω
 R6 = 3,3 k Ω
 R7-R12 = 4,7 k Ω
 R13 = 5,6 k Ω 1%
 R14-R18 = 10 k Ω
 R19-R22 = 27 k Ω
 R23,R24,25 = 100 k Ω
 R26 = 470 k Ω *
 R27,R28 = 1,5 M Ω 1,6 kV
 (par ex. Vishay HVR2500001504JA100)*.
 R29,R30 = 4,7 M Ω 1,6 kV
 (par ex. Vishay VR2500000004704704FA500)*.
 R31 = 10 M Ω 1,6 kV
 (par ex. Vishay VR2500000001005FA500)*
 P1,P2 = aj. 10 k Ω (par ex. Vishay
T73YU103KT20)

Condensateurs

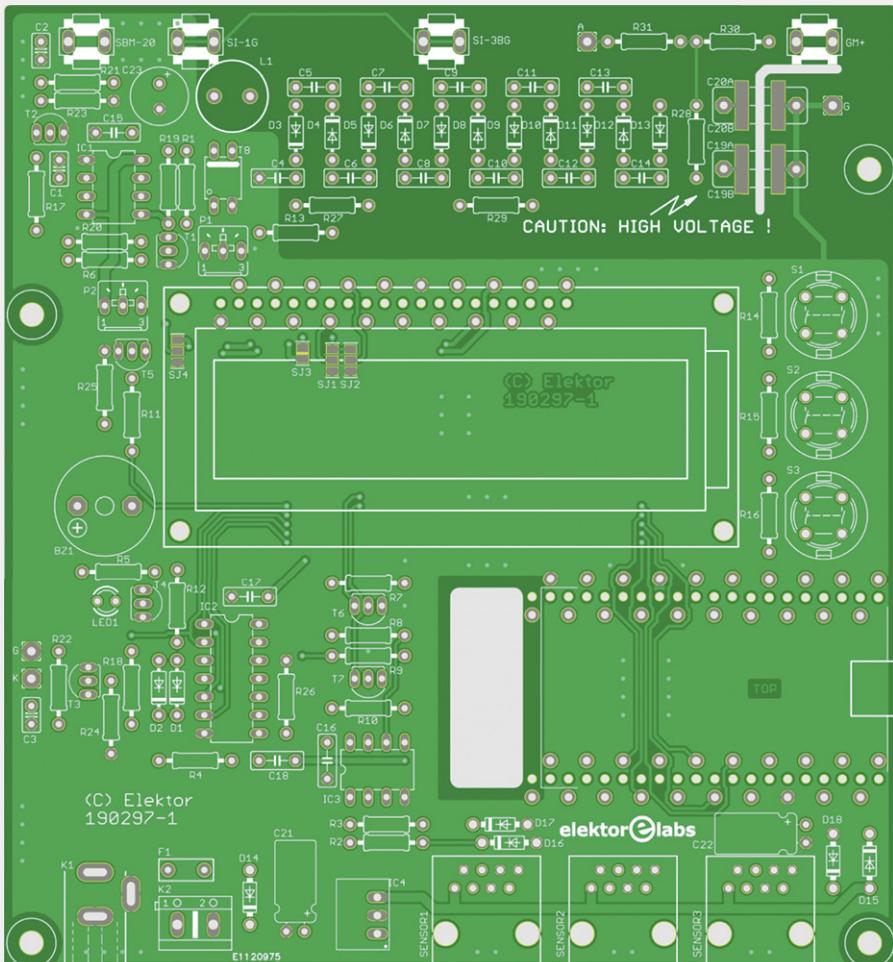
C1,C2,C3 = 330 pF NP0/COG
 C4-C14 = 22 nF à film 250 V
 (ex. Epcos B32529C3223J000)
 C15-C18 = 100 nF X7R
 C19,A,C20A = 100 nF à film 630 V
 (par ex. Epcos B32671P6104K000).
 C19B,C20B = 100 nF X7R 1,5 kV
 (ex. Kemet C2225C104KFRAC TU)*.
 C21,C22 = 100 μ F 25 V
 C23 = 220 μ F 16 V, faible ESR

Inductances

L1 = 47 μ H radial
 (par ex. Würth Elektronik 744 772 047 0)

