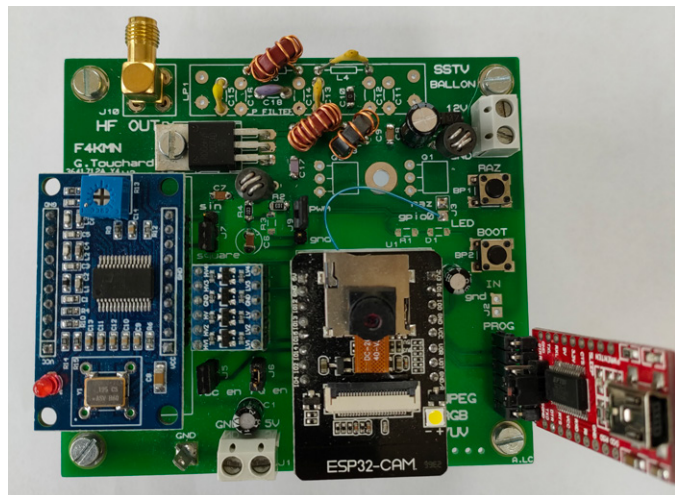


Émetteur SSTV HF

Radio-club F4KMN, Le Mans

Matys Brule, Abdelkader Laklach, Nicolas Von Aesch



L'émetteur SSTV



Lycée
TOUCHARD
WASHINGTON

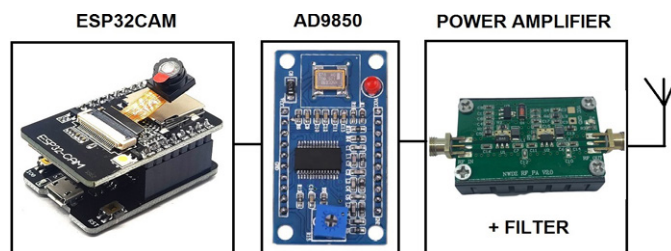
1 Introduction

Nous sommes trois étudiants en BTS Informatique et Réseaux au lycée Touchard Washington du Mans. Dans le cadre de notre projet de fin d'année, nous programmons un émetteur SSTV HF afin d'envoyer des images. Cette carte sera embarquée dans le prochain vol du ballon sonde le 1^{er} juin 2023 (1). La caméra de l'émetteur orientée vers le haut enverra régulièrement la progression du grossissement de l'enveloppe du ballon avant éclatement. Cela nous permettra de vérifier la loi des gaz parfaits : $PV = nRT$.

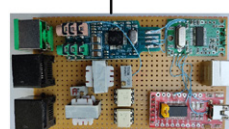
2 La chaîne de transmission et de réception

L'image capturée par une ESP32CAM est convertie logiciellement dans le domaine fréquentiel puis envoyée vers un DDS programmable AD9850. Après amplification et filtrage, le signal SSB USB rayonne dans une antenne dipôle.

L'image SSTV encodée au format Scottie est reçue par un YAESU FT897-D ou avec un simple récepteur RTL-SDR. Une fois l'image reconstituée par QSSTV, elle sera enregistrée sur un serveur physique puis récupérée grâce à un script PHP et disponible pour les utilisateurs sur un site Web.



Synoptique de l'émetteur SSTV



Réception avec le logiciel QSSTV ou YONIQ



Serveur WEB

Client WEB



La chaîne de réception au sol

Nous mesurons l'évolution de la largeur de l'enveloppe du ballon en fonction de l'altitude de celui-ci toutes les 10 minutes. Pour cela nous prenons comme référence sur l'image la largeur du réflecteur radar (1 mètre). Il suffit d'utiliser le théorème de Thalès pour connaître le diamètre du ballon et ainsi en déduire le volume occupé par l'hélium.

Nous utiliserons les deux protocoles SSTV classiques, Martin ou Scottie. La fréquence de transmission sera effectuée sur la bande des 20 m avec une puissance de 0,5 W maximum.

