

# Détecteur de muons « CosmicSail »

Associations Astrolabe Expéditions & My Human Kit

## Notice technique (v 1.2)

### I. Présentation générale du détecteur

#### I.1 Composition globale

Le détecteur est globalement composé de 2 ensembles :

1 - la détection des muons, faite à l'aide d'un scintillateur plastique dopé sur lequel un photo-multiplicateur au silicium amplifie les émissions lumineuses générées par le passage d'un muon et transmet ce signal à un ensemble électronique. Ce dernier mesure le signal, l'amplifie et le compare au seuil de détection pour l'envoyer au programme de traitement.

2 – le programme de traitement des détections est exécuté par un micro-contrôleur ESP32 entouré d'un certain nombre de périphériques détaillés plus loin. Ce programme enregistre chaque détection de muon avec ses caractéristiques dans un fichier SD.

#### I.2 Alimentation

Le système est alimenté en 5 volts par une prise USB type B montée à l'arrière du boîtier. Cette prise est reliée directement au port micro USB de la carte ESP32.

Sur cette alimentation 5 volts, un étage d'amplification permet d'alimenter le photo-multiplicateur en 29,5 volts. Toute la partie électronique en amont de l'ESP32 est alimentée par le 5 volts tandis que les périphériques, à l'exception de la sonde de température du scintillateur sont alimentés en 3,3 volts par l'ESP32.

La partie électronique en amont du programme est constituée :

- du SiPM (photo-multiplicateur),
- d'un amplificateur de signal,
- d'un détecteur de crête qui maintient le signal pour qu'il puisse être mesuré par le programme,
- d'un comparateur du signal par rapport au seuil qui a été choisi.

Les valeurs des mesures faites par cette partie électronique sont transmises à l'ESP32 par l'intermédiaire d'un convertisseur analogique numérique 12 bits (ADS1015).

## I.2 Périphériques et détecteurs utilisés

Le programme fonctionnant sur l'ESP32 utilise les données transmises par la partie électronique de détection mais il utilise aussi nombre de détecteurs ou de périphériques pour son fonctionnement. Ce sont :

- un convertisseur analogique-numérique 4 voies en 12 bits (ADS1015)
- une carte micro SD qui sert de support à un fichier de paramètres et reçoit sous forme de fichier journalier toutes les traces de détections effectuées.
- Un récepteur GPS pour la localisation du détecteur et la synchronisation avec l'heure UTC satellitaire. (NEO-M8M)
- Une horloge « temps réel » interne (RTC) qui sert de référence de temps pour tous les horodatages. (DS3231)
- Un capteur de pression atmosphérique doublé d'un détecteur de température ambiante à l'intérieur du boîtier. (BME280).
- Une sonde de température au contact du scintillateur (DS18B20)
- Un écran Oled pour l'affichage des informations et le contrôle des données traitées
- Une led rouge d'alarme signalant un problème bloquant
- Une led blanche témoin de mise sous tension servant aussi d'alerte en cas d'épuisement de la capacité de la carte SD
- un premier potentiomètre de correction du niveau de bruit
- un second potentiomètre de réglage de la marge de détection par rapport au bruit
- un commutateur BCD rotatif pour la sélection des affichages.

## II. Fonctionnement du programme

Le programme est écrit en C++ à l'aide de l'IDE Arduino 2.1.

Il fonctionne en multitâches sous RTOS avec une tâche dans chaque cœur de l'ESP32. Le détail des librairies utilisées se trouve en début de programme.

### II.1 Cœur 0

La tâche prioritaire, dans le cœur 0 est celle de l'enregistrement de la détection d'un muon. Elle est activée par une interruption externe déclenchée par le comparateur de l'étage électronique.

Elle applique un filtre à la mesure du signal pour éliminer toutes les fausses détections dues à des parasites dont la valeur serait inférieure à 1/5 du seuil de détection.

Aussitôt la mesure effectuée, elle établit un contact qui permet d'accélérer la diminution de la valeur du signal sur la sortie du détecteur de crête.

