

Projet communication sans fils

Volume dial

Sommaire

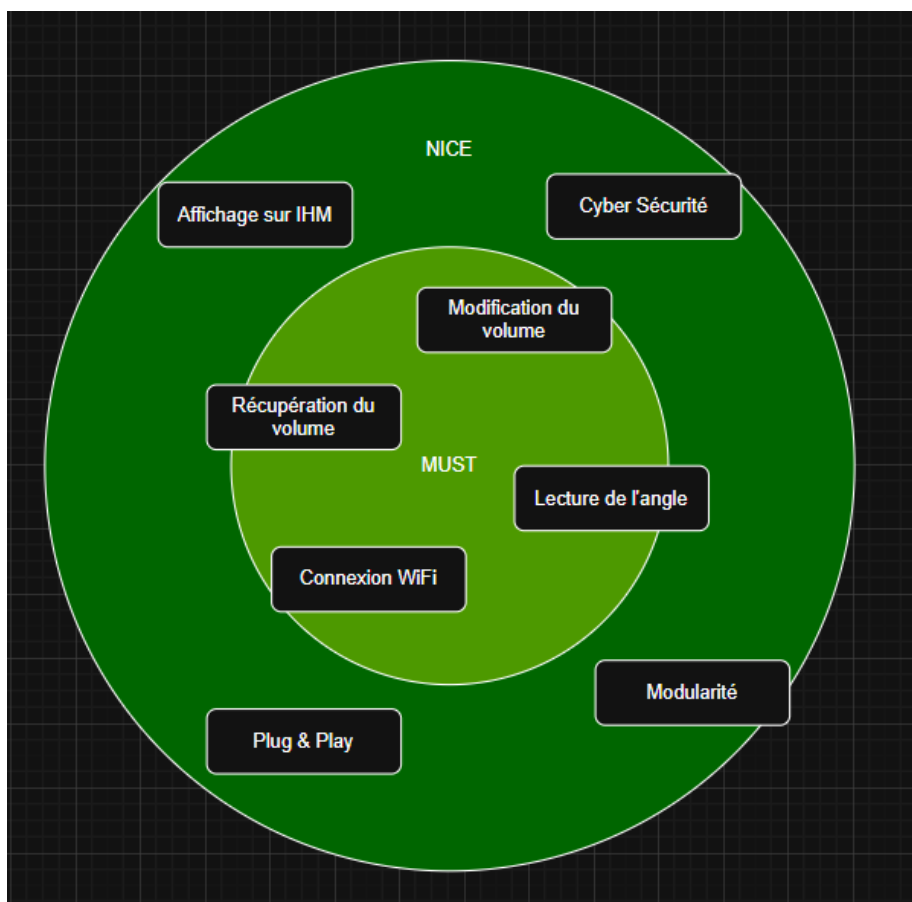
Introduction	1
1. Analyse fonctionnelle	2
1.1. Schéma de principe.....	3
1.2. Fonction principale	3
1.3. Fonctions de contraintes.....	4
1.4. Fonctions techniques	4
2. Exigences.....	5
2.1. Exigences radio – ETSI EN 300 328 V2.2.2.....	5
2.2. Exigences cybersécurité – RED 2014/53/EU et Règlement UE 2022/30	6
2.3. Exigences santé et sécurité – EN 62368-1 / EN 62479.....	7
2.4. Exigences CEM – EN 301 489-1 / EN 301 489-17	8
3. Réponse aux exigences.....	9
3.1. Normes et FCC.....	9
3.2. Filtres RF et conformité spectrale du module ESP32-WROOM-32.....	11
3.3. Gabarits de conformité (Masks) associés aux normes EU et US	12
3.4. Emissions hors bande et spuriques.....	12
3.5. Interprétation et conformité au cadre européen	13
4. Solution Technique.....	15
4.1. Encodeur magnétique AS5600	15
4.4. M5Stack Tab5.....	18
5. Troubleshooting.....	19
Valeurs de l'encodeur instables.....	19
Tab5M5 ne se connecte pas au serveur.....	19
ESP32 client ne récupère pas les valeurs de l'encodeur	20
ESP32 client bloqué ou non communicant	20
Conclusion	21

Introduction

Ce document présente la conception et les spécifications d'un système de contrôle du volume sur PC utilisant un encodeur magnétique et des modules ESP32. Le système permet de modifier le volume du PC en tournant un encodeur, avec la possibilité d'afficher la valeur du volume sur une tablette M5Stack Tab5.