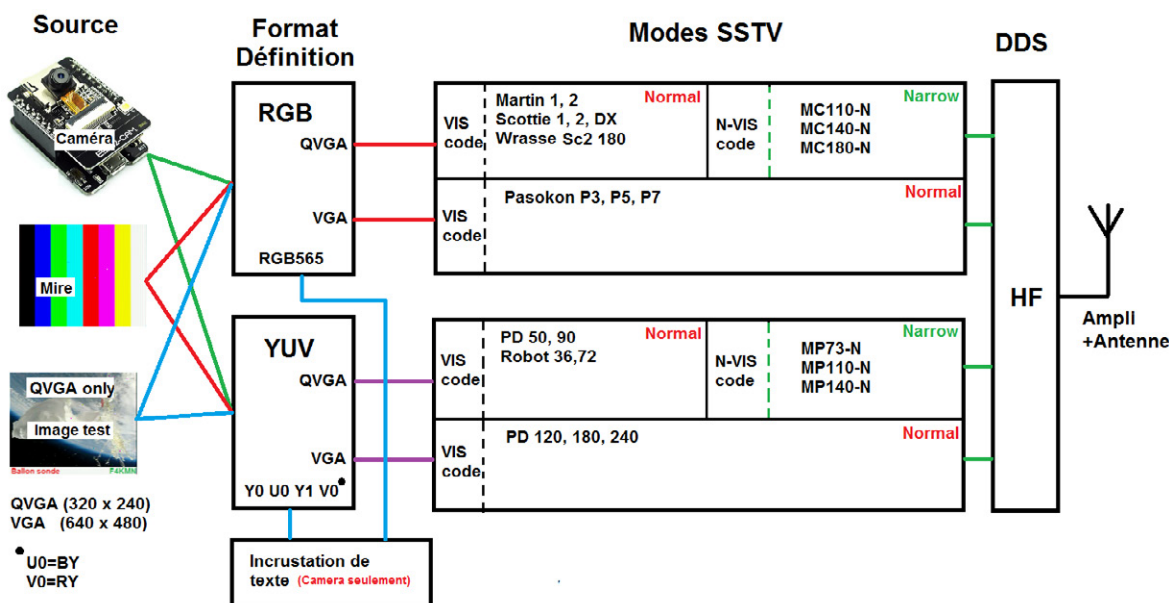
3 Le protocole SSTV

Rappel : Le protocole SSTV (Slow Scan Television) est un protocole de transmission d'images analogiques en temps réel via des signaux radio. Il est utilisé par les radioamateurs pour transmettre des images de faible résolution entre eux. Le principe de base du SSTV est de convertir une image en une série de signaux audio qui peuvent être transmis via un émetteur classique. Ces signaux sont ensuite reçus puis décodés.

Il existe plusieurs modes de transmission SSTV, chacun ayant des caractéristiques différentes en termes de qualité d'image et de rapidité de transmission. Les modes les plus utilisés sont Martin, Scottie et Robot.

Dans notre cas, le mode Scottie (QVGA) sera utilisé car c'est celui qui nous permet d'encoder une image en RGB (Rouge, Vert, Bleu) bien plus facilement que d'utiliser l'YUV.

Cependant, il est possible d'utiliser le format vidéo YUV pour transmettre des images avec le protocole Robot36 ou PD120 pour une image de plus grande définition (VGA).



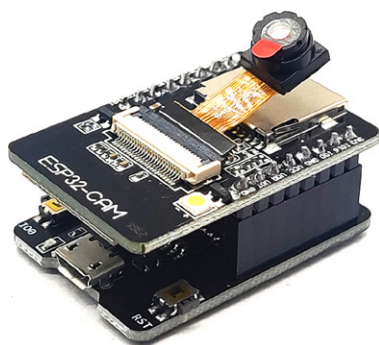
Les différents modes de transmissions possibles avec l'émetteur

Une option d'incrustation de texte permet de superposer à l'image un indicatif ou tout autre message utile à la transmission.



Un exemple de transmission d'image en QVGA Scottie 1

4 l'ESP32CAM



La caméra ESP32CAM et son support de programmation

L'utilisation de l'ESP32CAM présente plusieurs avantages pour un projet de ballon sonde. Tout d'abord, il s'agit d'un module compact et peu coûteux, ce qui permet de réduire considérablement le prix de l'émetteur.

