

# Capteur de radiation avec tube Geiger



## PROJ1 - Projet analogique

30 décembre 2025

### Auteurs :

Mattéo BINET

Quentin MARIE



# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 Principe de la détection de radiation</b>	<b>1</b>
1.1 Rôle d'un tube Geiger . . . . .	1
1.2 Caractéristiques du tube J315 . . . . .	2
<b>2 Étude et conception du circuit</b>	<b>4</b>
2.1 Architecture du module CAJOE . . . . .	4
2.2 Fonctionnement et utilisation de la carte CMS . . . . .	5
2.2.1 Sécurité et Protection . . . . .	5
2.2.2 Comparatif : Module CAJOE vs Carte CMS . . . . .	5
2.2.3 Procédure de réglage . . . . .	6
2.3 Utilisation . . . . .	7
<b>3 Étude et conception du circuit</b>	<b>8</b>
3.1 Module d'Alimentation . . . . .	8
3.2 Boost DC-DC . . . . .	9
3.3 Tripleur de tension . . . . .	11
3.4 DéTECTEUR d'impulsion . . . . .	14
<b>4 Conclusion</b>	<b>15</b>
<b>Annexe</b>	<b>16</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>22</b>



## Introduction

La détection des rayonnements ionisants est un enjeu majeur dans de nombreux domaines, allant de la surveillance environnementale à la sécurité nucléaire, en passant par la physique médicale. Dans le cadre de ce projet, nous nous sommes attachés à l'étude, la conception et la réalisation d'un capteur de radiation (compteur Geiger-Müller) fonctionnel et compact.

Pour la conception électronique. Nous avons choisi d'analyser et d'adapter l'architecture du kit CAJOE en cms. L'enjeu technique a consisté à comprendre les différents blocs de ce système, notamment la gestion de la Haute Tension nécessaire au tube pour ensuite proposer notre propre implémentation.

Le travail a été réalisé sous le logiciel de CAO KiCad. Il a fallu saisir le schéma électrique, choisir des composants adaptés et réaliser le routage de la carte en respectant les contraintes de place et de routage.

Ce compte rendu détaille notre démarche : il présente d'abord le principe physique du tube Geiger J315, puis l'analyse du schéma électrique inspiré du module CAJOE, et enfin la description technique des différents étages de la carte réalisée.

## 1 Principe de la détection de radiation

### 1.1 Rôle d'un tube Geiger

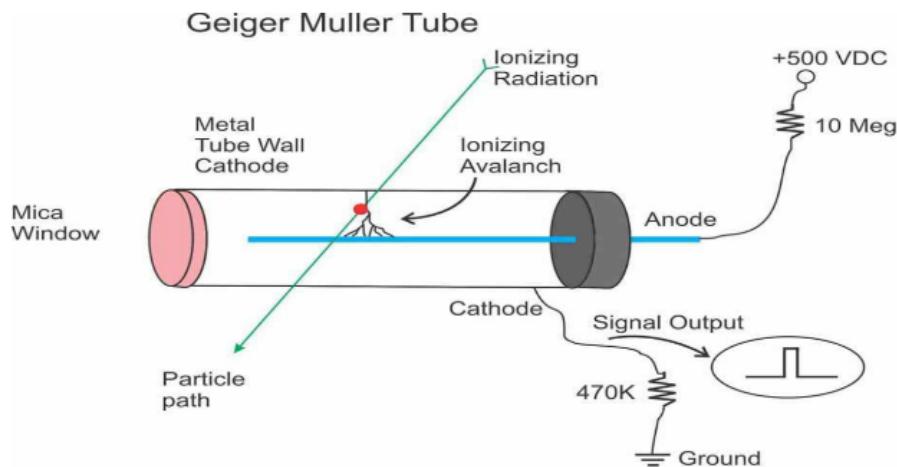


FIGURE 1 – Schématique de principe et fonctionnement du tube Geiger-Müller

Le capteur de radiation utilise un tube Geiger-Müller. Ce tube est une ampoule scellée qui contient un gaz inerte à basse pression (typiquement un gaz noble comme du néon, de l'argon ou de l'hélium). Sa structure se compose d'une cathode (pôle négatif), généralement l'enveloppe du tube (verre), et d'une anode (pôle positif), constituée d'un fil métallique fin tendu au centre.

Le principe de fonctionnement repose sur l'ionisation par choc du gaz interne. Afin que la détection soit possible, le tube doit être alimenté par un fort potentiel (typiquement entre 300V et 400V). Les particules radioactives n'ayant pas toujours l'énergie suffisante pour ioniser le gaz par elles-mêmes, cette haute tension est nécessaire pour amener le gaz proche de son point de décharge.

Lorsqu'une particule chargée (rayonnement ionisant) traverse le tube, elle déclenche l'événement en arrachant des électrons aux atomes du gaz. Ces électrons sont fortement accélérés vers l'anode par le champ électrique intense. Sur leur chemin, leur vitesse leur permet d'entrer en collision avec d'autres atomes, les ionisant à leur tour et arrachant de nouveaux électrons. Ce phénomène se répète en cascade, créant une avalanche électronique massive et rapide. L'arrivée de cette vague d'électrons sur l'anode provoque une chute momentanée du potentiel. Cette variation est détectée sous la forme d'une impulsion électrique, qui est ensuite comptabilisée par l'électronique de la carte.

## 1.2 Caractéristiques du tube J315

Les spécifications suivantes pour le tube Geiger J315 sont extraites du référentiel GitHub du fabricant de la carte et d'un vendeur Aliexpress [1], aucune fiche technique officielle du fournisseur n'ayant été trouvée.



FIGURE 2 – Tube Geiger J315

TABLE 1 – Caractéristiques Techniques Détaillées du Tube Geiger J315

Paramètre	Valeur	Unité
<b>Construction et Dimensions</b>		
Type de Tube	Tube halogène à impulsion	–
Matériau de la Cathode	Oxyde d'étain	–
Densité de la Paroi du Tube	$50 \pm 10$	cg/cm <sup>2</sup>
Longueur Totale	$90 \pm 2$	mm
Diamètre	$10 \pm 0.5$	mm
Masse	4.5	g
<b>Performances et Environnement</b>		
Plage de Température	-40 à 55	°C
Tension de Démarrage ( $V_{b1}$ )	< 350	V
Tension de Travail Recommandée	380	V
Tension de Travail Maximale ( $V_{b2}$ )	550	V
Longueur Minimale du Plateau	80	V
Pente Maximale du Plateau	10	%/80V
Taux de Comptage de Fond Max.	25	fois/minute
Durée de Vie ( <i>Lifetime</i> )	$> 1 \times 10^9$	pulses

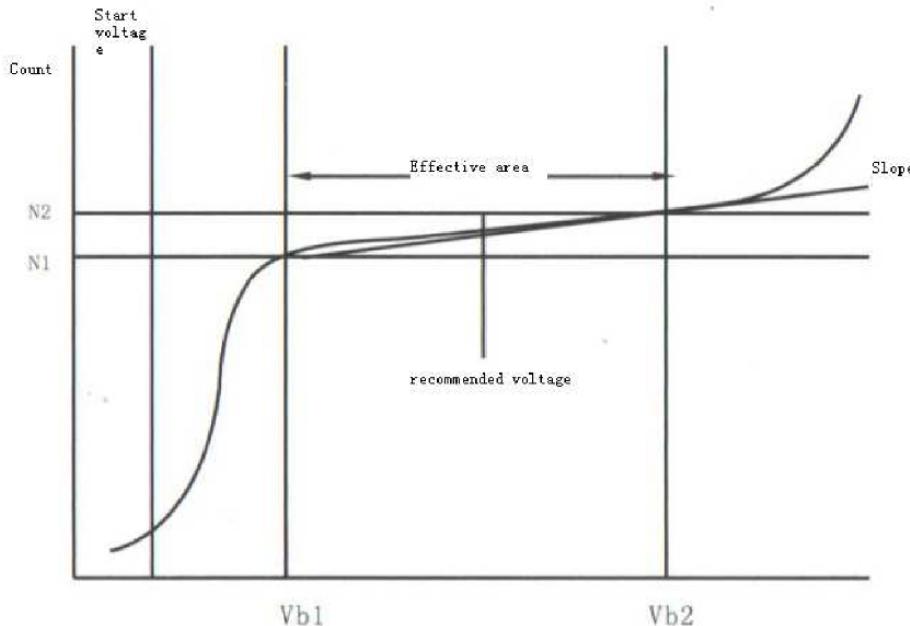


FIGURE 3 – Courbe Caractéristique du Plateau

Le graphique en Figure 2 permet de déterminer la tension de travail optimale et stable de notre tube Geiger. Il représente la relation entre le nombre d'impulsions détectées (axe vertical) et la tension appliquée au tube (axe horizontal).