L'ESP32 serveur, connecté au PC via une liaison filaire, sert de point central de communication. Il reçoit les changements de volume depuis un ESP32 client connecté à l'encodeur magnétique via I2C et transmet les commandes au PC. La tablette M5Stack Tab5 peut être connectée au serveur pour afficher en temps réel la valeur du volume.

L'objectif du présent dossier est de fournir une description complète et structurée du fonctionnement, des exigences fonctionnelles, matérielles et réseau du système afin de faciliter sa compréhension, son développement, ses tests et son évolution.



1. Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle a pour objectif de décrire le système de contrôle de volume basé sur un encodeur magnétique et des modules ESP32 à travers les fonctions qu'il doit remplir et les contraintes qui en découlent.

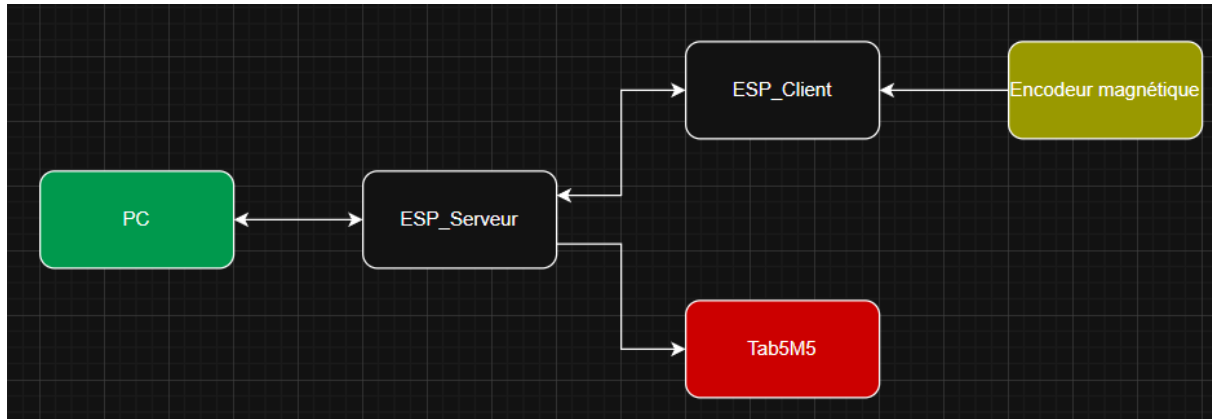
Elle permet d'identifier clairement ce que fait le système (ses fonctions principales et techniques) et dans quelles conditions il doit le faire (ses contraintes et performances).

Cette démarche, issue de la méthode d'analyse fonctionnelle des systèmes, vise à établir un lien logique entre les besoins exprimés et les solutions techniques retenues.

Cette partie illustre comment les différents éléments matériels et réseaux interagissent entre eux. Elle explique le rôle de chaque composant dans le système global :

- ESP32 client : récupère la valeur de l'encodeur magnétique via I2C et transmet les variations de volume au serveur via Wi-Fi.
- ESP32 serveur : reçoit les données du client, transmet les commandes de volume au PC via une connexion filaire et met à jour l'affichage de la tablette M5Stack Tab5.
- PC : programme qui modifie le volume du système en fonction des commandes reçues du serveur.
- Encodeur magnétique : permet le contrôle physique du volume en tournant le potentiomètre.
- Tab5M5 : affiche la valeur du volume en temps réel, connectée au serveur.

1.1. Schéma de principe



Ce schéma illustre l'architecture globale du système et l'interconnexion des différents sous-ensembles. L'ESP32 client et l'ESP32 serveur sont connectés au même réseau Wi-Fi local. L'encodeur magnétique est relié à l'ESP32 client via le bus I2C, qui récupère la valeur de l'angle et la transmet au serveur. L'ESP32 serveur centralise le traitement des données et communique avec le PC via une liaison filaire pour modifier le volume du système en temps réel. Parallèlement, la tablette M5Stack Tab5 peut être connectée au serveur pour afficher la valeur actuelle du volume et suivre les variations en direct sur son écran.

1.2. Fonction principale

- Mesurer l'angle de l'encodeur magnétique et convertir cette valeur en niveau de volume,
- Transmettre la valeur du volume de l'ESP32 client vers l'ESP32 serveur via Wi-Fi,
- Modifier le volume du PC en temps réel via le programme connecté à l'ESP32 serveur,
- Afficher la valeur du volume sur la tablette Tab5M5 connectée au serveur,
- Assurer la communication fiable entre les modules ESP32 et le PC,
- Gérer les interruptions et les changements rapides de l'encodeur pour un contrôle précis du volume.