Semi-conducteurs

D1,D2 = 1N4148
 D3-D13 = BAV21
 D14,D15 = 1N5819-B
 D16,D17,D18 = SA5,0A
 LED1 = LED 3 mm rouge
 T1-T5 = BC547B



T6,T7 = 2N7000
 T8 = IRLD110PBF*
 IC1 = ICM755555
 IC2 = CD4093N
 IC3 = P82B715P
 IC4 = régulateur abaissage $V_{\text{entrée}}$ 8 à 28 V,
 V_{sortie} 5 V, 1 A, Würth Elektronik 173 010 578
 E1120975

Divers

BZ1 = transducteur sonore
 (par ex. Loudity LD-BZEG-1205/3)
 F1 = polyfusible 500 mA
 (par ex. petit fusible 60R050XPR)
 K1 = socle DC 2,1/5,5 mm
 (par ex. Ninigi PC-GK2.1)
 K2 = bornier à vis encartable à 2 voies, pas
 5 mm

Assemblage de la station de surveillance

Commencez par les plus petits composants comme les diodes BAV21 (D3-

D13). Montez tout sauf l'afficheur et le module ESP32. Implantez IC1 mais pas encore IC2 ni IC3.

Implantez soit C19A & C20A soit C19B

& C20B, mais jamais tous les quatre ensemble.

Attention, les diodes de suppression de transitaires D16 et D17 sont à l'étroit. Coudez les fils de D17 avec soin et assurez-vous que D16 ne gêne pas la prise RJ45 SENSOR1.

Pour réduire la hauteur totale de la carte assemblée, l'afficheur LCD et le module ESP32 sont montés côté soudure de la carte sur des supports surbaissés (MOD1A, MOD1B & MOD2) (**fig. 6**). Vous pouvez couper un peu les broches du connecteur MOD2 pour qu'elles ne touchent rien sur la face inférieure du module LCD.