- **Tension de Démarrage ( $V_{b1}$ )** : Cette tension correspond à la tension minimale où le tube commence à détecter les rayonnements, initiant l'avalanche électronique. Avant cette tension, le champ électrique est insuffisant pour accélérer les électrons.
- **Le Plateau (*Effective Area*)** : Situé entre la tension  $V_{b1}$  et  $V_{b2}$ , il s'agit de la zone de fonctionnement idéale du tube. Dans cette région, l'impulsion détectée est maximale et ne dépend plus de l'énergie de la particule incidente. C'est dans cette plage stable que la tension d'alimentation doit être choisie (Tension de Travail Recommandée).
- **La Pente (*Slope*)** : Elle représente la stabilité du tube. Une pente faible indique que le taux de détection est peu sensible aux variations de la tension d'alimentation.
- **Tension Maximale de Travail ( $V_{b2}$ )** : Cette tension marque la limite supérieure du plateau. Au-delà de  $V_{b2}$ , le champ électrique est trop intense et le tube entre en décharge continue car le gaz s'ionise spontanément. Le fonctionnement dans cette zone peut dégrader le tube de manière permanente.

## 2 Étude et conception du circuit

### 2.1 Architecture du module CAJOE

Le module CAJOE [2] est une plateforme de détection de radiation. Nous l'avons choisi comme référence car il propose une solution robuste et entièrement analogique pour piloter des tubes Geiger-Müller, sans nécessiter de microcontrôleur complexe pour la gestion de la haute tension.

Son architecture s'articule autour de trois blocs fonctionnels distincts, que nous avons reproduits dans notre conception :



FIGURE 4 – Carte électronique du détecteur CAJOE

- **La génération de Haute Tension (HV)** : Le tube J315 nécessite une tension de polarisation d'environ 400V pour fonctionner dans sa zone de plateau. Le module CAJOE utilise une topologie de convertisseur Boost (élévateur de tension) pilotée par un oscillateur composé d'un NE555. Ce premier étage élève la tension de 5V à une centaine de volts. Cette tension est ensuite amplifiée par un réseau tripleur de tension (pompe de charge) pour atteindre la tension finale requise. La tension de sortie est réglable via le potentiomètre  $RV_1$  de  $100\Omega$ . Il permet d'ajuster la haute tension sur une plage comprise entre 350V et 450V, assurant ainsi le point de fonctionnement optimal du tube.
- **L'interface de détection** : Le tube Geiger est un capteur à très haute impédance. Lorsqu'une particule ionise le gaz, une impulsion de courant très faible et brève est générée. L'architecture utilise un étage d'entrée à transistor pour détecter cette variation de potentiel sur la cathode sans perturber la haute tension.
- **La mise en forme du signal** : Le signal brut issu du tube est souvent bruité et trop court pour être exploité directement par un indicateur visuel. Un étage de sortie, configuré en monostable via un second NE555, permet de calibrer l'impulsion de sortie. Cela garantit un signal carré propre (TTL) d'une durée suffisante pour qu'une LED rouge (témoin lumineux) soit visible par l'œil humain.

## 2.2 Fonctionnement et utilisation de la carte CMS

Cette version du capteur se distingue des modules CAJOE classiques par une conception modernisée et simplifiée.

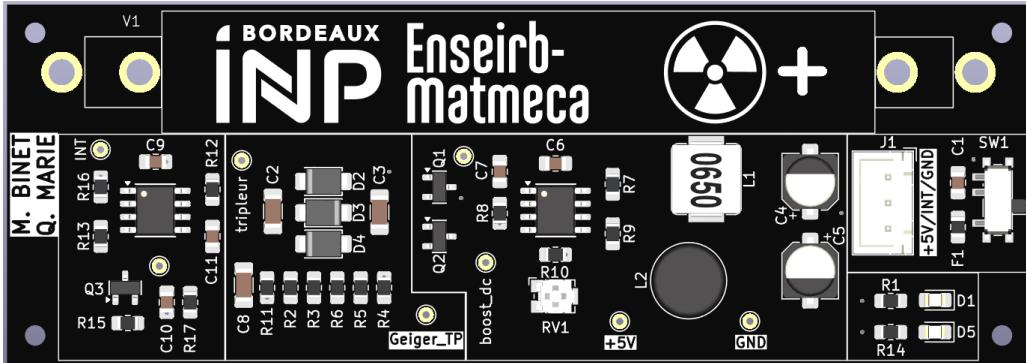


FIGURE 5 – Modèle 3D - Carte électronique CMS



FIGURE 6 – Carte électronique CMS

### 2.2.1 Sécurité et Protection

Un ajout majeur par rapport au design d'origine est l'intégration d'un étage de protection en entrée. Un fusible  $F_1$  a été placé en série sur la ligne d'alimentation 5V. Il est calibré à 750mA. Ce dimensionnement est volontairement supérieur à la consommation nominale du circuit ( $\approx 40\text{mA}$ ) afin d'éviter tout déclenchement intempestif lors des pics de courant, tout en garantissant une protection efficace et une coupure du circuit en cas de court-circuit franc sur la carte.

### 2.2.2 Comparatif : Module CAJOE vs Carte CMS

Le tableau ci-dessous met en évidence les différences structurelles et fonctionnelles entre le module du commerce et notre réalisation.

TABLE 2 – Comparaison entre le module CAJOE standard et la carte CMS réalisée

Caractéristique	Module CAJOE (Réf)	Carte CMS (Projet)
Technologie	THT	CMS
Connectique	Bornier, DC, Dupont	JST XH 3 pins
Interface Audio	Jack 3.5mm + Haut-parleur	Ø
Protection	Ø	Fusible 750mA
Architecture	AOP LM358 + NE555	NE555 uniquement
Tension d'alimentation	+5V	+5V
Courant nominal d'alimentation	20-40mA	20-40mA
Poids avec tube	47.3g	19.0g
Longueur	108mm	100mm
Largeur	62,8mm	35mm
trou de fixation	M3	M2

### 2.2.3 Procédure de réglage

Le réglage de la haute tension est une étape critique qui doit être réalisée avant l'installation du tube.

- Préparation :** S'assurer que le tube Geiger J315 est **débranché** de son support.
- Alimentation :** Connecter l'alimentation (+5V et GND) au connecteur JST. Une LED verte (D1 : témoin d'alimentation) doit normalement s'allumer. Si ce n'est pas le cas, vérifier que le *kill switch* (SW1) est en position haute.

**Méthodes de calibration :** Il existe deux méthodes pour ajuster le potentiomètre  $RV_1$  afin d'atteindre la tension de plateau du tube (380V).

#### — Méthode 1 : Mesure directe

Cette méthode consiste à mesurer la tension réelle en sortie du multiplicateur.

- Placer le voltmètre (calibre 1000V DC) entre la masse (GND) et le point de test **tripleur**.
- Ajuster  $RV_1$  jusqu'à lire **380V**.
- *Attention :* S'assurer que le multimètre supporte cette tension élevée.

#### — Méthode 2 : Mesure indirecte

Cette méthode utilise le point de test **TP\_Geiger** (ou TP3) situé après un pont diviseur résistif de  $50M\Omega$  ( $5 \times 10M\Omega$ ). La lecture dépendra fortement de l'impédance d'entrée de votre multimètre (effet de charge) :

- Avec un multimètre standard (impédance **1 MΩ**) : Régler  $RV_1$  pour obtenir environ **6,5V**.
- Avec un multimètre haute impédance (impédance **10 MΩ**) : Régler  $RV_1$  pour obtenir environ **65V**.

Une fois le réglage effectué, couper l'alimentation avant d'insérer le tube J315.

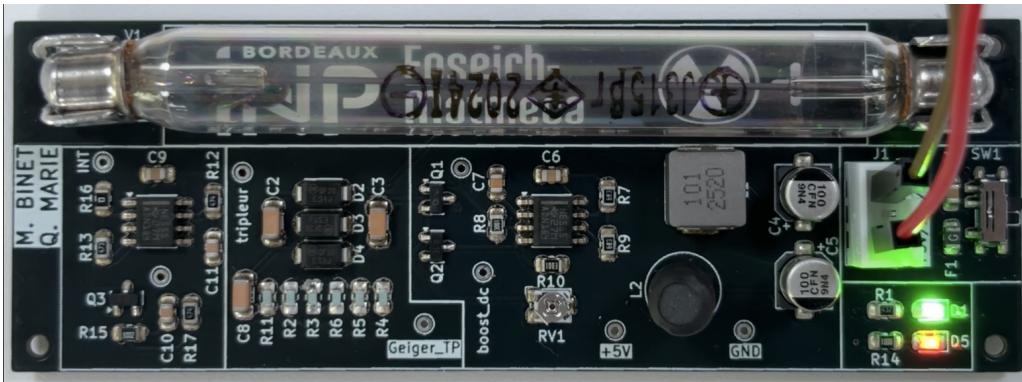


FIGURE 7 – Carte électronique en fonctionnement

### 2.3 Utilisation

Le capteur de radiation peut être exploité de deux manières. D'une part, les données peuvent être récupérées via une carte d'acquisition telle qu'une Arduino ou une ESP, en utilisant la broche INT disponible sur le connecteur JST. Cette sortie est maintenue à un niveau logique haut (environ 5 V) au repos et génère une impulsion à 0 V à chaque détection d'une particule par le tube Geiger J315. Le signal étant actif bas, il peut être lu efficacement à l'aide d'une interruption matérielle afin de compter précisément les événements détectés.

Un exemple de code utilisé pour compter le nombre d'impulsions détectées sur la dernière seconde (PPS – Pulses Per Second) à l'aide d'une carte Arduino Nano est présenté ci-dessous.