1.3. Fonctions de contraintes

- La transmission des données entre le client et le serveur doit être stable et rapide pour un contrôle en temps réel,
- Le serveur doit être capable de gérer simultanément la communication avec le client et l'affichage sur la Tab5M5,
- Le système doit fonctionner avec un minimum de latence perceptible pour l'utilisateur,
- Le programme du PC doit être compatible avec les commandes envoyées par l'ESP32 serveur,
- L'ESP32 client et l'encodeur doivent être alimentés correctement et résister aux perturbations électriques,
- L'ensemble du système doit être robuste face à des interruptions réseau temporaires.

1.4. Fonctions techniques

- Lire les impulsions de l'encodeur magnétique et calculer l'angle ou la variation de rotation,
- Convertir la valeur de l'angle en pourcentage ou niveau de volume exploitable par le serveur,
- Etablir et maintenir une connexion Wi-Fi entre l'ESP32 client et l'ESP32 serveur,
- Transmettre les données de volume via un protocole fiable (ex. TCP ou UDP) du client vers le serveur,
- Interpréter les données reçues côté serveur et envoyer les commandes appropriées au PC via la liaison filaire (USB ou UART),
- Afficher le niveau de volume sur la Tab5M5 avec une interface graphique claire et mise à jour en temps réel,
- Gérer les interruptions ou les mouvements rapides de l'encodeur pour éviter les sauts de volume,
- Assurer la gestion de l'alimentation et la stabilité des modules ESP32 et de l'encodeur,
- Synchroniser la valeur du volume entre le PC, le serveur et la Tab5M5 pour garantir une cohérence des informations affichées.

2. Exigences

2.1. Exigences radio – ETSI EN 300 328 V2.2.2

Ce tableau présente les principales exigences de la norme ETSI EN 300 328 V2.2.2 (2019-07) applicables au système de contrôle de volume utilisant deux modules ESP32 fonctionnant en Wi-Fi 2,4 GHz (IEEE 802.11 b/g/n). Les limites et critères indiqués sont extraits des clauses normatives (§ 4.3.2.x) et des méthodes d'essai (§ 5.4.x), adaptées à un équipement large bande non-FHSS basé sur des échanges de données entre l'ESP32 client, l'ESP32 serveur et la tablette Tab5M5.

Domaine	Exigence	Description	Référence normative
Puissance d'émission	Limite de puissance	Les ESP32 client et serveur doivent respecter la puissance d'émission maximale autorisée en Wi-Fi 2,4 GHz (100 mW e.i.r.p.).	§ 4.3.2.2
Occupation du spectre	Spectral density	Le système doit maintenir une densité spectrale conforme lors des transmissions Wi-Fi.	§ 4.3.2.3
Bande occupée	Transmission wideband	Les modules ESP32 étant des équipements large bande non-FHSS, la largeur de bande doit rester conforme.	§ 4.3.2.5
Blocage Immunité	/ Résistance aux interférences	Le réseau entre client, serveur et Tab5M5 doit rester fonctionnel en présence d'autres réseaux Wi-Fi.	§ 4.3.2.11
Temps d'occupation du canal	Limite de transmission	Le trafic réseau doit respecter les contraintes de temps d'émission sur un même canal.	§ 4.3.2.6
Réception	Sensibilité minimale	Les ESP32 doivent atteindre les performances de sensibilité requises pour maintenir une communication fiable.	§ 4.3.2.12

2.2. Exigences cybersécurité – RED 2014/53/EU et Règlement UE 2022/30

Ce tableau présente les exigences de cybersécurité applicables au projet, conformément à la Directive RED 2014/53/EU (articles 3(3)d/e/f) et au Règlement Délégué (UE) 2022/30. Ces exigences concernent principalement l'intégrité des communications Wi-Fi entre les ESP32, la protection des données échangées et la résistance aux accès non autorisés. Elles seront couvertes par les normes harmonisées EN 18031-1, EN 18031-2 et EN 18031-3, qui deviendront obligatoires à partir du 1er août 2025 pour tous les équipements radio connectés.