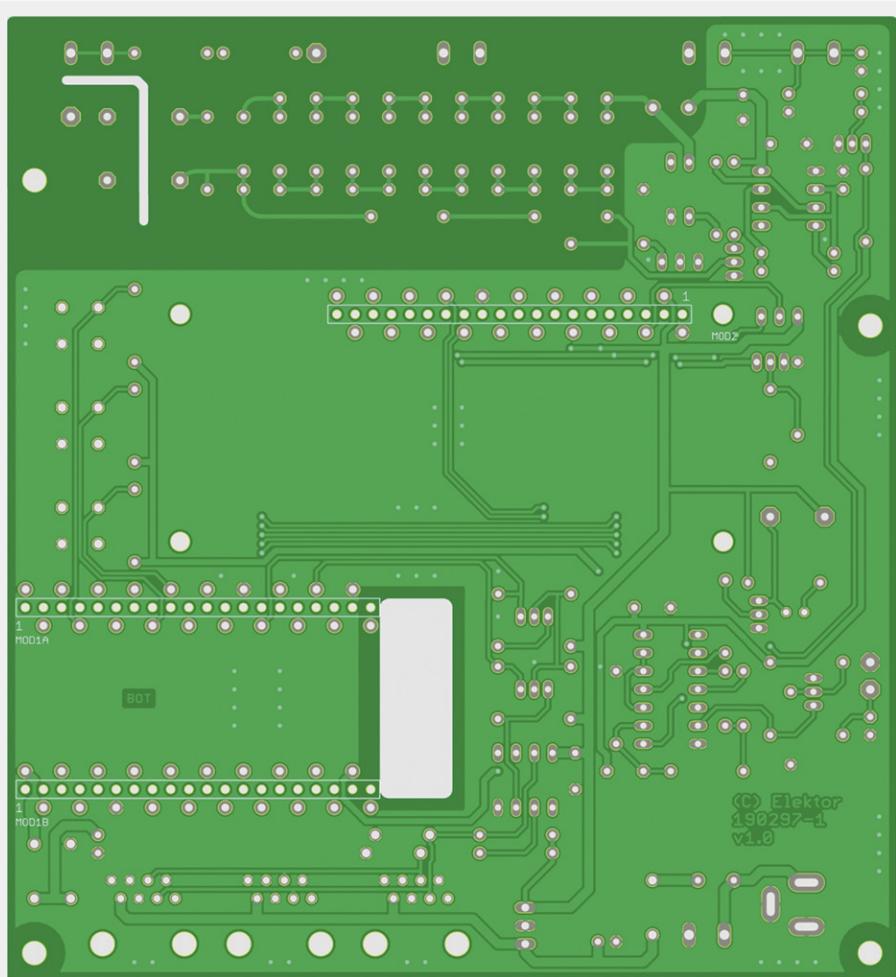


@ WWW.ELEKTOR.FR

→ Environmental Monitoring System, circuit imprimé
www.elektor.fr/190297-1

→ Environmental Monitoring System, kit
www.elektor.fr/190297-1

→ Environmental Monitoring System, coffret prépercé
www.elektor.fr/190297-72



MOD1A, MOD1B, MOD2 = support à 20 broches, pas 2,54 mm, entrée par en-dessous
(par ex. Würth Elektronik 613 020 157 21)
S1, S2, S3 = poussoir
(par ex. C&K D6R10LFS)
SENSOR1-SENSOR3 = socle RJ45
(par ex. Molex 85503-5001)

afficheur alphanumérique LCD 2x16, I²C,
Raystar Optronics RC1602B5-LLH-JWV
devkitC ESP32 avec connecteur
porte-fusible 2× 5 mm à pince pour tube
G-M

(*) cf. l'article

rience est assez... choquante ! Si les tensions d'alimentation sont correctes, coupez l'alimentation et installez IC2, IC3, l'afficheur LCD et le module ESP32. Vous pouvez maintenant également raccorder le tube G-M (vérifiez la polarité).

Remettez le circuit sous tension et connectez-le avec un câble USB à un ordinateur sur lequel l'EDI Arduino est installé (nous avons utilisé la version 1.8.9). Compilez le croquis et téléchargez le code dans le module ESP32. Vous pouvez également télécharger les fichiers binaires directement sur l'ESP32. Le potentiomètre de contraste P2 permet d'améliorer la lisibilité du module LCD. Utilisez les poussoirs *Up* et *Down* pour sélectionner un tube (pour l'instant tube G-M 1 ou tube G-M 2), appuyez sur *Select* pour afficher alternativement les valeurs $\mu\text{Sv}/\text{h}$ et CPM. Vous pouvez également activer ou désactiver le transducteur sonore et la LED, initialiser une alarme de rayonnement, afficher la date et l'heure fournies par un serveur NTP et sélectionner un fuseau horaire. Vous pouvez enfin connecter votre station de surveillance à une plate-forme IoT et devriez maintenant pouvoir vous y connecter par le port série.

Deux tubes

Deux tubes G-M peuvent être montés ensemble s'ils peuvent fonctionner sous la même tension. Si vous connectez un tube par un câble, prenez un câble à double blindage aussi court que possible et connectez la résistance d'anode directement au tube G-M. Attention à la haute tension sur le câble, ça mord ces bestioles ! Une précaution supplémentaire consiste à mettre deux résistances en série avec le câble, une sur le circuit imprimé et l'autre connectée au tube G-M. ▶

190297-0 VF

Réglez l'adresse I²C de l'écran LCD avec un point de soudure sur les pastilles 1 et 2 des cavaliers SJ1 et SJ2. Si votre afficheur LCD (comme celui de la nomenclature de ce projet) délivre une tension de contraste négative (V_{EE}) sur sa broche 15, laissez ouvert le cavalier SJ3 mais court-circuez 1 & 2 sur SJ4.

Tests

Réglez le curseur de P1 à mi-course et branchez une alimentation de 9 à 20 V_{cc} sur K1 ou K2. Assurez-vous d'utiliser une alimentation appropriée, car le courant consommé atteint environ 500 mA (lorsqu'il est alimenté à partir de 9 V_{cc}) au

démarrage. Vérifiez la tension de 5 V. Mesurez la tension sur C19 et tournez P1 pour obtenir une valeur adaptée à votre tube G-M (400 V pour un SBM-20). Soyez très prudent en faisant cela ; la haute tension ne vous tuera pas, mais l'expé-

Liens

- [1] Atomsphère, atmosphère, est-ce que j'ai une gueule d'atomsphère ? bionerd 23 @ EHSM - v4 : www.youtube.com/watch?v=6Z5mRpFdT5I
- [2] Gerbes atmosphériques: www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CosmicRay>Showers.html
- [3] Articles ménagers radioactifs : www.youtube.com/watch?v=XTivoTiTTsu
- [4] Tubes Geiger-Müller (G-M) : www.orau.org/ptp/collection/GMs/GMs.htm