Listing 1 – Comptage des impulsions Geiger en PPS

```

1 #define GEIGER_PIN 2
2
3 volatile unsigned long pulseCount = 0;
4 unsigned long lastSecond = 0;
5 unsigned long pps = 0;
6
7 void geigerISR() {
8     pulseCount++;
9 }
10
11 void setup() {
12     Serial.begin(115200);
13     while (!Serial);
14
15     pinMode(GEIGER_PIN, INPUT_PULLUP);
16     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GEIGER_PIN), geigerISR,
17                      FALLING);
18
19     lastSecond = millis();
20 }
21
22 void loop() {

```

```

23   if (millis() - lastSecond >= 1000) {
24
25     noInterrupts();
26     pps = pulseCount;
27     pulseCount = 0;
28     interrupts();
29
30     Serial.print("PPS = ");
31     Serial.println(pps);
32
33     lastSecond += 1000;
34   }
35 }
```

D'autre part, la carte intègre une LED rouge (D5) permettant de visualiser les détections de manière immédiate. Chaque événement déclenche une impulsion lumineuse, facilitant la vérification du bon fonctionnement du capteur. Toutefois, cette LED est pilotée par un NE555 configuré en monostable, ce qui impose une durée d'allumage fixe. Ainsi, le nombre d'impulsions lumineuses observées n'est pas représentatif du nombre réel d'impulsions générées par le tube Geiger et ne doit être utilisé qu'à titre indicatif.

### 3 Étude et conception du circuit

#### 3.1 Module d'Alimentation

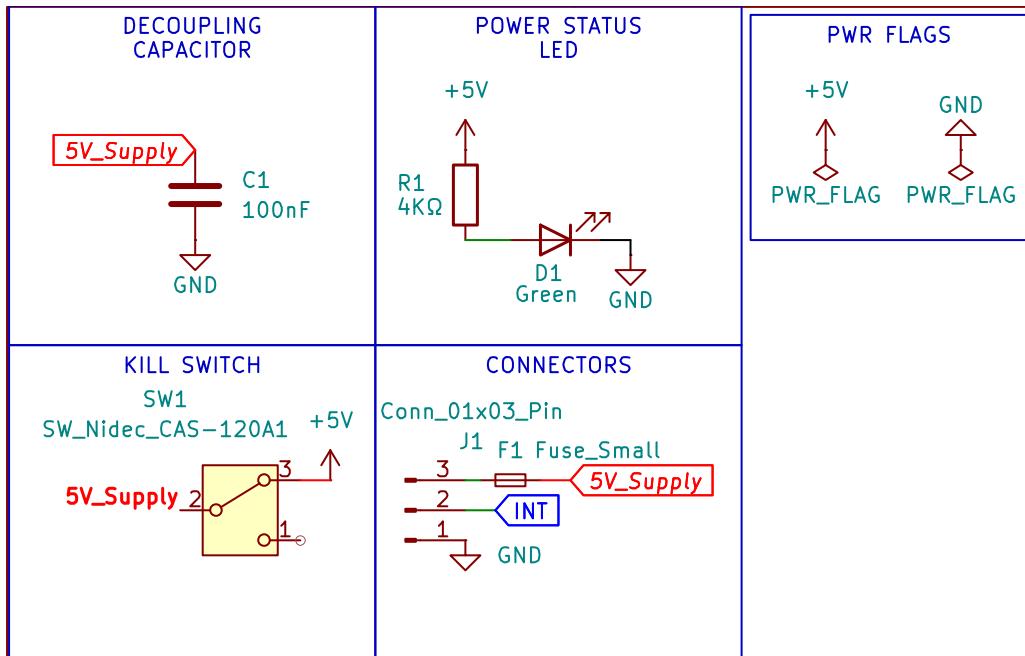


FIGURE 8 – Schématique du module d'alimentation

Dans le cadre de notre montage, nous utilisons un connecteur JST XH à trois broches : une pour la masse (GND), une pour la sortie des impulsions générées par le tube Geiger, et une pour l'alimentation +5V. Pour protéger le circuit, un fusible est placé en série

sur la ligne 5V afin d'interrompre l'alimentation en cas de surintensité. À proximité de l'entrée d'alimentation, nous avons intégré une capacité de découplage de 100nF dont le rôle est de filtrer les parasites hautes fréquences et de stabiliser la tension d'entrée.

Afin de confirmer visuellement la mise sous tension, une LED verte témoin s'allume dès que la carte est alimentée. Enfin, un interrupteur bipolaire permet de couper physiquement l'alimentation de l'ensemble du système pour garantir une mise hors tension complète.

### 3.2 Boost DC-DC

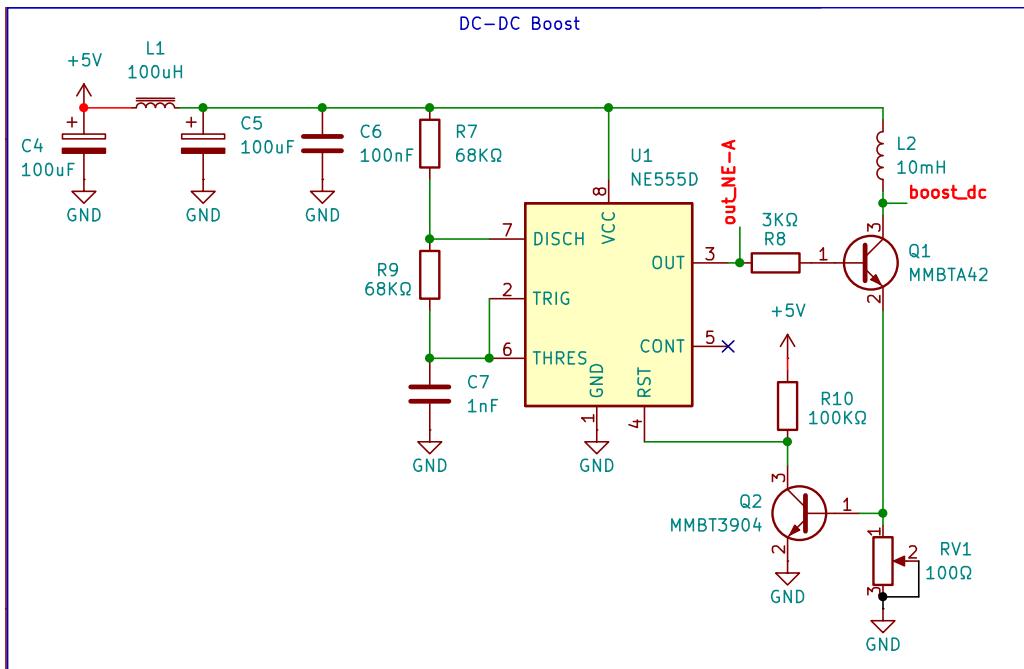


FIGURE 9 – Schématique du boost DC-DC

À la suite du module d'alimentation, un convertisseur Boost DC-DC permet d'élever la tension de 5V vers une tension de plusieurs centaines de volts, nécessaire au fonctionnement du tube Geiger. Le cœur de ce circuit repose sur un circuit intégré NE555 [3] configuré en mode astable. Le NE555 génère un signal oscillant entre deux phases : une phase d'accumulation d'énergie et une phase de transfert. La fréquence d'oscillation  $f$  est déterminée par les résistances  $R_7, R_9$  et le condensateur  $C_7$  selon la formule suivante :

$$f = \frac{1.44}{(R_7 + 2R_9)C_7} = 7059\text{Hz} \quad (1)$$

La durée de la phase d'accumulation, correspondant à l'état haut du signal ( $T_h$ ), se calcule ainsi :

$$T_h = 0.693(R_7 + R_9)C_7 = 94\mu\text{s} \quad (2)$$

Le temps de transfert, correspondant à l'état bas ( $T_b$ ), est donné par :

$$T_l = 0.693R_9C_7 = 47\mu\text{s} \quad (3)$$

Le découpage de la tension s'effectue par l'interaction entre l'inductance  $L_7$  et le transistor de puissance  $Q_1$  [4]. Lorsque le signal de sortie du NE555 est à l'état haut, le

transistor  $Q_1$  devient passant. Le courant traverse alors l'inductance  $L_2$  (10mH), stockant l'énergie sous forme de champ magnétique. Lorsque  $Q_1$  se bloque brutalement, l'inductance s'oppose à l'interruption du courant et génère une forte pointe de tension (surtension inductive) au nœud boost\_dc.

Afin d'éviter que le bruit généré par ce découpage ne perturbe le reste du circuit, un filtre en entrée est réalisé par les condensateurs  $C_4, C_5, C_6$  et l'inductance  $L_1$ . Enfin, la stabilisation et l'ajustement de la tension de sortie sont assurés par le transistor  $Q_2$  [5] et le potentiomètre RV1. Ce dernier permet de régler précisément le point de fonctionnement pour caler la haute tension sur la valeur recommandée du tube Geiger.