Domaine	Exigence	Description	Référence
Intégrité des communications	Protection des données	Les données envoyées du client vers le serveur (variations de volume) doivent être protégées contre les modifications non autorisées.	RED Art. 3(3)d
Accès non autorisé	Contrôle d'accès	Le système doit empêcher qu'un tiers se connecte au serveur ESP32 ou modifie le volume à distance.	RED Art. 3(3)e
Résilience aux attaques	Sécurisation du Wi-Fi	Sécurisation du réseau (WPA2/WPA3) pour protéger les échanges entre client, serveur et Tab5M5.	RED Art. 3(3)f
Protection logicielle	Mise à jour et intégrité du firmware	Les ESP32 doivent garantir que leur firmware ne peut pas être altéré sans contrôle.	EN 18031-1
Données personnelles	Limitation des informations	Le système ne manipule aucune donnée personnelle ; absence de stockage sensible à justifier.	EN 18031-3
Robustesse du réseau	Gestion des erreurs	Le système doit gérer les pertes de paquets ou déconnexions sans comportement dangereux (sauts de volume).	EN 18031-2

2.3. Exigences santé et sécurité – EN 62368-1 / EN 62479

Ce tableau présente les exigences principales liées à la santé et à la sécurité de l'équipement, conformément à la Directive RED 2014/53/EU (Article 3(1)(a)) et aux normes harmonisées EN 62368-1 et EN 62479. Ces exigences concernent notamment la sécurité électrique des modules ESP32, de l'encodeur AS5600, de la Tab5M5, ainsi que l'exposition aux champs électromagnétiques des modules Wi-Fi utilisés

Domaine	Exigence	Description	Référence
Sécurité électrique	Protection basse tension	L'ensemble des modules (ESP32, AS5600, Tab5M5) fonctionne en basse tension (5 V / 3,3 V), respectant les seuils de sécurité.	EN 62368-1
Risques thermiques	Température admissible	Les ESP32 ne doivent pas dépasser les limites thermiques définies en fonctionnement normal.	EN 62368-1
Risques liés au Wi-Fi	Exposition RF	L'exposition aux champs électromagnétiques reste dans les limites pour les équipements de faible puissance.	EN 62479
Environnement d'utilisation	Conditions normales	Le dispositif doit être stable et sûr sur un bureau ou espace de travail standard.	EN 62368-1
Risques mécaniques	Fixation et manipulation	Le capteur AS5600 et l'aimant doivent être montés de manière stable pour éviter toute projection ou dommage.	EN 62368-1

2.4. Exigences CEM – EN 301 489-1 / EN 301 489-17

Ce tableau regroupe les exigences principales relatives à la compatibilité électromagnétique de l'équipement, conformément à la Directive RED 2014/53/EU (Article 3(1)(b)) et aux normes EN 301 489-1 et EN 301 489-17. Elles s'appliquent au fonctionnement coordonné de l'ESP32 client, de l'ESP32 serveur et de la Tab5M5, en veillant à limiter les perturbations électromagnétiques émises et à garantir un niveau adéquat d'immunité aux interférences provenant d'autres équipements radio.

Domaine	Exigence	Description pour ton projet	Référence
Emissions électromagnétiques	Limitation des perturbations	Les ESP32 client et serveur ne doivent pas générer d'interférences excessives vers d'autres appareils.	EN 301 489-1
Immunité électromagnétique	Résistance aux perturbations	Le fonctionnement du contrôle du volume doit rester stable face aux perturbations externes.	EN 301 489-1
Immunité spécifique RF	Résistance aux signaux 2,4 GHz	Les communications entre client, serveur et Tab5M5 doivent rester fonctionnelles en environnement saturé.	EN 301 489-17
Immunité ESD	Décharges électrostatiques	Le système doit résister aux décharges statiques lors de la manipulation de l'encodeur.	EN 301 489-1
Fonctionnement en charge	Maintien de la qualité réseau	Les transmissions Wi-Fi doivent conserver une stabilité suffisante pour éviter des variations erratiques du volume.	EN 301 489-17

3. Réponse aux exigences

3.1. Normes et FCC

Dans le cadre de l'évaluation réglementaire du dispositif Volume Dial, une analyse de correspondance a été réalisée entre les essais du module radio ESP32-WROOM-32 (rapport FCC ID : 2AC7Z-ESPWROOM32, disponible sur son dépôt officiel) et les exigences européennes applicables à la directive RED 2014/53/EU.

Les tests effectués selon FCC Part 15 Subpart C (§15.247 et §15.249) couvrent la majorité des paramètres imposés par les normes harmonisées européennes, notamment EN 300 328 pour le Wi-Fi 2,4 GHz et EN 301 489-1/-17 pour la compatibilité électromagnétique. L'objectif de l'analyse est d'établir une comparaison technique entre les méthodes de mesure, les limites réglementaires et les paramètres évalués dans le rapport FCC, afin de déterminer leur équivalence avec les exigences européennes.

L'ensemble de l'étude est présenté sous forme d'un tableau comparatif mettant en parallèle les exigences FCC et les exigences CE, puis interprété pour déterminer le niveau de conformité du module lorsqu'il est intégré dans le système Volume Dial.

