

Open SiPM

Développement d'un spectromètre associant un scintillateur et un photomultiplicateur pour équiper une plateforme basée sur un ESP32 (M5 Stack)

- [Lancement](#)
- [Principes de fonctionnement](#)
 - [Polarisation du SiPM](#)
 - [Détection du signal](#)
- [Choix du SiPM](#)
 - [Fabricant, dimensions, multiplicité](#)
 - [Modèle](#)
- [Travaux antérieurs et références](#)
 - [Ressources bibliographiques](#)
 - [Datasheets et Applications Notes](#)
- [Valeurs retenues](#)

Lancement

Le 6 juin 2025 a eu lieu un hackathon dans le cadre du projet OpenRadiation de sciences et recherche citoyenne et participative autour de la mesure environnementale de la radioactivité.

L'historique du projet a été présenté par Christine Lajouanine (Planètes Sciences) et Christian Simon (Sorbonne Université) aux 12 participants. Les capteurs utilisés dans le cadre du projet sont multiples, mais tous basés sur des compteurs Geiger-Muller à tube.

La difficulté d'approvisionnement en tubes peu chers (sources russes ou chinoises) font envisager plusieurs réponses :

- fabrication DIY du tube Geiger-Muller.
- utilisation de tableaux de photodiodes
- utilisation d'un tandem scintillateur-photomultiplicateur qui permettrait de construire un spectromètre.

Après quelques délibérations, les participants choisissent de s'orienter vers la 3ème option. Même si la 1ère est séduisante, elle est exclue car il semble impossible dans un temps raisonnable de mettre au point le procédé de métallisation d'un tube.

CS suggère de repartir des circuits construits par [Physics OpenLabs](#) et de les mettre au facteur de forme compatible avec l'intégration à un M5Stack.

CL insiste en effet sur la nécessité d'avoir un appareil compact et proche du format "stylo" de l'actuel Rium GM.

Principes de fonctionnement

Polarisation du SiPM

La plupart des fabricants utilisent la terminologie suivante :

Les SiPM doivent être polarisés pour atteindre la tension d'amorçage d'avalanche : *breakdown voltage*. Le rendement augmente en fonction de l'écart de la tension de polarisation à celui-ci. La différence est souvent qualifiée de surtension : *overvoltage*.

Le breakdown est souvent entre 26 et 32V, et l'overvoltage entre 4 et 8V.

Il faut donc appliquer une polarisation de 26 à 42 V.

De nombreux composants permettent de convertir une tension de 3,3V ou 5V en tension dans cette plage.

Analog Devices / MAXIM les qualifie de *boost controller*. La série MAX1522-1524 en fait partie.

Détection du signal

Lorsque le SiPM va recevoir un photon, il va générer une impulsion d'une durée de quelques dizaines de nanosecondes. Le pic est asymétrique, et la hauteur maximale doit être mesurée pour obtenir l'énergie du photon.

Or, le temps de conversion d'un ADC est trop long pour permettre une mesure fiable de la hauteur. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre un circuit (à base d'amplificateurs opérationnels) qui va détecter la montée de l'impulsion, puis maintenir un signal à la hauteur atteinte pendant la conversion par l'ADC qui dure plusieurs dizaines de ns, et être remis à zéro sur commande du microcontrôleur une fois la lecture terminée.

Ce type de circuit est qualifié de *peak-and-hold* par [Physics Open Lab](#). Il utilise un amplificateur opérationnel OPAx354 de Texas Instruments. Il existe en boîtier comprenant 1, 2 ou 4 unités en formats différents.

Choix du SiPM

Fabricant, dimensions, multiplicité

Une rapide recherche sur les sites des fournisseurs de composants électroniques (Farnell et Mouser) pointe deux fabricants essentiellement : Broadcom et Onsemi. Hamamatsu produit bien sûr des SiPM, mais utilise la dénomination "MPPC" pour Multi-Pixel Photon Counter ; il ne semble pas les distribuer à travers Farnell/Mouser/Digikey/RS...

Les trois fabricants ont une gamme de SiPM qui se présentent tous sous une forme de pastilles CMS carrées. Chaque fabricant propose des SiPM monocanaux, mais aussi multi-canaux (1, 2, 4, 16).

Les SiPM de onsemi sont disponibles uniquement sur demande chez Farnell. Et on a déjà des Broadcom dans le stock -> on va choisir parmi les modèles proposés par Broadcom.

Il existe deux générations actuellement disponibles : celle ancienne dont le "pitch" des micro-cellules est de 30 um, et la nouvelle avec des "pitch" de 40um. L'ancienne génération reste tout à fait disponible via Octopart et Digipart.

Dans notre cas, il semble totalement superflu d'aller vers du multicanal : on ne cherche pas à faire de l'imagerie, mais juste à détecter les flashes dans le scintillateur. En outre, on n'espère pas avoir suffisamment de détection pour être obligés de gérer de la détection multiple et simultanée.

A VERIFIER PAR UN CALCUL AVEC LE RENDEMENT DU SCINTILLATEUR, ET LES DEBITS PREVISIBLES

(Autre questionnement : quelle est la forme de scintillateur à privilégier ? parallélépipède ? Cylindre ? Sphère ?)

Le moins cher est le AFBR-S4N22P014M.

Comme son nom l'indique les dimensions de la surface active sont de 2x2 mm. Il comprend 2464 microcellules de pitch de 40 um.

Mais 2x2 mm, c'est vraiment très peu : le [AFBR-S4N44P014M](#) (single channel toujours) est 4x4 mm, comprend donc 8334 micro cellules, et coûte seulement 27€ à l'unité.

Choix du SiPM

Modèle

Travaux antérieurs et références

Travaux antérieurs et références

Ressources bibliographiques

Introduction aux SiPM :

[Introduction to silicon photomultipliers \(SiPMs\)](#)

[Brief Introduction to Silicon Photomultipliers - Broadcom](#)

Référence scintillateurs/photomultiplicateurs :

Chapitre 7/8/9 : [Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments](#)

SiPM : [TN-Biasing_and_Readout.pdf](#)

Thèse sur molécule scintillateur : [Effect of PPO and POPOP activators on the scintillation performance of polystyrene-based scintillator](#)

Travaux antérieurs et références

Datasheets et Applications

Notes

Les SiPM :

[AFBR-S4NXX-AN100.pdf](#)

Autres composants :

Régulateur tension : [MAX1522-MAX1524.pdf](#)

Amplificateur opérationnel : [opa354.pdf](#)

Vérification faite, ils sont encore tous les deux en production (Life cycle : active).

Valeurs retenues

Le MAX1522 génère une tension dont la valeur V_{out} est fixée par le ratio de R_1 et R_2 :

$R_1 = R_2 \left(\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{FB}}} - 1 \right)$ où V_{FB} est la tension de *feed-back* fixée par un régulateur interne à 1,25 V. Avec le AFBR-S4N44P014M, la tension d'amorçage d'avalanche V_{BD} est de 26,9 V, et il faut appliquer une surtension d'environ 6 V pour atteindre les rendements de conversion de 60%. Ainsi :

$$V_{\text{out}} = V_{\text{BD}} + V_{\text{OV}} = 26,9 + 6 \approx 33 \text{ V}$$

En fixant $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

$$R_1 = 25,4 \text{ k}\Omega$$