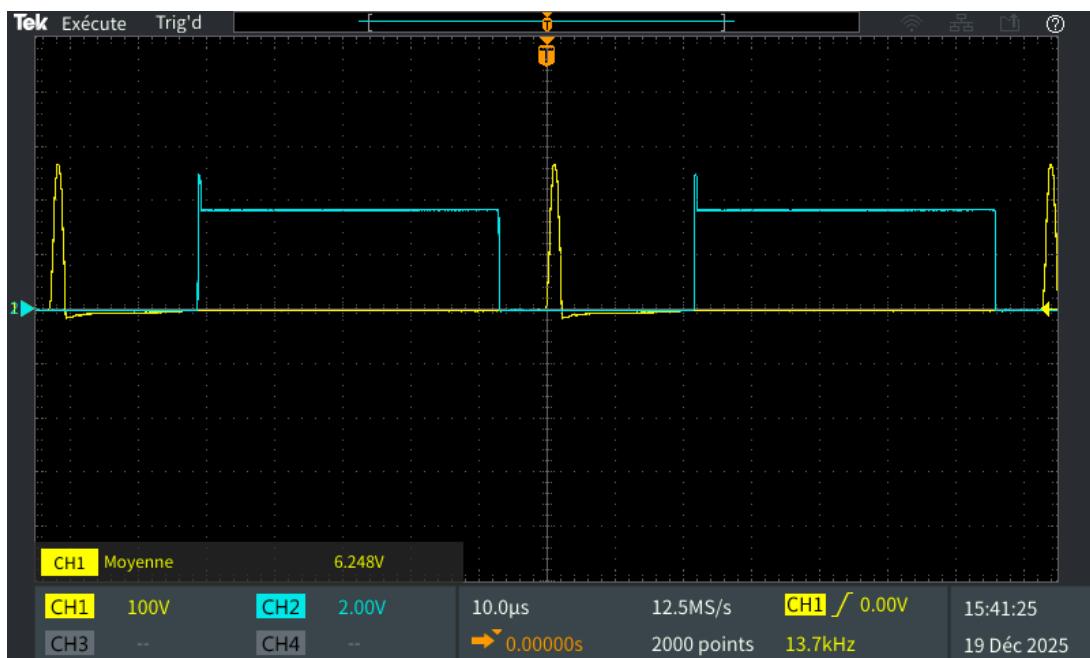


FIGURE 10 – CH1 :  $V_{boostDC}$  et CH2 :  $V_{outNE-A}$  :

En plaçant une sonde d'oscilloscope au nœud boost\_dc, on observe des pics de tension d'une amplitude d'environ 280 V. Ces pics correspondent à la surtension inductive générée par l'inductance  $L_2$  lors du blocage du transistor  $Q_1$ . Cette valeur confirme le bon fonctionnement de l'étage élévateur, fournissant une base de tension suffisante pour être ensuite traitée par le tripleur de tension.

### 3.3 Tripleur de tension

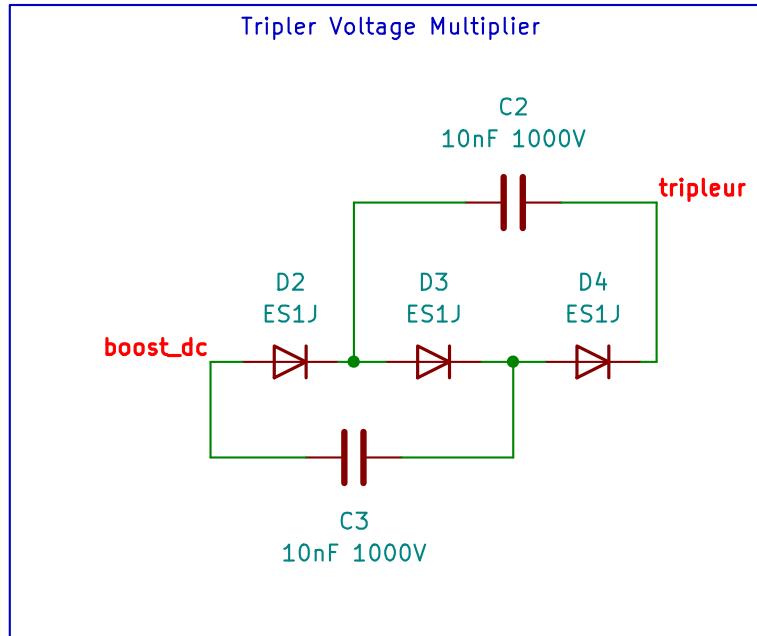


FIGURE 11 – Schématique du tripleur de tension

Pour éléver la tension de sortie du NE555 jusqu’aux valeurs requises par le tube, nous utilisons un tripleur de tension. Ce montage permet de transformer les impulsions de tension (pics inductifs) générées par le bloc *Boost* en une tension continue stabilisée et nettement plus élevée.

Le circuit adopte une structure de type Cockcroft-Walton, constituée des éléments suivants :

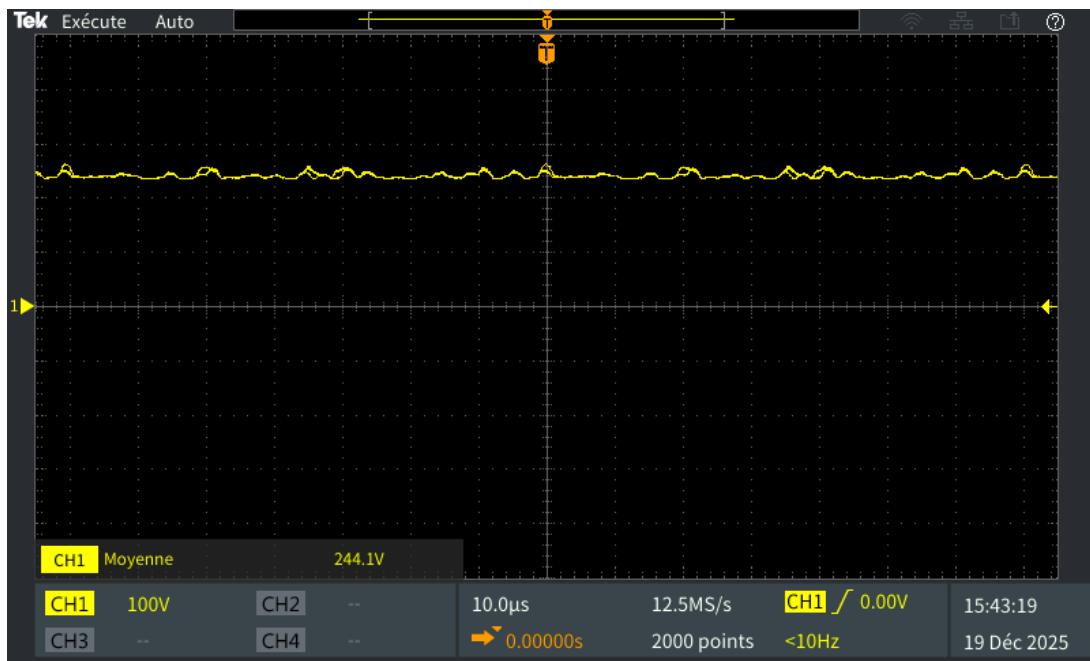
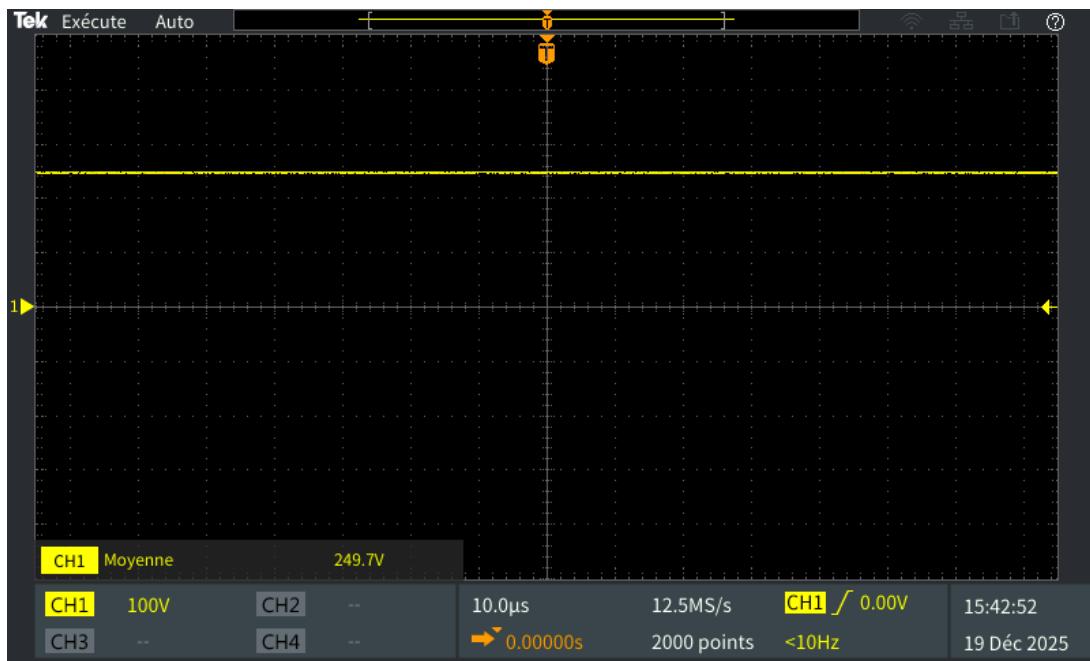
- Condensateurs :  $C_2$  et  $C_3$  [6] d’une capacité de 10 nF.
- Diodes : Trois diodes haute tension de référence ES1J [7].

À chaque cycle d’oscillation du NE555, l’énergie des pics inductifs est transférée d’un condensateur à l’autre par un effet de pompe de charge. Les diodes agissent comme des clapets anti-retour, empêchant la décharge des condensateurs vers l’amont et permettant l’addition de leurs tensions respectives.