Domaine évalué	Référence FCC (rapport FCC ID : 2AC7Z-ESPWROOM32)	Exigence CE (RED 2014/53/EU + normes harmonisées)	Correspondance
Puissance d'émission	FCC Part 15.247 – Mesure de la puissance de sortie RF	EN 300 328 – Limite EIRP ≤ 20 dBm	Conforme
Largeur de bande / Occupation spectrale	Mesures selon ANSI C63.10-2013	EN 300 328 – Largeur de bande adaptée aux modulations DSSS/OFDM	Conforme

Domaine évalué	Référence FCC (rapport FCC ID : 2AC7Z-ESPWROOM32)	Exigence CE (RED 2014/53/EU + normes harmonisées)	Correspondance
Émissions hors bande et parasites	Mesure des émissions rayonnées et conduites	EN 300 328 / EN 301 489-17 – Limites sur OOB et spurious	Conforme
Densité spectrale	Contrôle de la densité sur 1 MHz	EN 300 328 – PSD ≤ 10 dBm/MHz	Conforme
Compatibilité électromagnétique (CEM)	FCC Part 15 B – Emissions non intentionnelles	EN 301 489-1/-17 – CEM équipements radio	Correspondance équivalente
Exposition RF	FCC §2.1091 – Évaluation MPE	EN 62311 / EN 62479 – Évaluation exposition humaine	Conforme pour faible puissance
Sécurité électrique	Non couvert dans le rapport FCC	EN 62368-1 – Sécurité équipements électroniques	À évaluer séparément dans l'équipement final

L'analyse détaillée montre que le module ESP32-WROOM-32 satisfait aux exigences essentielles de la directive RED 2014/53/EU concernant les aspects radiofréquence et compatibilité électromagnétique.

Les essais réalisés selon ANSI C63.10 et FCC Part 15 Subpart C démontrent la conformité du module avec les critères techniques équivalents à ceux d'EN 300 328 (Wi-Fi 2,4 GHz), notamment :

- puissance d'émission mesurée inférieure aux limites européennes (≤ 20 dBm EIRP)
- maîtrise de la largeur de bande
- conformité du spectre d'émission
- contrôle des émissions hors bande et spuriques

De la même manière, les mesures d'émissions rayonnées et conduites respectent les limites associées à EN 301 489-1 et EN 301 489-17.

La conformité CE devra néanmoins être complétée par :

- une évaluation de sécurité électrique selon **EN 62368-1**, non couverte par les essais FCC
- une vérification de l'exposition RF selon **EN 62479**, justifiée par la faible puissance d'émission du module et la distance d'utilisation supérieure à 20 cm du corps

Dans ces conditions, l'ESP32-WROOM-32 utilisé dans le Volume Dial peut être considéré comme répondant aux exigences techniques de la directive RED, à condition d'être intégré dans un produit final respectant les mêmes limites d'installation, d'antenne et de puissance.

3.2. Filtres RF et conformité spectrale du module ESP32-WROOM-32

Le module ESP32-WROOM-32 intègre un sous-ensemble RF complet comprenant :

- Un filtre passe-bande centré sur 2,45 GHz
- Un filtre de sortie à faible perte sur l'étage d'amplification
- Un réseau d'adaptation d'impédance (50 ohms) vers l'antenne PCB intégrée

Ces éléments assurent les fonctions suivantes :

- Suppression des harmoniques (principalement 2e et 3e ordre) générées par l'amplificateur de puissance
- Respect du gabarit spectral défini par EN 300 328
- Limitation des émissions parasites hors de la bande ISM (2400–2483,5 MHz)
- Stabilité des performances d'émission conformément aux exigences CEM

Le réseau d'adaptation assure un VSWR typiquement inférieur à 2 :1, garantissant un rendement optimal et limitant les réflexions RF nuisibles.

3.3. Gabarits de conformité (Masks) associés aux normes EU et US

La vérification spectrale du module repose sur l'application de gabarits imposés par :

- ETSI EN 300 328 V2.2.2
- FCC Part 15.247 / 15.249

Ces gabarits définissent les limites maximales d'émission en fonction de la fréquence et du décalage par rapport à la fréquence centrale.