Elle émet aussi un « top » sur un port dédié, à destination d'un éventuel oscillateur.

Pendant le bref fonctionnement de cette tâche, si un nouveau muon arrive à ce moment-là, il sera simplement ignoré.

Un comptage des muons enregistrés depuis le lancement du programme (s'il a été interrompu) ou depuis le changement de date est effectué ainsi que le nombre de fausses détections qui ont été éliminées.

Chaque détection d'un muon fait l'objet d'un enregistrement dans la carte SD.

## II.2 Cœur 1

Une tâche de plus faible priorité, dans le cœur 1 exécute toutes les autres fonctions énumérées ci-dessous :

- En permanence (au rythme d'exécution de cette tâche) :
  - Si le système est en "mode test", c'est à dire qu'il est en cours d'affichage de l'écran n° 9, cette tâche effectue une lecture répétée du signal de façon indépendante des interruptions transmises.  
Cela permet de voir les valeurs fournies par le détecteur même si elles ne correspondent pas au passage d'un muon.
  - Elle "nourrit" le GPS par une activation continue afin de maintenir la réactivité de la réception des données géographiques et temporelles.
  - Elle effectue la mesure du niveau de bruit pour l'intégrer dans le seuil de détection.
  - Si le bouton est enfoncé (celui-ci est actif en permanence mais il faut un appui d'environ une seconde pour qu'il soit pris en compte) :
    - > Si l'affichage de la date et de l'heure (écran n° 2) est en cours et qu'il n'y a pas eu de synchronisation avec l'heure satellitaire depuis plus d'une semaine, alors l'horloge RTC est immédiatement synchronisée sur le chiffre 30 des secondes.
    - > Sinon, qu'il y ait un affichage actif ou non, et quel que soit l'écran affiché, l'appui déclenche la fermeture du fichier en cours d'enregistrement et l'affichage simultané d'un message d'alarme (bloquant) et prioritaire (se substituant éventuellement à l'affichage en cours) qui invite à relancer le programme avec ou sans changement de la carte SD.
- Chaque seconde :
  - Elle mesure la capacité restante de la carte SD et, si celle-ci est inférieure à 10%, elle fait clignoter la led blanche en guise d'alerte. Un message d'alerte (ie

: non bloquant) prioritaire (se substituant éventuellement à l'affichage en cours) est affiché simultanément.

- Elle calcule le seuil de détection dont la valeur est renvoyée au comparateur par une broche DAC de l'ESP32.
  - Elle récupère la latitude, la longitude, la date et l'heure du GPS.
  - Elle lit la pression atmosphérique sur le BME280 qui est convertie en hPa.
  - Elle lit la température du boîtier sur le BME280
  - Elle lit la température du scintillateur sur la sonde DS18B20  
(La température affichée sera la moyenne des 2 mesures ci-dessus).
  - Elle teste si la date a changé de jour, auquel cas elle ferme le fichier et ouvre aussitôt un nouveau fichier d'enregistrement des muons à la nouvelle date.
  - Si le système est dans sa première heure de fonctionnement depuis la mise sous tension, et tant que cela n'a pas été fait, elle relance la vérification de l'heure de l'horloge interne (RTC) par rapport à l'heure du GPS pour éventuellement la mettre à jour au plus vite. (la réception des données GPS n'étant pas immédiate au lancement du programme)
  - Elle partage les données nécessaires à la tâche du cœur 0 en effectuant une protection d'accès exclusive sur celles-ci le temps de ce partage.
  - Elle teste si le commutateur BCD a été tourné afin d'activer l'affichage de l'écran correspondant à sa position.
- Chaque quart d'heure :
    - Si un affichage est en cours, elle éteint automatiquement l'écran en mettant aussi fin en même temps aux éventuelles opérations nécessaires à l'affichage sur lequel on se trouvait.
  - Chaque heure :
    - Elle ferme le fichier en cours d'enregistrement et ré-ouvre aussitôt celui-ci en mode « ajout » afin de s'assurer de l'intégrité des enregistrements.
    - Elle calcule l'occupation des données sur la carte SD et la compare à la capacité de celle-ci pour éventuellement déclencher une alerte si celle-ci passe en dessous de 10% de capacité restante.