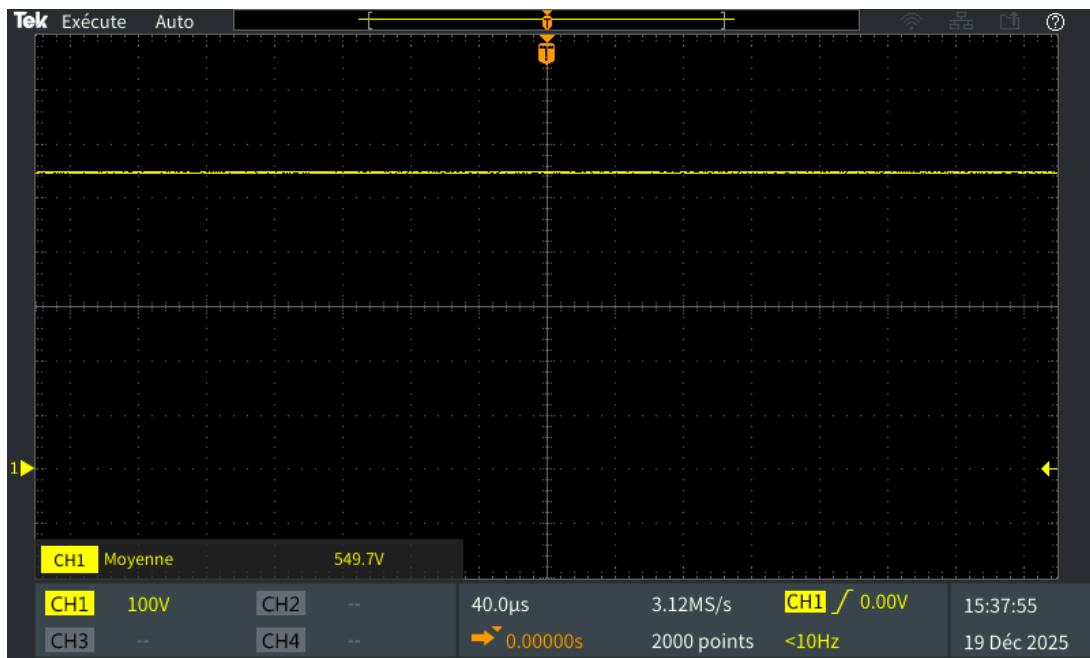
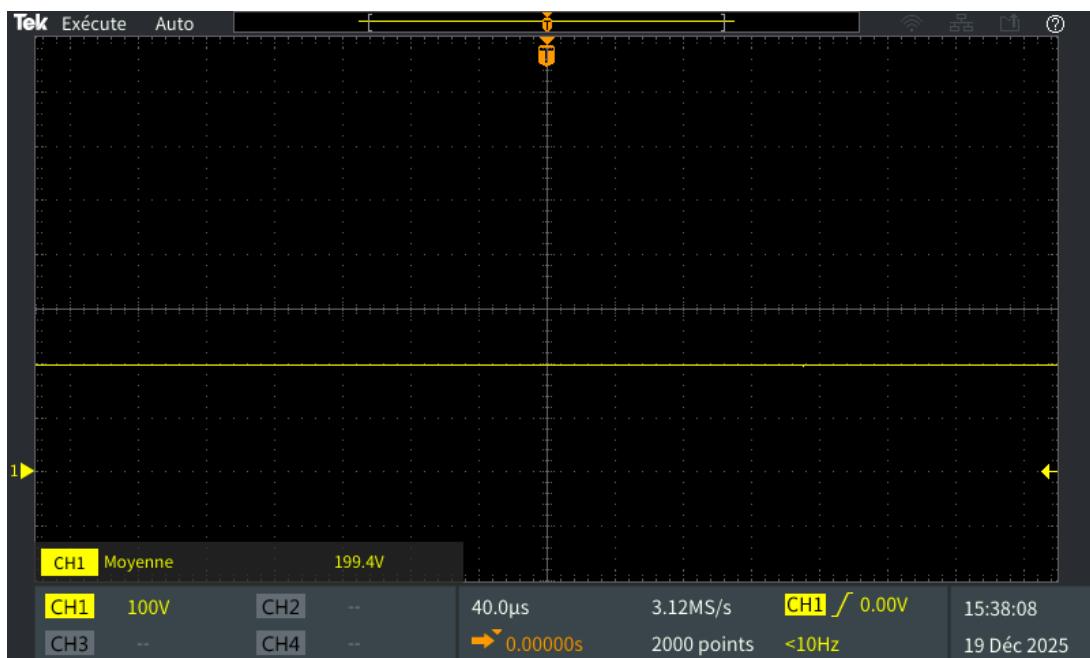
En sortie, on obtient ainsi une tension théoriquement trois fois supérieure à la tension de crête d’entrée. Ces condensateurs haute tension assurent également le lissage de la tension continue afin d’éliminer les ondulations résiduelles (*ripple*), évitant ainsi les fausses détections ou le bruit de fond au niveau du tube.

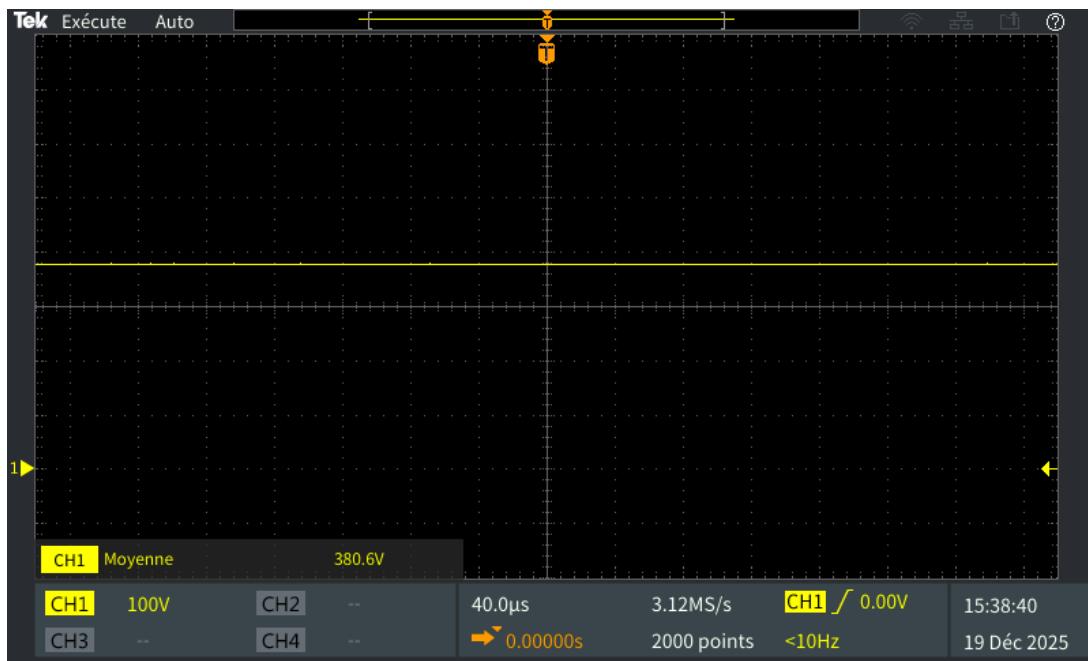
Dans des conditions idéales, sans courant de sortie, la tension continue  $V_{\text{out}}$  est un multiple direct de la tension de crête d’entrée  $V_{\text{pk}}$ . Pour un montage à  $n$  étages (ici  $n = 3$ ), la relation s’écrit :

$$V_{\text{out}} = n \cdot V_{\text{pk}} \quad (4)$$

FIGURE 12 – Tension en sortie de  $D_2$ FIGURE 13 – Tension en sortie de  $D_3$ 

En plaçant une sonde après les diodes  $D_2$  et  $D_3$ , on observe une augmentation progressive de la tension continue. Ce phénomène confirme le rôle de pompe de charge de l'étage multiplicateur : chaque étage redresse et accumule l'énergie des pics inductifs, élevant ainsi la tension par paliers successifs.

FIGURE 14 – Tension maximum en sortie de  $D_4$ FIGURE 15 – Tension minimum en sortie de  $D_4$

FIGURE 16 – Tension réglée en sortie de  $D_4$ 

En agissant sur le potentiomètre de réglage, on observe une plage de variation de la tension de sortie s'étendant d'un minimum de 200 V à un maximum de 550 V. Ce réglage permet de stabiliser la tension à 380 V, valeur idéale correspondant au centre du plateau du tube Geiger.