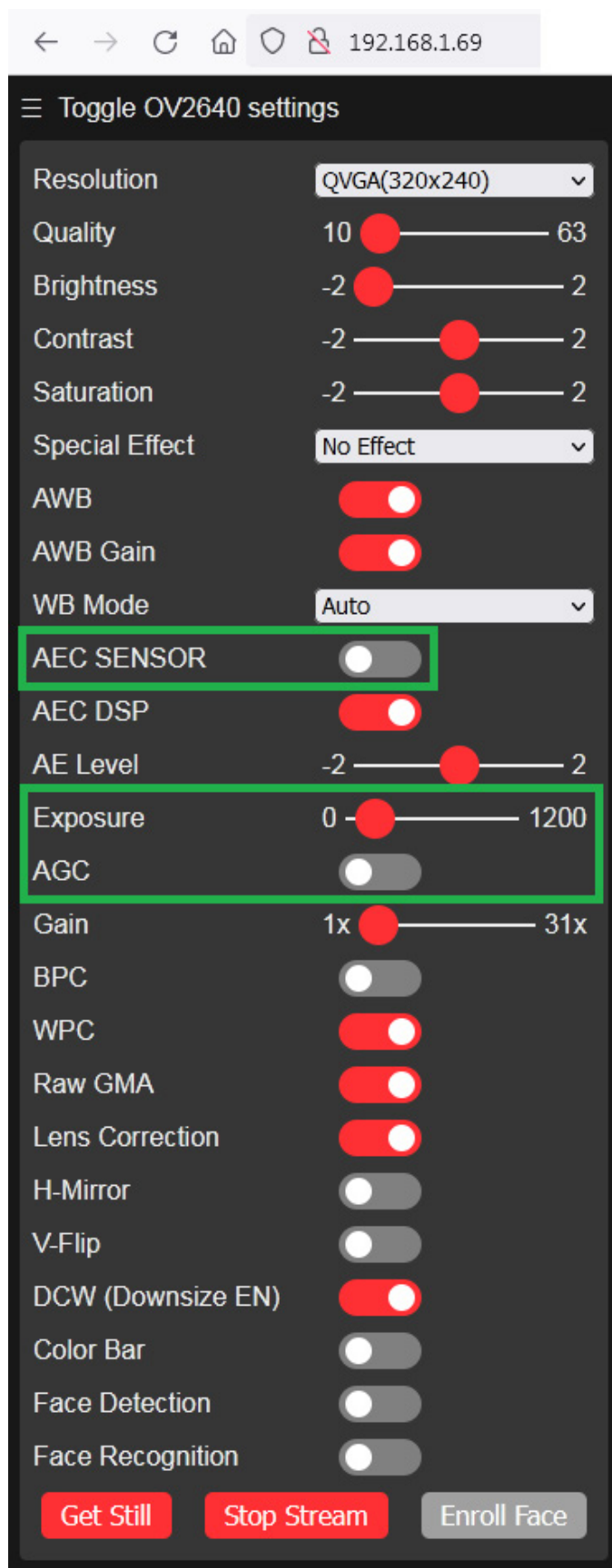
De plus, l'ESP32CAM dispose d'une caméra OV2640 haute résolution interchangeable, ce qui permet d'avoir des images de qualité supérieure et de les sauvegarder sur une carte micro SD. En utilisant un simple DDS AD9850, l'émetteur ne comporte que très peu de composants pour transmettre des images claires et nettes à partir du ballon sonde, mais de définition plus faible.



Les caméras interchangeables OV2640

Avant d'utiliser la caméra en SSTV, il est vivement conseillé de se familiariser avec le module en testant l'application démo « web server ». En effet cette application permet de prendre connaissance de tous les réglages possibles de la caméra.

Quant à la programmation du module, celui-ci possède des documentations et des ressources présentant chacun des paramètres de la caméra (2).