Largeur de bande et densité spectrale (EN 300 328, §5.3.3)

- Largeur de bande d'émission conforme au canal Wi-Fi standard (20 MHz)
- Densité de puissance maximale : ≤ 10 dBm/MHz
- Puissance totale EIRP : ≤ 20 dBm

3.4. Emissions hors bande et spuriques

- Emissions ± 1 MHz en dehors de la bande : ≤ -20 dBc
- Emissions au-delà de ± 5 MHz : ≤ -30 dBm
- Harmoniques d'ordre 2 et 3 : ≤ -36 dBm (selon rapport FCC)

Ces valeurs concordent avec les mesures du rapport FCC, confirmant la bonne conformité spectrale du module ESP32-WROOM-32.

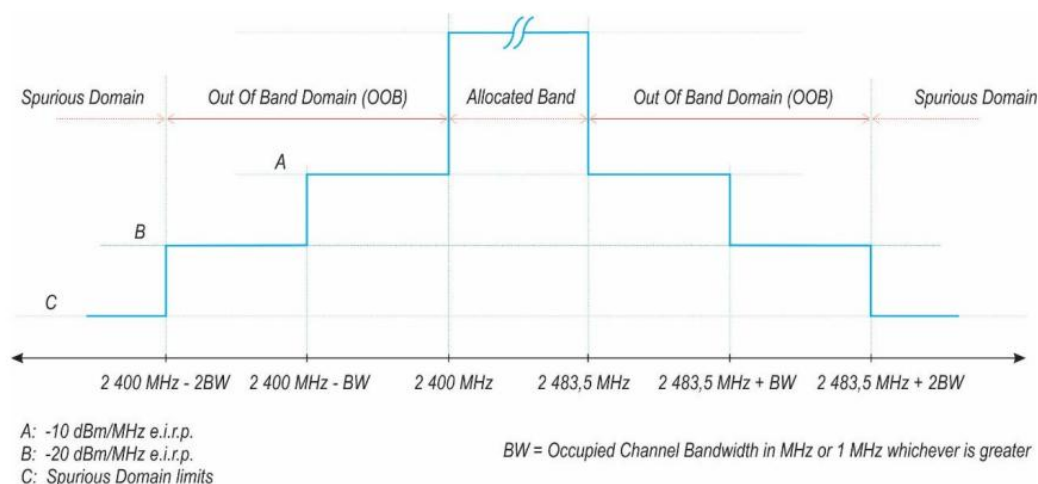


Figure 1: Transmit mask

Table 4: Transmitter limits for spurious emissions

Frequency range	Maximum power	Bandwidth
30 MHz to 47 MHz	-36 dBm	100 kHz
47 MHz to 74 MHz	-54 dBm	100 kHz
74 MHz to 87,5 MHz	-36 dBm	100 kHz
87,5 MHz to 118 MHz	-54 dBm	100 kHz
118 MHz to 174 MHz	-36 dBm	100 kHz
174 MHz to 230 MHz	-54 dBm	100 kHz
230 MHz to 470 MHz	-36 dBm	100 kHz
470 MHz to 694 MHz	-54 dBm	100 kHz
694 MHz to 1 GHz	-36 dBm	100 kHz
1 GHz to 12,75 GHz	-30 dBm	1 MHz

Ces mesures garantissent que le signal émis par le module respecte le masque de densité spectrale (Power Spectral Density Mask) et limite tout risque d'interférence avec les services radio opérant dans la même bande. Gabarit d'immunité – EN 301 489-1 Du côté de la réception, le système doit tolérer un champ électromagnétique d'environ 3 V/m, valeur représentative d'un environnement Wi-Fi classique, sans dégradation de performance. L'étage d'entrée RF du module ESP32-WROOM-32 (LNA associé au filtre passe-bande interne) assure le rejet des signaux hors bande, réduisant les risques de désensibilisation ou de saturation en présence d'émetteurs proches.

3.5. Interprétation et conformité au cadre européen

Les essais fournis dans le rapport FCC correspondant à l'ESP32-WROOM-32 montrent des émissions hors bande inférieures à -36 dBm, un niveau plus strict que les limites imposées par la norme EN 300 328. Le filtrage RF intégré dans le module permet ainsi :

- Le respect du gabarit spectral imposé par EN 300 328,
- La limitation des émissions parasites dans les bandes adjacentes,
- Le maintien de la CEM conformément à EN 301 489-1.

Aucune correction externe n'est nécessaire tant que l'intégration dans l'équipement final (Volume Dial) respecte les conditions suivantes :

- Maintien d'une liaison RF à impédance 50 Ω entre le module et l'antenne,
- Absence de tout étage d'amplification additionnel,
- Utilisation dans le même domaine de puissance que celui évalué en FCC (≤ 20 dBm EIRP).