### 3.4 DéTECTEUR d'impulsion

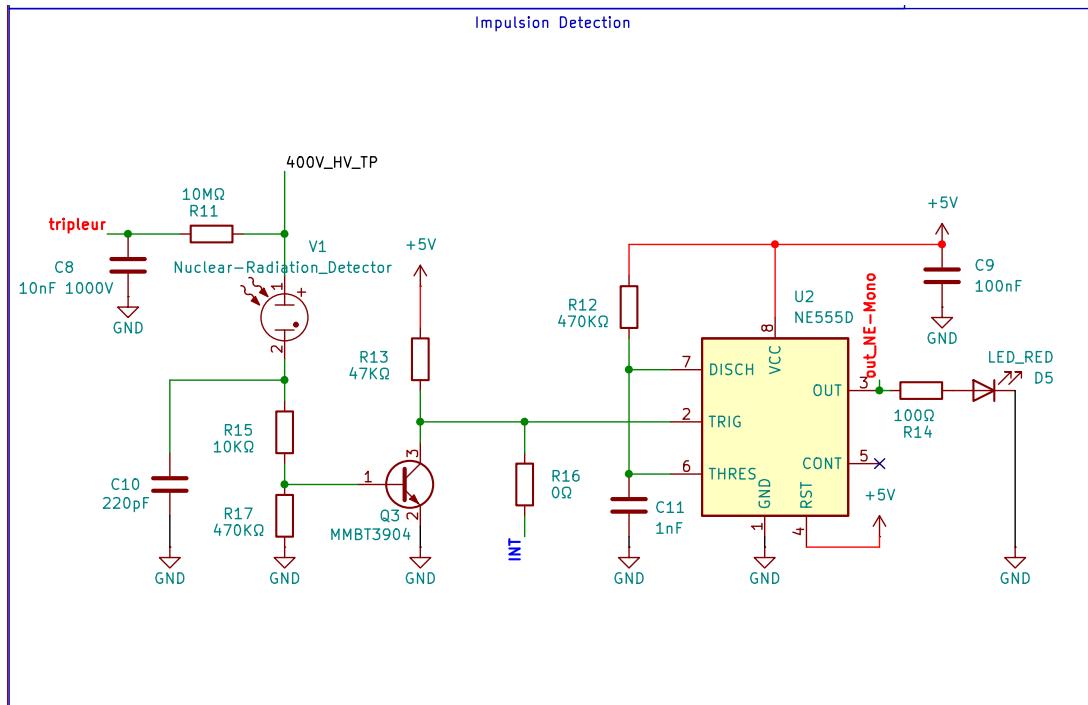


FIGURE 17 – Schématique du détecteur d'impulsion

Le dernier bloc de notre circuit assure la détection des impulsions. En sortie du tube Geiger, le condensateur  $C_{10}$  bloque la composante continue de haute tension tout en laissant passer la variation rapide créée par l'avalanche électronique.

Le signal sortant du tube, caractérisé par un faible courant, arrive sur la base du transistor  $Q_3$ , le rendant passant durant un très court instant. La sortie INT reliée au connecteur XH passe donc à la masse pendant ce court instant. Dans le même temps, la broche *Trigger* du NE555 est alors reliée à la masse, ce qui déclenche le cycle de chronométrage du circuit.

Le NE555 (U2), configuré en mode monostable, transforme ce signal brut très rapide en une impulsion carrée. La durée de cette impulsion est définie par l'équation suivante :

$$T_w = 1.1 \cdot R_{12}C_{11} = 517\mu s \quad (5)$$

La sortie du NE555 est reliée à une LED qui la fait clignoter à chaque impulsion détectée pour offrir un retour visuel à l'utilisateur.

En sortie du circuit, le clignotement de la LED à chaque détection confirme que le système fonctionne correctement. À l'oscilloscope, on visualise des impulsions propres dont la tension varie entre 0V et une valeur inférieure à 5V. Ces signaux bien calibrés prouvent que le circuit réussit à transformer les décharges du tube en impulsions numériques utilisables par un microcontrôleur.

## 4 Conclusion

Ce projet a permis de concrétiser l'étude et la réalisation d'un compteur Geiger-Müller compact, optimisé pour la détection des rayonnements  $\beta$  et  $\gamma$  via le tube J315. En faisant évoluer l'architecture analogique du module CAJOE vers un design CMS modernisé, nous avons pu intégrer des fonctions de protection indispensables, comme le fusible de 750mA, tout en réduisant considérablement l'encombrement de la carte. Les mesures expérimentales ont validé la fiabilité de chaque étage, notamment la stabilité de la haute tension à 380V et la qualité des impulsions numériques générées lors des détections.

Dans une démarche de transparence et de reproductibilité, l'intégralité de la conception réalisée sous KiCad est disponible sur le dépôt GitHub du projet [8]. Pour faciliter la maintenance ou la fabrication de nouvelles unités, la nomenclature exacte des composants est également accessible via une liste dédiée sur DigiKey [9]. Ce dispositif constitue ainsi une base solide et documentée pour toute future application de surveillance radiologique.

