

Rapport de Projet Électronique
Conception et Routage d'un PCB
Module Récepteur LoRa pour contrôle de caméras basé sur ESP3

Rapport de Conception PCB
ESP32-WROOM-32 & RAK811-HF

Réalisé par :

Mohamed aziz Hadjayed et Khawla Houki

Encadré par :

Mr Hassen Zairi

Établissement :

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Carthage

Année universitaire :

2025 – 2026

18 décembre 2025

Résumé

Ce document présente la conception matérielle d'un module récepteur basé sur le microcontrôleur ESP32-WROOM-32 et le module LoRa RAK811-HF (Bande AU915). Le système est alimenté via USB Type-C, régulé à 3.3V, et dispose d'interfaces de commande pour servomoteurs. Une attention particulière a été portée à la conception RF, incluant le calcul de l'adaptation d'impédance 50Ω pour l'antenne LoRa.

Table des matières

1	Introduction	2
2	logiciel	2
2.1	Outils de Conception - KiCad 9.0	2
2.1.1	Présentation de KiCad	2
2.1.2	Avantages de KiCad 9.0	2
3	Architecture Matérielle	3
3.1	Alimentation (Power Management)	3
3.2	Unités de Traitement et Communication	3
3.3	Interfaces et Périphériques	3
4	Conception du PCB et Routage	3
4.1	Stratégie de Routage	3
5	Calcul d'Impédance RF (Ligne de Transmission)	4
5.1	Paramètres du Substrat	4
5.2	Résultats du Calcul	4
6	Liste des Composants Principaux (BOM)	4
7	Conclusion	5
A	Annexes	6

1 Introduction

L'objectif de ce projet est de concevoir un PCB (Printed Circuit Board) pour un nœud récepteur capable de communiquer via le protocole LoRa et de piloter des actionneurs (servomoteurs). Le système intègre la connectivité Wi-Fi/Bluetooth via l'ESP32 et la communication longue portée via le module RAK811.

2 logiciel

2.1 Outils de Conception - KiCad 9.0

La conception du circuit imprimé (PCB) et des schémas électroniques a été réalisée avec **KiCad 9.0**, une suite logicielle open-source professionnelle pour la conception électronique assistée par ordinateur (EDA - Electronic Design Automation).

2.1.1 Présentation de KiCad

KiCad est une solution complète qui permet la conception de schémas électroniques, la création de circuits imprimés, et la génération de fichiers de fabrication. La version 9.0 apporte des améliorations significatives en termes de performance et de fonctionnalités par rapport aux versions précédentes.

2.1.2 Avantages de KiCad 9.0

- Open-source et gratuit, sans limitations de taille de PCB ou de nombre de couches
- Support multiplateforme (Windows, Linux, macOS)
- Bibliothèques de composants étendues et communauté active
- Intégration avec des simulateurs SPICE pour la validation des circuits
- Export direct vers les formats de fabrication industriels



FIGURE 1 – KiCad9.0

3 Architecture Matérielle

3.1 Alimentation (Power Management)

L'alimentation est fournie par un connecteur **USB Type-C** configuré uniquement pour l'alimentation (Power Only).

- **Entrée** : 5V DC via VBUS.
- **Protection** : Un fusible 2A et une diode sont intégrés pour protéger le circuit contre les surintensités.
- **Régulation** : Un régulateur LDO (Low Dropout) **AP2112K-3.3** convertit la tension d'entrée (compatible jusqu'à 6V) en une tension stable de **3.3V** nécessaire pour l'ESP32 et le RAK811.
- **Découplage** : Des condensateurs de $10\ \mu\text{F}$ et $100\ \text{nF}$ sont placés en entrée et sortie du régulateur pour filtrer le bruit et assurer la stabilité.

3.2 Unités de Traitement et Communication

- **Microcontrôleur (U3)** : ESP32-WROOM-32. Il gère la logique principale et le pilotage des moteurs.
- **Module LoRa (U4)** : RAK811-HF (Chipset SX1276). Il communique avec l'ESP32 via une liaison UART (TX/RX) pour la transmission de données longue portée.

3.3 Interfaces et Périphériques

- **Boutons** :
 - **RESET** : Connecté à la broche *EN* de l'ESP32 et à la broche *RST* du RAK811, permettant de redémarrer les deux modules simultanément.
 - **BOOT0** : Connecté à la broche *IO0* de l'ESP32 pour permettre le passage en mode "Bootloader" lors de la programmation.
- **Sortie Moteurs (J3)** : Un connecteur 3 broches fournissant deux signaux PWM et une masse commune (GND) pour piloter des servomoteurs.

4 Conception du PCB et Routage

4.1 Stratégie de Routage

Le PCB est conçu sur 2 couches (Top et Bottom).