Les filtres internes et les performances spectrales mesurées dans les essais FCC assurent la conformité avec la directive RED 2014/53/EU, ainsi qu'avec les normes européennes applicables : EN 300 328 pour la partie radio, EN 301 489-1 pour la compatibilité électromagnétique et EN 62311 pour l'exposition RF dans le domaine grand public.

En conclusion, l'ESP32-WROOM-32 satisfait aux exigences de pureté spectrale, de puissance et d'immunité RF requises pour l'intégration dans le système Volume Dial, sans nécessité d'ajouter un filtre externe ou un traitement RF complémentaire.

4. Solution Technique

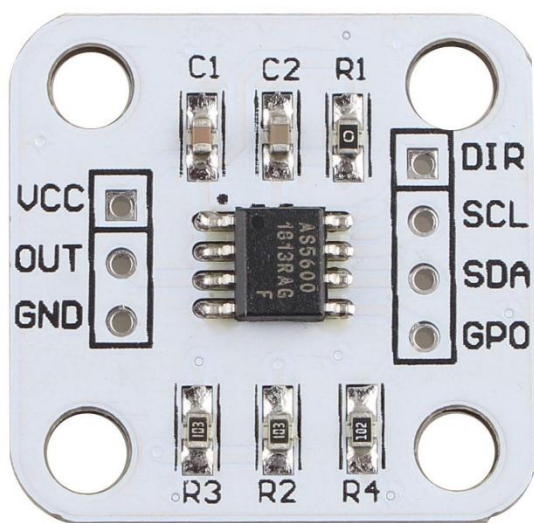
Cette section décrit les composants physiques du système Volume Dial, leur rôle, leur alimentation et leurs caractéristiques essentielles.

4.1. Encodeur magnétique AS5600

Le capteur AS5600 est un encodeur magnétique à angle absolu, utilisé pour mesurer la rotation de l'encodeur et convertir cette information en commandes de volume numériques. Il fonctionne avec une résolution de 12 bits et peut mesurer des angles de 0 à 360°.

- Fonction principale : conversion de la rotation mécanique en valeur numérique pour le contrôle du volume.
- Interface : bus I²C vers l'ESP32 client.
- Alimentation : 3,3 V fournie par l'ESP32 client.
- Caractéristiques techniques : faible consommation, haute précision, sensibilité réglable via logiciel, latence minimale.
- Avantage : lecture directe de l'angle absolu, permettant un contrôle réactif et continu du volume, sans dérive ou nécessité de recalibrage.

Dans le système, l'ESP32 client interroge l'AS5600 à intervalles réguliers, calcule la variation angulaire depuis la dernière lecture, et en déduit si le volume doit être augmenté ou diminué.



4.2. ESP32 Wroom 32 – Client

L'ESP32 client est le module de mesure et de transmission des données issues de l'encodeur AS5600.

Fonction principale : acquérir la valeur de rotation, calculer les incréments de volume et transmettre les informations au serveur.

Interface : I²C avec l'AS5600, Wi-Fi 2,4 GHz pour la communication avec le serveur.

Alimentation : USB 5 V.

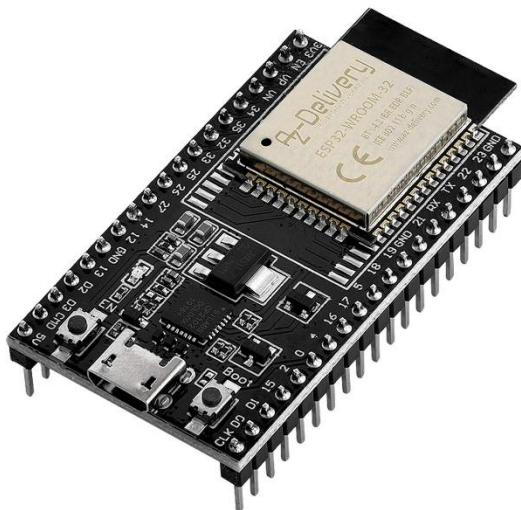
Traitement logiciel :

Détection du sens et de la vitesse de rotation pour gérer les variations rapides de volume.

Transmission uniquement des changements significatifs afin de réduire le trafic Wi-Fi.

Gestion d'éventuelles pertes de paquets et retransmission pour garantir la cohérence des données.

Le module client fonctionne de manière autonome et ne nécessite aucune intervention utilisateur. Il est optimisé pour minimiser la consommation tout en garantissant une latence très faible entre la rotation de l'encodeur et l'envoi des données.



4.3. ESP32 Wroom 32 – Serveur

Le serveur centralise les données reçues du client et agit comme passerelle vers le PC et la Tab5M5.