Les réglages de la caméra OV2640

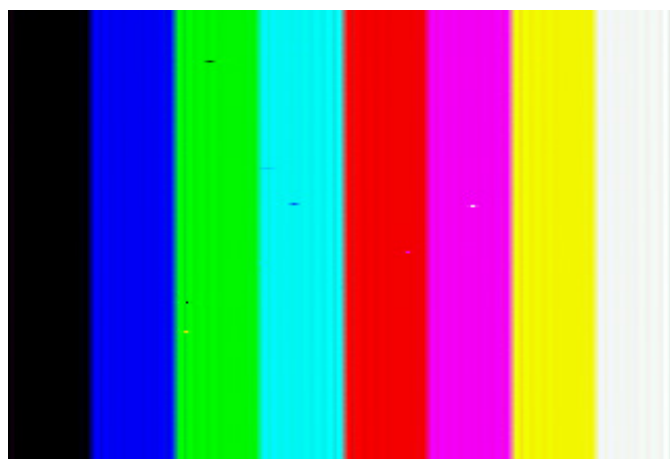
En résumé, l'utilisation de l'ESP32CAM offre une solution compacte, peu coûteuse, facilement programmable avec un ESP32 et capable de capturer des images de haute qualité, ce qui en fait un choix idéal pour notre projet.

5 Le circuit intégré AD9850

L'AD9850 est un circuit intégré produit par Analog Devices permettant de générer des signaux sinusoïdaux et carrés jusqu'à 40 MHz, donc sur toute la bande HF.

L'utilisation de l'AD9850 dans notre projet a permis de produire des fréquences précises et stables nécessaires à la bonne transmission des signaux SSTV. Il n'était pas possible de prendre le DDS SI5351 car le temps de transfert sur le bus I²C est bien plus lent qu'avec la liaison SPI de l'AD9850.

L'AD9850 est utilisé dans les projets de communication radio, il existe donc plusieurs documentations et vidéos d'exemples et explicatives. De plus, c'est un circuit intégré que l'on retrouve souvent dans les revues radioamateurs.