- **Plan de masse** : Un plan de masse (GND pour Ground Plane) est présent sur les deux couches pour minimiser les boucles de courant et offrir un bon blindage électromagnétique.
- **Vias de couture (Stitching Vias)** : Utilisés pour relier les plans de masse supérieur et inférieur.
- **Keep-out Zone** : Une zone d'exclusion de cuivre a été respectée sous l'antenne PCB de l'ESP32 pour éviter les interférences.

5 Calcul d'Impédance RF (Ligne de Transmission)

Pour garantir une transmission optimale du signal entre le module RAK811 (Pin 33 RF_OUT) et le connecteur SMA (J1), la piste doit avoir une impédance caractéristique de $Z_0 = 50 \Omega$.

5.1 Paramètres du Substrat

Les calculs ont été effectués à l'aide de l'outil de calcul intégré à KiCad, pour un PCB standard FR-4 :

- **Type de ligne** : Guide d'onde coplanaire avec plan de masse (Coplanar Waveguide w/ ground plane).
- **Constante diélectrique (ϵ_r)** : 4.5 (Standard FR-4).
- **Hauteur du diélectrique (H)** : 1.6 mm.
- **Épaisseur du cuivre (T)** : 35 μm (1 oz).
- **Fréquence cible** : 915 MHz (Bande AU915).

5.2 Résultats du Calcul

Pour obtenir $Z_0 \approx 50 \Omega$, les dimensions géométriques suivantes ont été déterminées :

Paramètre	Symbol	Valeur Calculée
Largeur de piste	W	1.3 mm (1.298 mm)
Espace (Isolation)	S	0.25 mm
Longueur de ligne	L	Minimisée au routage

TABLE 1 – Dimensionnement de la ligne RF 50 Ohms

Analyse : La largeur de 1.3 mm permet une bonne adaptation d'impédance, réduisant ainsi le taux d'ondes stationnaires (VSWR) et maximisant la puissance transmise à l'antenne. Le plan de masse entourant la piste (Grounded Coplanar) assure une meilleure immunité au bruit.

6 Liste des Composants Principaux (BOM)

Ref	Composant	Description
U1	AP2112K-3.3	Régulateur LDO 3.3V, 600mA
U3	ESP32-WROOM-32	Module Wi-Fi / BLE
U4	RAK811-HF	Module LoRa (AU915/US915)
J4	USB-C 6P	Connecteur Type-C (Power Only)
J1	SMA-Edge	Connecteur RF pour antenne externe
SW1, SW2	Boutons Poussoirs	Tactile Switch (Reset / Boot)

7 Conclusion

Ce PCB intègre avec succès les contraintes de puissance, de commande et de radiofréquence. L'utilisation d'un guide d'onde coplanaire calculé pour 50Ω assure la fiabilité de la liaison LoRa. Le design est prêt pour la fabrication et l'assemblage.