## Annexe

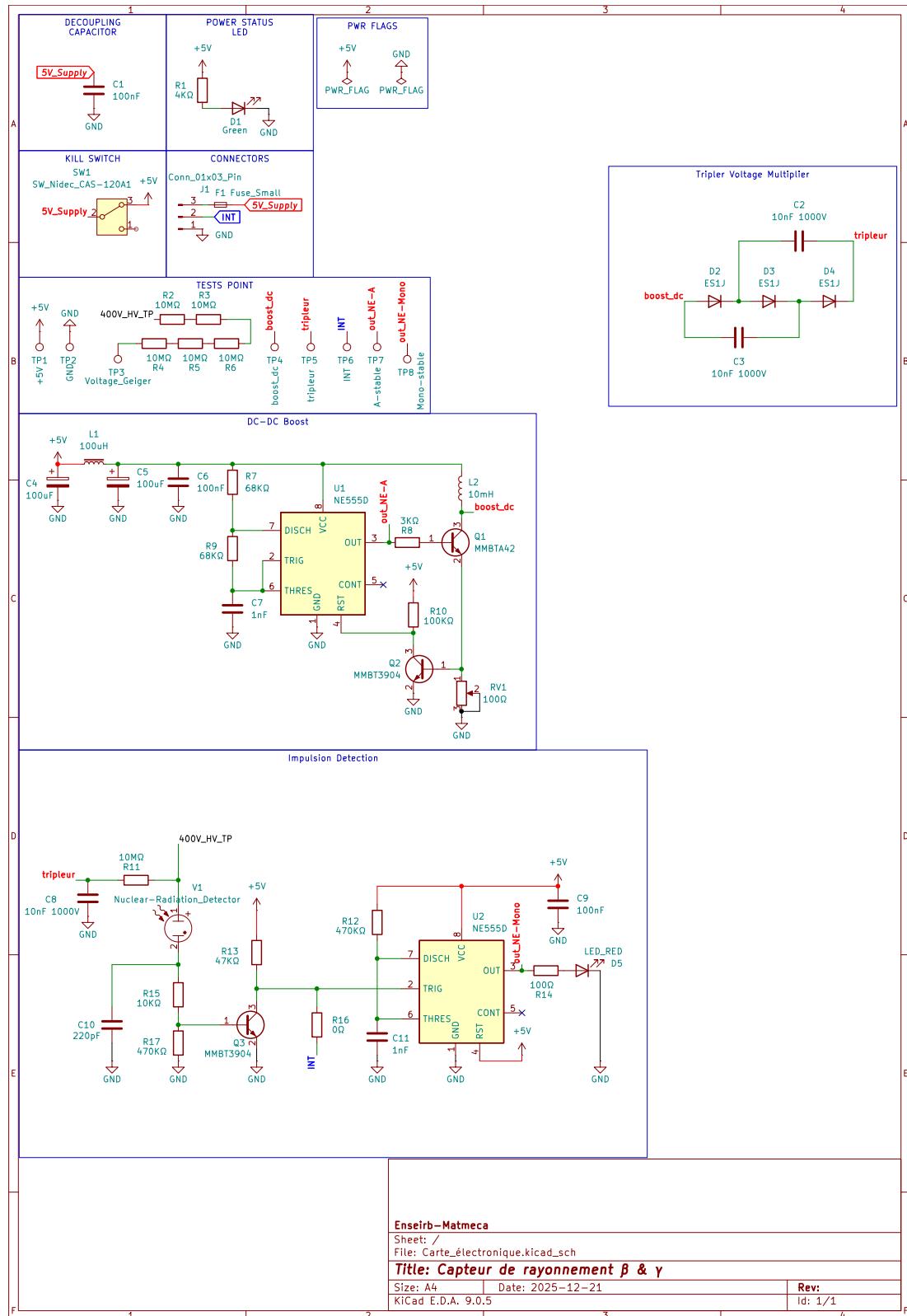


FIGURE 18 – Schématique du Circuit

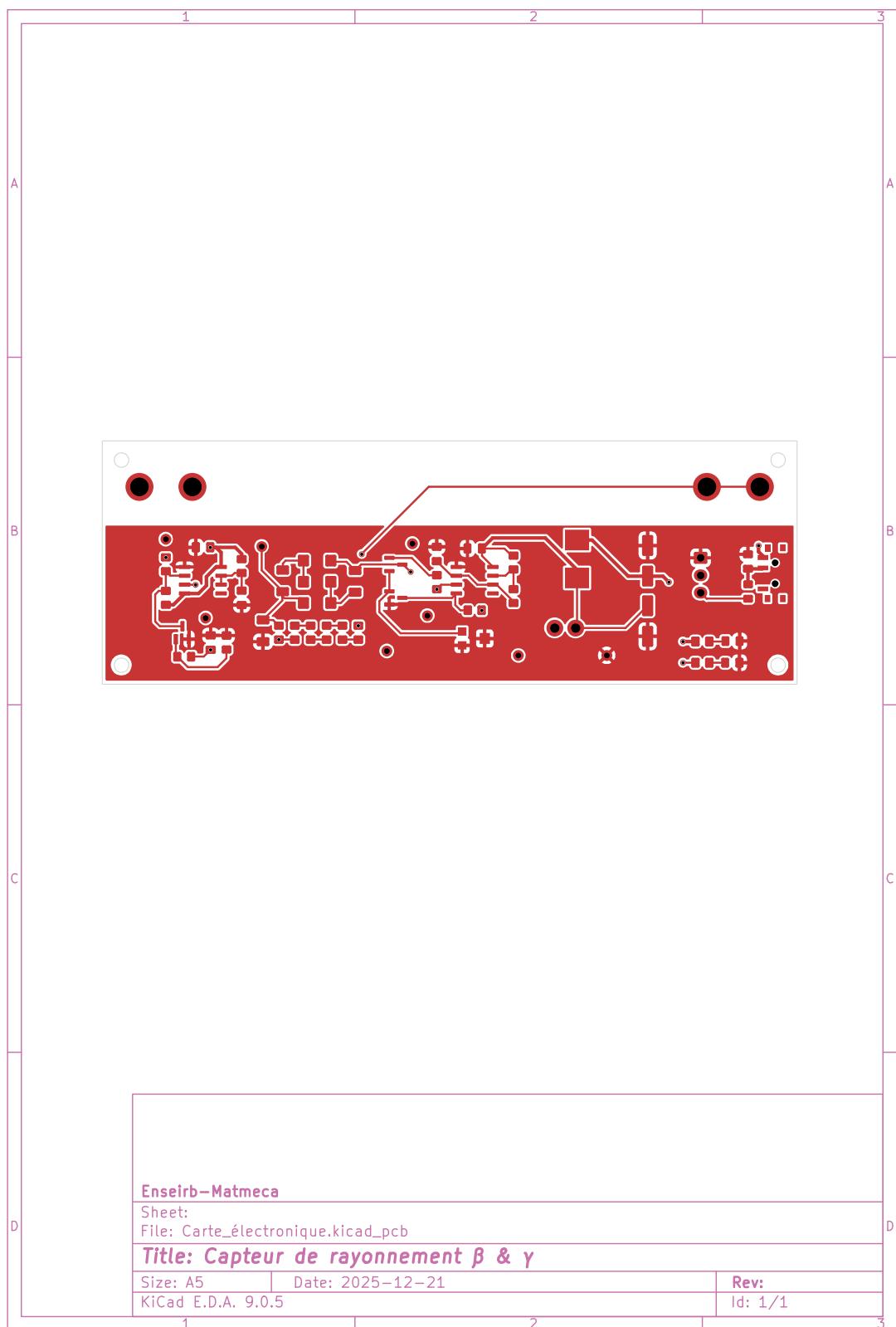


FIGURE 19 – PCB Top Copper

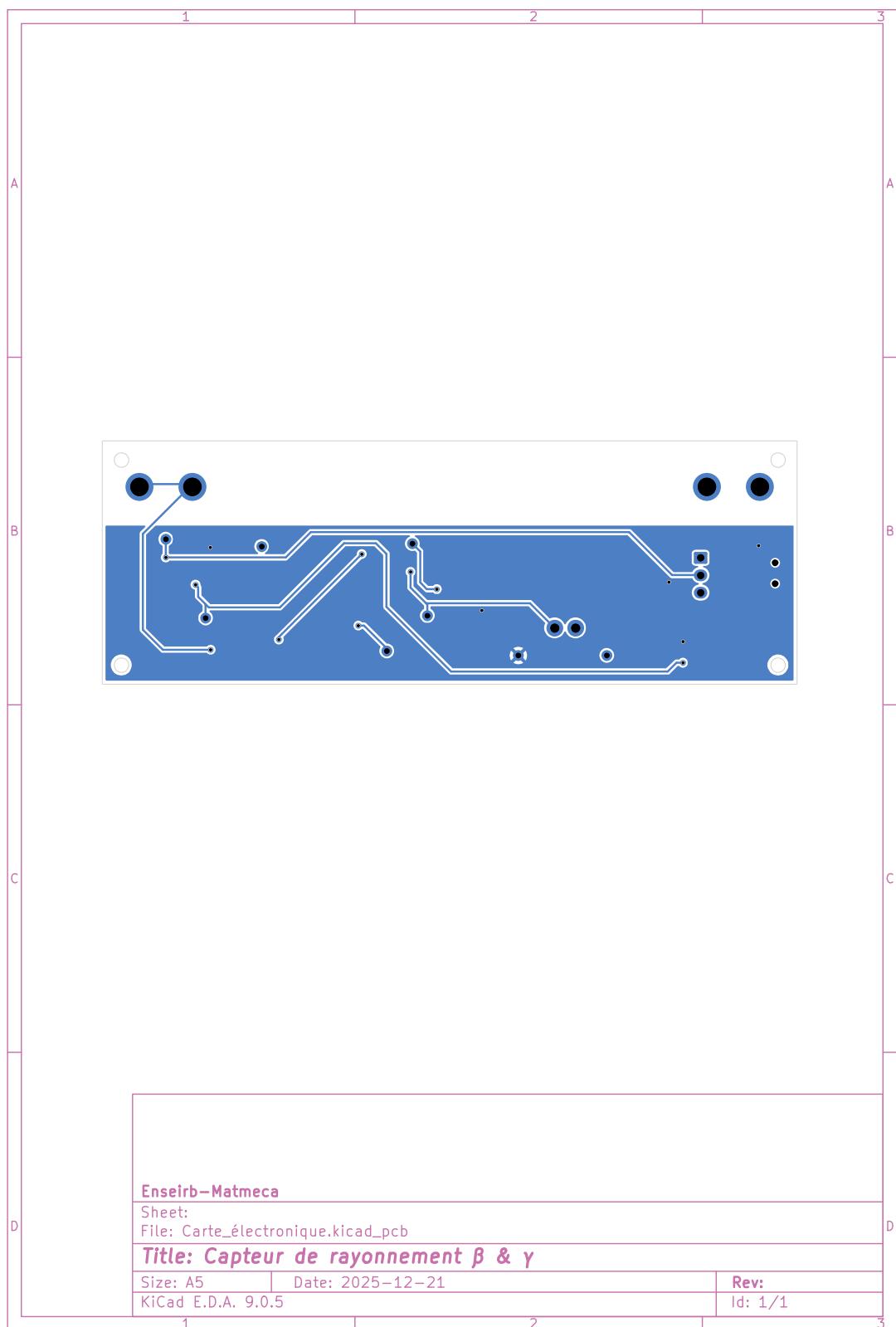


FIGURE 20 – PCB Bottom Copper

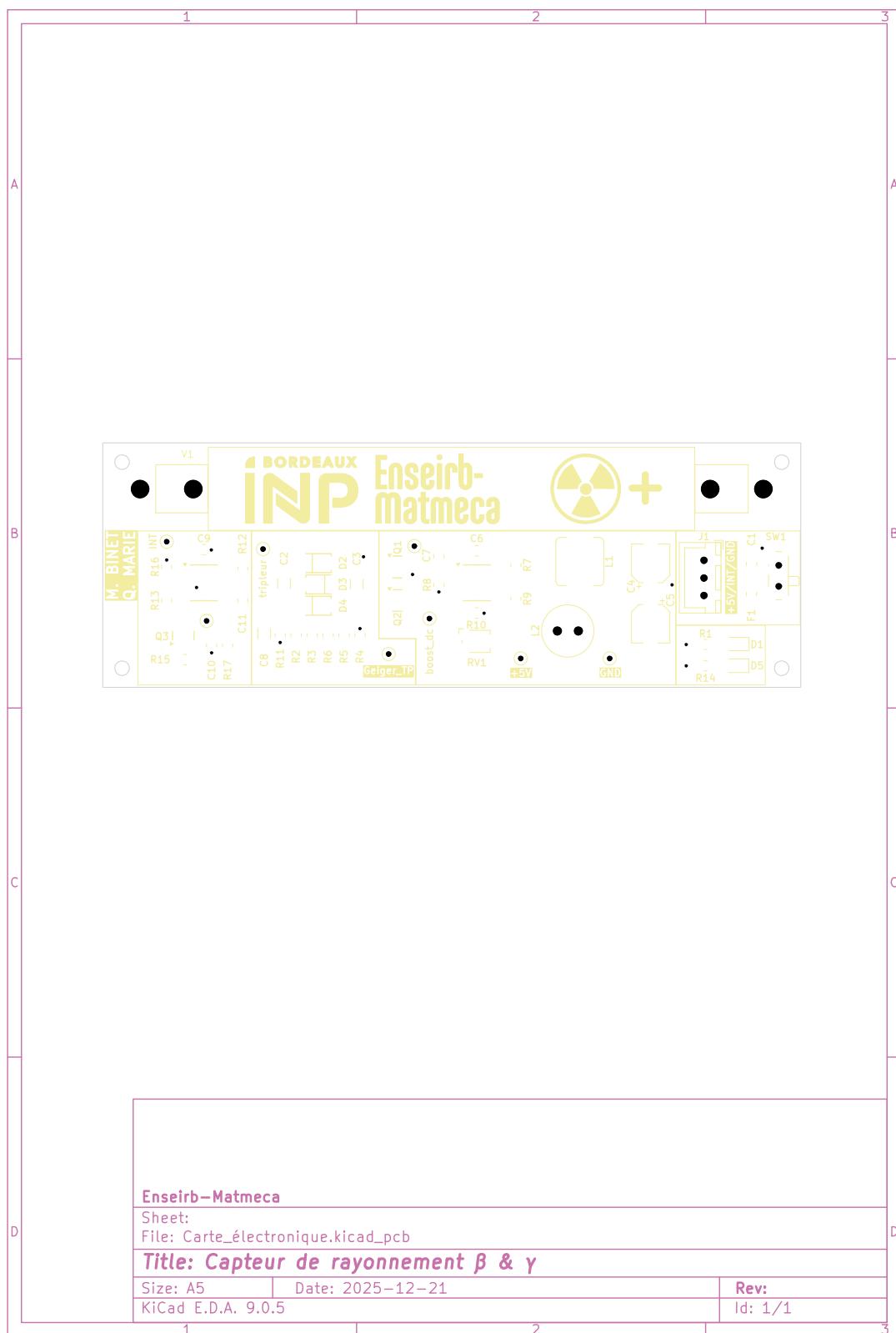


FIGURE 21 – PCB Top Silkscreen

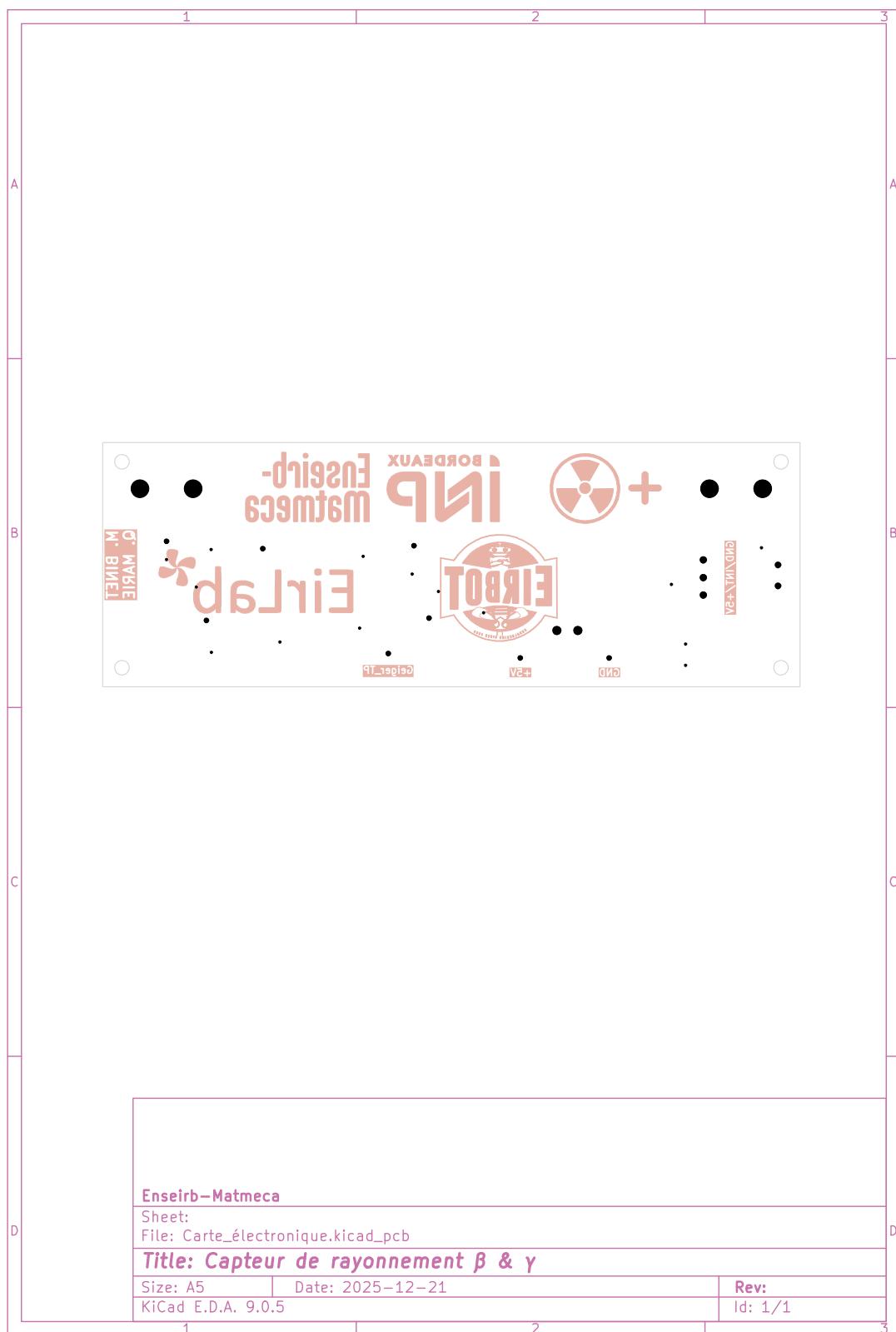


FIGURE 22 – PCB Bottom Silkscreen

## Capteur de radiation avec tube Geiger

Value	Ref	Footprint	LCSC	#	Quantity
100nF	C1,C6,C9	C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder	C49678	3	
220pF	C10	C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder	C107145	1	
1nF	C11,C7	C_0805_2012Metric_Pad1.18x1.45mm_HandSolder	C94121	2	
10nF 1000V	C2,C3,C8	C_1206_3216Metric_Pad1.33x1.80mm_HandSolder	C9194	3	
100uF	C4,C5	CP_Elec_5x5.3	C445083	2	
Green	D1	LED_0805_2012Metric_Pad1.15x1.40mm_HandSolder	C84260	1	
ES1J	D2,D3,D4	D_SMAF	C232830	3	
LED_RED	D5	LED_0805_2012Metric_Pad1.15x1.40mm_HandSolder	C965812	1	
Fuse_Small	F1	Fuse_0805_2012Metric_Pad1.15x1.40mm_HandSolder	C883111	1	
Conn_01x03_Pin	J1	JST_XH_B3B-XH-A_1x03_P2.50mm_Vertical	C144394	1	
100uH	L1	L_Bourns_SRP7028A_7.3x6.6mm	C2894722	1	
10mH	L2	L_Radial_D7.2mm_P3.00mm_Murata_1700	C5380230	1	
MMBTA42	Q1	D_SOT-23	C181172	1	
MMBT3904	Q2,Q3	D_SOT-23	C916374	2	
4KΩ	R1	R_0805_2012Metric_Pad1.20x1.40mm_HandSolder	C23179	1	
100KΩ	R10	R_0805_2012Metric_Pad1.20x1.40mm_HandSolder	C96346	1	
10MΩ	R11,R2,R3,R4,R5,R6	R_0805_2012Metric_Pad1.20x1.40mm_HandSolder	C107700	6	
470KΩ	R12,R17	R_0805_2012Metric_Pad1.20x1.40mm_HandSolder	C17709	2	
47KΩ	R13	R_0805_2012Metric_Pad1.20x1.40mm_HandSolder	C17713	1	