Exemple de mire QVGA

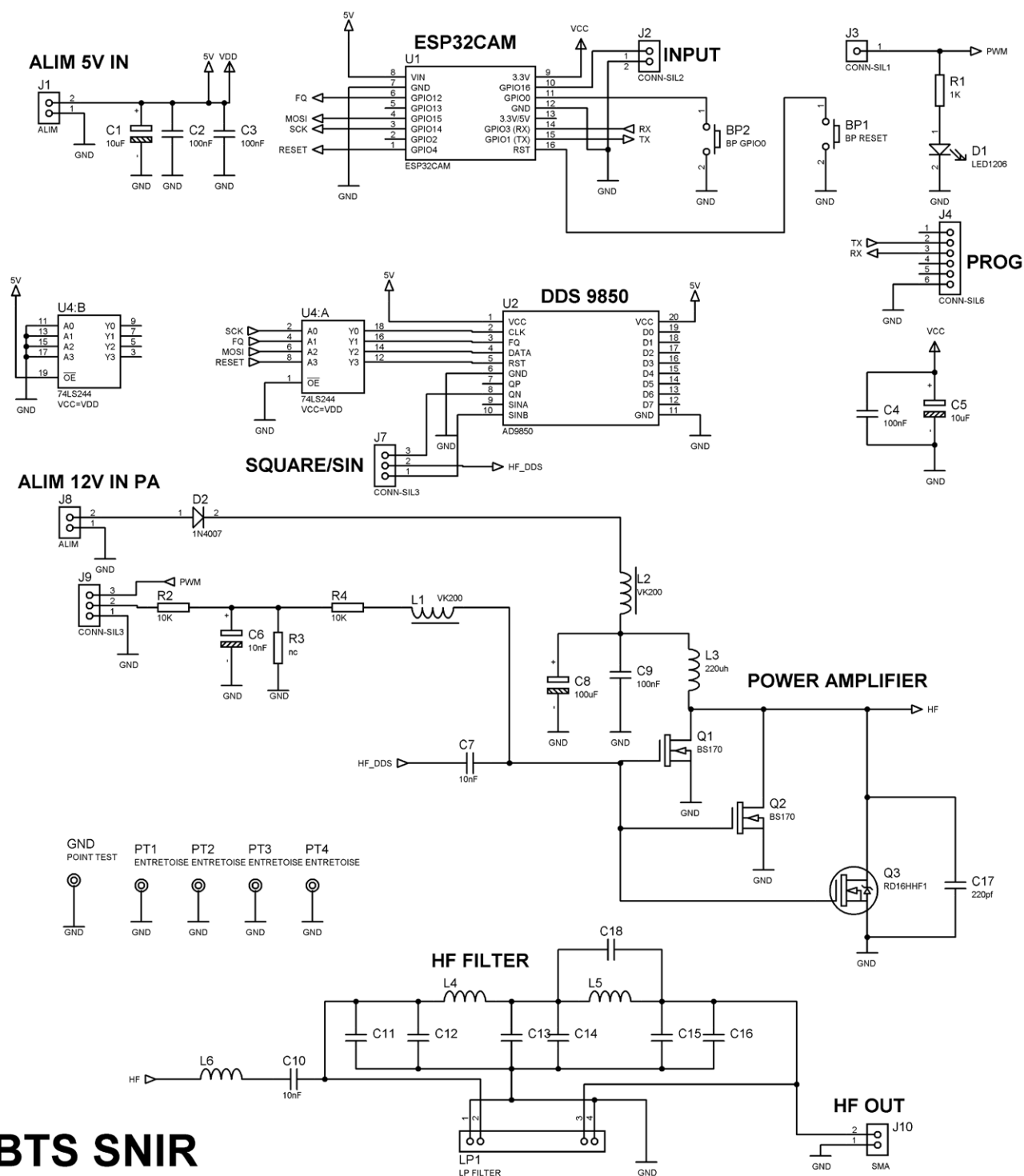
6 Le schéma de l'émetteur

Le schéma structurel s'articule autour de l'ESP32 (3). Un module série USB/TTL permet de programmer le microcontrôleur. Il faudra cependant presser les deux boutons boot (GPIO0) et raz (RESET), puis relâcher le bouton raz pour pouvoir programmer.

Un buffer 74LS244 ou HCT permet d'adapter le niveau de tension 3,3 V vers le 5 V pour la liaison SPI de d'AD9850. À noter que la liaison SPI est partagée avec la caméra.

À l'origine, le prototype utilisait de simples transistors MOS en tant qu'adaptateur de niveau, mais il se produisait un conflit à la mise sous tension et la caméra ne pouvait pas s'initialiser. Le 74LS244 a résolu le problème.

Il ne reste plus que l'amplificateur de puissance classe E réalisé autour d'un RD16HHF1 ou de deux BS170 en parallèle. Il est possible de remplacer ce montage par un module amplificateur prêt à l'emploi.



BTS SNIR SSTV 2022

Le schéma structurel de l'émetteur

LA BOUTIQUE EN LIGNE

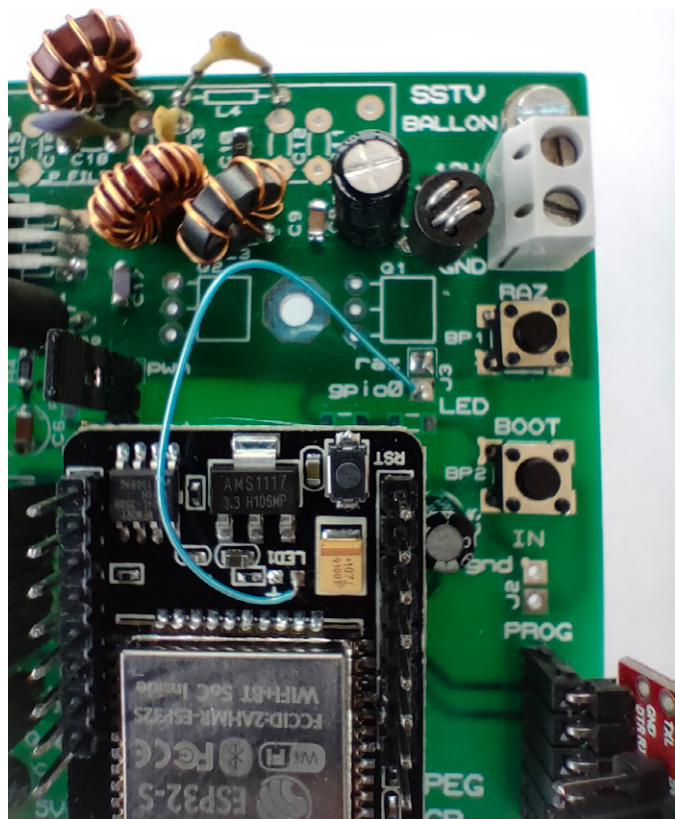
Vous pouvez, via le site du REF, vous connecter à la boutique en ligne, consulter, choisir et commander, puis procéder à un paiement sécurisé avec votre carte bancaire. N'hésitez pas, c'est pratique, c'est facile et il y a du choix. Votre commande enregistrée, le service Fournitures du REF mettra tout en œuvre pour que vous receviez vos articles dans les meilleurs délais.