- Fonction principale : réception des variations de volume, envoi des commandes au PC et mise à jour de l'affichage.
- Interface : Wi-Fi 2,4 GHz avec le client, USB ou port série vers le PC, I²C/SPI vers la Tab5M5.
- Alimentation : USB 5 V.
- Traitement logiciel :
 - Filtrage et synchronisation des commandes pour éviter les sauts de volume.
 - Gestion des erreurs de communication Wi-Fi avec retransmission.
 - Maintien de la cohérence des valeurs de volume entre le PC et l'affichage Tab5M5.

Le serveur agit comme un hub central, garantissant que chaque rotation de l'encodeur entraîne une mise à jour instantanée du volume sur le PC et de l'affichage, avec une latence minimale.

4.4. M5Stack Tab5

La tablette Tab5M5 fonctionne comme interface utilisateur et terminal de visualisation.

- Fonction principale : afficher en temps réel le niveau de volume.
- Interface : Wi-Fi 2,4 GHz connecté au serveur.
- Alimentation : USB 5 V.
- Caractéristiques : écran tactile, processeur ESP32-P4, mémoire suffisante pour l'affichage fluide du volume.

La Tab5M5 reçoit les mises à jour du serveur et permet à l'utilisateur de visualiser le volume actuel de manière immédiate. L'affichage est réactif et synchronisé avec le PC et l'ESP32 client.



Le programme exécuté sur l'ESP32 client a pour rôle principal de convertir la rotation mécanique de l'encodeur AS5600 en commandes numériques de volume et de les transmettre au serveur.

- L'ESP32 client interroge régulièrement l'AS5600 via le bus I²C pour récupérer l'angle absolu.
- Les variations angulaires sont calculées pour déterminer l'augmentation ou la diminution du volume.
- Les valeurs de volume sont transmises au serveur via Wi-Fi 2,4 GHz.

En résumé, l'ESP32 client fonctionne comme un capteur intelligent connecté : il capture les mouvements de l'encodeur, transforme les rotations en commandes de volume et communique de manière sécurisée avec le serveur. Cette architecture permet :

- Une mise à jour en temps réel du volume sur le PC,
- Une visualisation instantanée sur la Tab5M5,

5. Troubleshooting

Cette section recense les principaux problèmes susceptibles d'être rencontrés lors de l'intégration ou de l'utilisation du système Volume Dial, ainsi que leurs causes probables et solutions.

Valeurs de l'encodeur instables

- Symptôme : Les valeurs lues par l'ESP32 client fluctuent ou semblent erratiques.
- Cause : Le signal DIR de l'encodeur n'est pas correctement référencé.
- Solution : Connecter la pin DIR à la masse pour stabiliser les lectures.

Tab5M5 ne se connecte pas au serveur

Symptôme : La Tab5M5 n'affiche pas la valeur du volume, pas de communication avec le serveur.

Cause : Blocage logiciel ou problème de connexion Wi-Fi.

Solution : Réinitialiser la Tab5M5 pour rétablir la connexion au serveur.

ESP32 client ne récupère pas les valeurs de l'encodeur

- Symptôme : Aucune donnée n'est transmise au serveur, le volume reste inchangé.
- Cause : Les broches I²C (SDA et SCL) sont mal connectées ou inversées.
- Solution : Vérifier que SDA et SCL sont correctement câblées vers l'encodeur AS5600.

ESP32 client bloqué ou non communicant

- Symptôme : L'ESP32 client ne transmet aucune donnée au serveur.
- Cause : Blocage logiciel ou perte de connexion Wi-Fi.
- Solution : Réinitialiser l'ESP32 client et vérifier la connexion Wi-Fi avec le serveur.

Conclusion

Le projet Volume Dial a abouti à la conception d'un système embarqué permettant le contrôle du volume d'un PC via un encodeur magnétique, avec communication en temps réel et affichage déporté. L'étude radiofréquence a permis de vérifier la compatibilité des modules ESP32 Wroom 32 utilisés avec les exigences de la directive RED 2014/53/UE et les normes ETSI EN 300 328 et EN 301 489-17, assurant une transmission Wi-Fi 2,4 GHz stable et sécurisée. L'ensemble du système répond également aux exigences de sécurité électrique (EN 62368-1) et de compatibilité électromagnétique, garantissant un fonctionnement fiable dans un environnement intérieur. Ce travail illustre la maîtrise des aspects RF, normatifs et systèmes embarqués, tout en posant les bases d'une future validation en laboratoire et d'une évolution vers une version pré-industrielle du dispositif.