## II.3 Remarques en vrac

- En cas d'interruption de la réception des données GPS, les dernières coordonnées reçues sont considérées comme valides durant les 5 minutes qui suivent la perte de réception.
- Au cas où la pile de sauvegarde de l'horloge interne (RTC) serait déchargée, un message d'alerte s'affiche en alternance avec l'affichage en cours et un bref flash de la led rouge est simultanément produit.  
Dans ce cas, si le GPS est opérationnel, la date et l'heure seront mises à jour automatiquement et l'horloge interne retrouvera sa fonctionnalité tant que le système restera sous tension. Le message d'alerte s'effacera alors mais une icône « batterie déchargée » restera affichée concomitamment à la date et l'heure.
- Le bruit électronique environnant est détecté en permanence. On calcule un bruit moyen lissé en faisant la moyenne des niveaux de bruit mesurés sur les 2 secondes précédentes.
- Le calcul du seuil de détection envoyé sur la broche DAC de l'ESP32 est calculé en multipliant le bruit moyen par un coefficient réglé au moyen du premier potentiomètre (et qui varie de 0,5 à 1,5) auquel est ajouté la marge qui est réglée par le second potentiomètre.  
Lors de ces calculs on effectue un changement d'échelle entre les mesures issues de l'ADS1015 (codées sur 12 bits) et l'ESP32 (codé sur 8 bits).
- Lorsque le système est mis sous tension en milieu de journée et si un fichier a déjà été créé pour cette date, les enregistrements seront automatiquement ajoutés aux enregistrements précédents de cette même journée.
- Hormis le comptage du nombre de fichiers présents sur la carte SD, pour lequel il faut soustraire 2 unités pour avoir le nombre réel de fichiers d'enregistrement de muons, il n'y a pas de difficulté particulière quant à la gestion des données sur la carte SD.
- Pour visualiser la liste des trames NMEA reçues par le GPS, il faut avoir installé au préalable un programme de lecture du port série sur un PC. On peut utiliser à cet effet **CoolTerm** qui est un logiciel freeware simple d'usage.  
Pour ce faire, il faut brancher le système sur l'un des ports USB du PC puis lancer ensuite le programme *CoolTerm*.  
Dans celui-ci, la seule chose à faire est d'indiquer le port série à lire et la vitesse de transmission en cliquant sur l'icône « Options » puis en sélectionnant le port (COMn) et en ajustant le « Baudrate » à 115200.

A l'aide du commutateur rotatif il faut sélectionner l'affichage du message indiquant que la lecture des trames GPS est envoyée en continu au port série.