Il ne faudra pas oublier le filtre à adapter en fonction de la bande d'émission désirée.

Le gain de l'amplificateur peut également être réglé par l'ESP32CAM. Cependant, il faudra « récupérer » un GPIO en plus sous l'ESP32, avec un fil supplémentaire.

Ce contrôle de gain est réalisé avec un PWM suivi d'un filtre passe-bas afin de délivrer une tension continue réglable sur la grille du transistor MOS.



Le GPIO pour le contrôle de gain à récupérer sur l'ESP32CAM

7 Le logiciel

La programmation a été réalisée avec l'IDE Visual Studio Code et les extensions PlatformIO pour l'ESP32CAM. La page Web utilise du code JavaScript et PHP ; elle dialogue automatiquement avec la base de données et sert d'interface pour afficher sur la page Web les photos prises.

Dans le programme fourni, vous trouverez un menu permettant de choisir l'action à réaliser, comme par exemple :

- ▶ sauvegarder une image sur la carte mSD ;
- ▶ choisir le mode SSTV ;
- ▶ envoyer une image SSTV ;
- ▶ envoyer une mire SSTV ;
- ▶ envoyer une image SSTV pré-enregistrée.

```
COM53 - PuTTY
1 Mode Scottie1
2 Mode Scottie2
3 Mode ScottieDX
4 Mode Martin1
5 Mode Martin2
6 Mode Wrasse
7 Mode PasokonP3
8 Mode PasokonP5
9 Mode PasokonP7
a Mode Robot36 YUV
b Mode Robot72 YUV
c Mode PD50 YUV
d Mode PD90 YUV
e Mode MP73-N YUV
f Add position from arduino pro mini
k tx picture with camera
m tx mire RGB or YUV
p tx test picture in progmem
r save picture on msd card
i tx idle frequency tone break 1200Hz
s stop idle

t test FM Narrow Sample
u test AM Sample
v test USB Sample
w test LSB Sample
+ increase gain by +10
- decrease gain by -10
```

Menu de test accessible via le moniteur série

Conclusion

Le projet de ballon sonde SSTV utilisant l'ESP32CAM et le DDS9850 a été une expérience incroyablement enrichissante pour nous, étudiants de BTS informatique et Réseaux.

Ce projet nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises tout au long de notre formation, ainsi que de développer de nouvelles compétences en matière de programmation et de développement électronique.

Nous sommes fiers de présenter le fruit de notre travail : un système capable de capturer et de transmettre des images de bonne qualité depuis un ballon sonde (4) jusqu'à un récepteur au sol, en utilisant la technologie SSTV.

Nous espérons que ce projet pourra inspirer d'autres étudiants et développeurs pour explorer les possibilités offertes par l'ESP32CAM et le DDS9850.

Nous remercions M. Le Cren (F4GOH), M. Simier (F4JRE), M. Martin, M. Cruchet, M. Bernard (professeurs au lycée Touchard) de l'aide apportée tout au long de ce projet et de notre formation.



Les étudiants dans la salle informatique

73 et bonnes transmissions en SSTV.

(1) : <https://vimeo.com/721096310>

(2) : <http://urls.r-e-f.org/gk721sd>

(3) : <https://github.com/f4goh/sstv>

(4) : <http://urls.r-e-f.org/om446db>