100Ω	R14	R_0805_2012Metric_Pad1.20x1.40mm_HandSolder	C17408	1	
10KΩ	R15	R_0805_2012Metric_Pad1.20x1.40mm_HandSolder	C84376	1	
0Ω	R16	R_0805_2012Metric_Pad1.20x1.40mm_HandSolder	C17477	1	
68KΩ	R7,R9	R_0805_2012Metric_Pad1.20x1.40mm_HandSolder	C2933415	2	
3KΩ	R8	R_0805_2012Metric_Pad1.20x1.40mm_HandSolder	C2907263	1	
100Ω	RV1	Potentiometer_Bourns_TC33X_Vertical	C911390	1	
SW_Nidec_CAS-120A1	SW1	SW_SPDT_PCM12	C109335	1	
NE555D	U1,U2	SOIC-8_3.9x4.9mm_P1.27mm	C596355	2	

FIGURE 23 – BOM du Circuit

## Bibliographie

### Fiches techniques des composants (Datasheets)

- [1] *J315 : Tube Geiger-Müller à halogène ( $\beta$  &  $\gamma$ )*. Capteur de radiation ionisante V1. Generic Specification. 2023.
- [3] *555 Type, Timer/Oscillator (Single) IC 100kHz 8-SOIC*. Utilisé pour le Boost et le Monostable. Texas Instruments. 2014.
- [4] *MMBTA42 : Transistor NPN 300V 500mA 50MHz Surface Mount SOT-23-3*. Transistor de puissance du convertisseur Boost. Diotec Semiconductor. 2025.
- [5] *MMBT3904 : Transistor NPN 40V 200mA 300MHz Surface Mount SOT-23-3*. Régulation et détection d'impulsions. Diotec Semiconductor. 2025.
- [6] *Capacité céramique : 10nF 1000V 1206 Surface Mount*. Capacités du tripleur de tension. Cal-Chip Electronics. 2023.
- [7] *ES1J : Diode 600 V 1A Surface Mount SMA*. Diodes du tripleur de tension. HY Electronic. 2020.

### Documentation de référence

- [2] CAJOE TECHNOLOGY. *Architecture de référence du module Geiger CAJOE*. 2023.

### Ressources du projet

- [8] *Dépôt GitHub du projet*. matteo.b29, 2025.
- [9] *Liste des composants sur DigiKey*. Enseirb-Matmeca, 2025.