On obtient alors :

```
$GNGGA,11,4,4,13,31,27,204,*4A
```

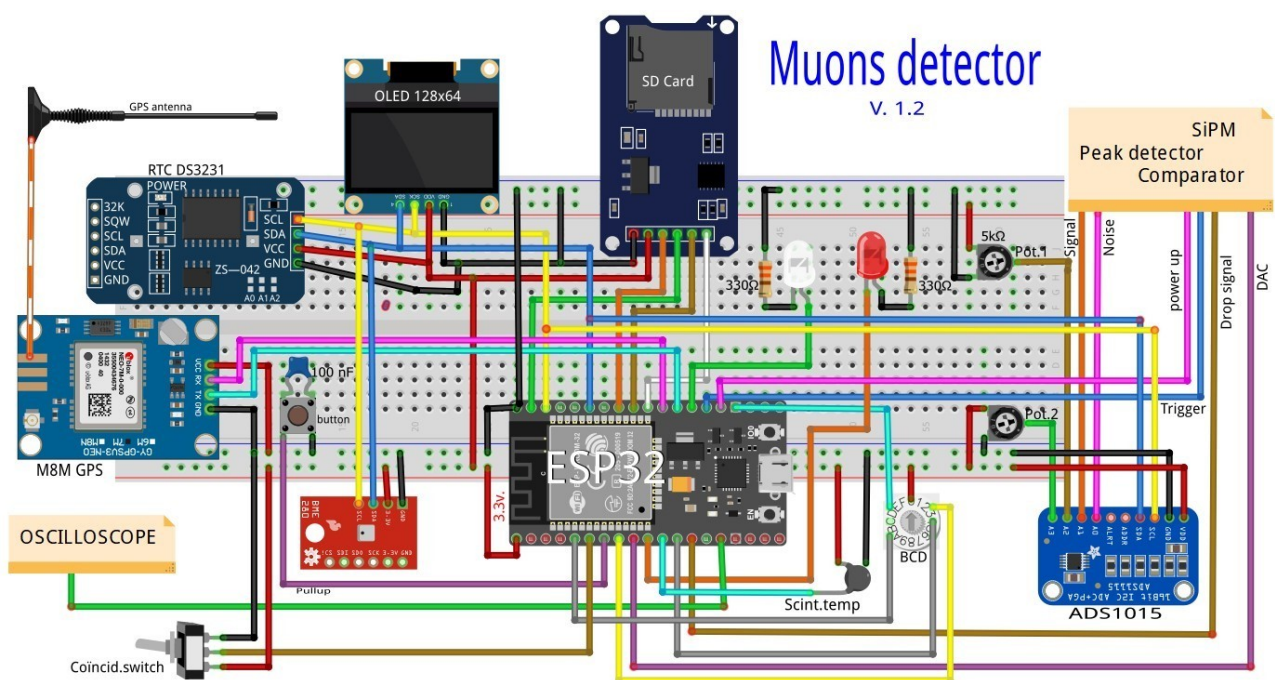
```

$GLGSV,3,1,09,66,10,013,,67,07,061,,73,67,185,17,74,56,313,24*64
$GLGSV,3,2,09,75,04,328,,80,14,156,10,82,18,043,24,83,63,031,14*67
$GLGSV,3,3,09,84,47,23497054,W,115651.00,A,A*61
$GNRMC,115652.00,A,4810.70737,N,00137.97055,W,0.526,,290423,,,A*75
$GNVTG,,T,,M,0.526,N,0.975,K,A*37
$GNGLL,4810.70719,N,00137.97069,W,115650.00,A,A*62
$GNGSA,A,3,26,18,02,16,27,29,28,05,,,,,1.29,0.87,0.95*1C
$GNGSA,A,3,73,83,74,824,*4A
$GPGSV,4,3,13,26,78,179,26,27,35,268,29,28,09,187,18,29,16,073,22*7
4 $GPGSV,4,4,13,31,27,204,8,M,,*6F ... etc ...

```

- il est possible de faire de la détection par coïncidence en couplant 2 détecteurs l'un au-dessus de l'autre. Dans ce cas un switch interne permet d'indiquer ce mode de fonctionnement dans les fichiers enregistrés.

## II.4 Schéma d'ensemble



**ESP32-WROOM-32 (aka ESP32-DevKitC)**

**JTAG**

**Legend:**

- Power
- GND
- Serial Pin
- Analog Pin
- Control
- Physical Pin
- Port Pin
- Touch Pin
- DAC Pin
- PWM Pin
- TMS
- TDI
- TCK
- FLASH D2
- FLASH D3
- FLASH CMD

**JTAG 20-pin**

Pin	Function	Pin	Function
1	Red 3V3 Vtref	11	Blue IO13 TCK
2	Gray RST nRST	12	(to GND) RTCK
3	Orange IO12 TDI	13	Purple IO15 TDO
4	Yellow IO14 TMS	14	DBGRQ
5	Blue IO13 TCK	15	SV-PIN
6	GND	16	GND
7	GND	17	GND
8	GND	18	GND
9	GND	19	GND
10	GND	20	GND

**INPUT only, no pullup/pulldown**

**Notes:**

- On some models like the high-end model 3-Link PRO, these pins may not be connected to GND but are reserved for future use/extension. In case of doubt, leave open on target hardware.