A Annexes

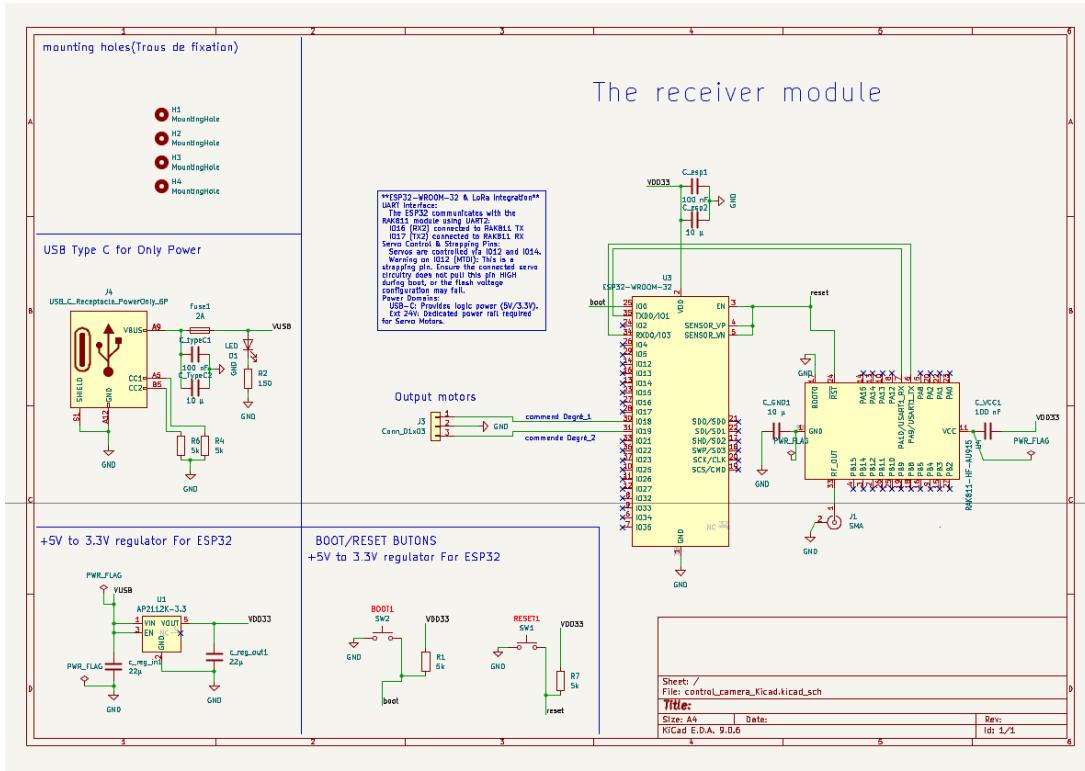


FIGURE 2 – Schéma Électronique complet sous KiCad

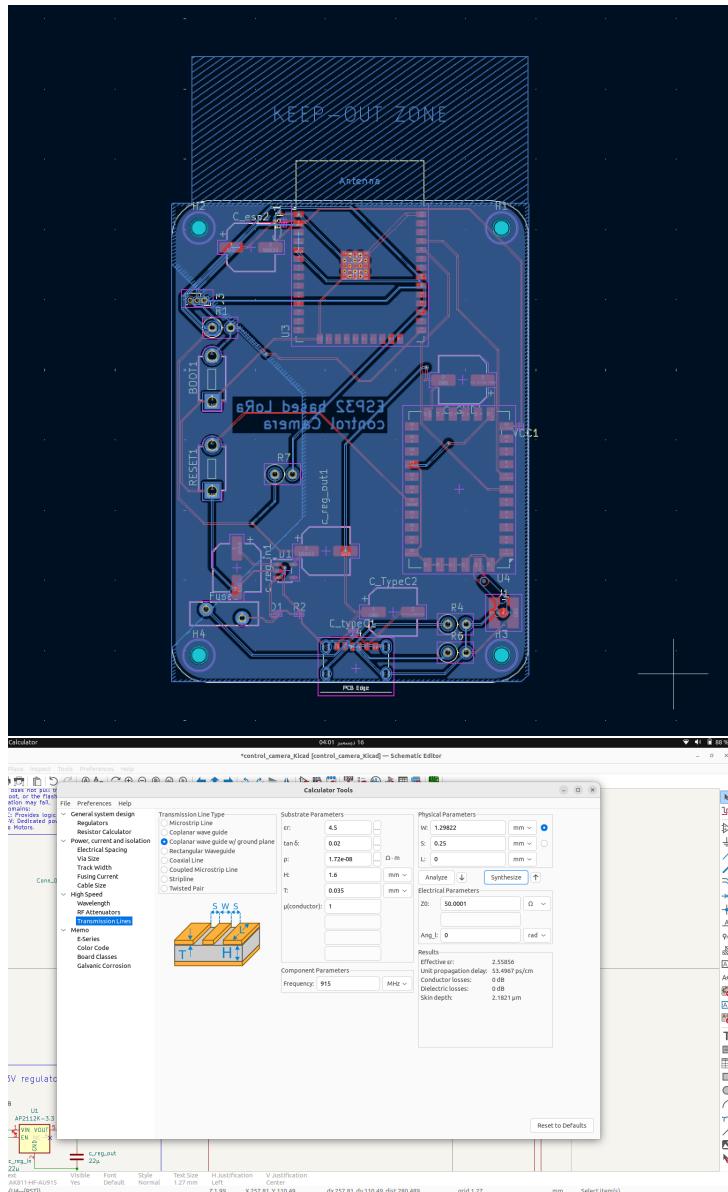


FIGURE 3 – Vue du Routage (Top Layer) et calcul d’impédance

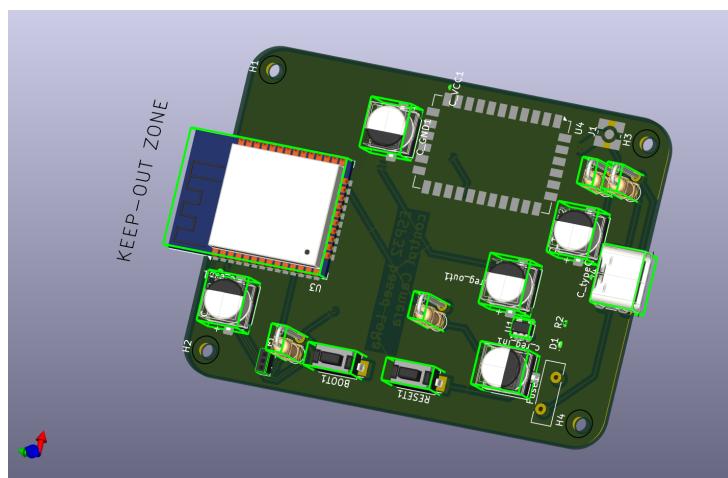


FIGURE 4 – Vue 3D