

Projet de diplôme

Technicien ES en génie électrique,
spécialisation électronique

2312

Système d'accès par badge pour place de travail

Réalisé par :

Miguel Santos

Expert n° 1 :

Emilien Coulinge

Maître de diplôme :

Philippe Bovey

Expert n° 2 :

Daniel Bommottet

Table des matières

1 Introduction	7
1.1 Contexte	7
1.2 But du projet	7
1.3 Organisation	7
2 Conception	8
2.1 Schéma-bloc du système	8
2.2 Connecteurs 230VAC	9
2.3 Convertisseur AC/DC	10
2.4 Commutation 230VAC	11
2.5 Microcontrôleur	12
2.6 Ethernet	14
2.7 Module Wi-Fi	16
2.8 RFID	17
2.9 LEDs d'interface	18
2.10 LEDs témoins	19
2.11 Buzzer	19
2.12 Points de mesure	20
2.13 Boitier	20
2.14 Serveur externe	21
3 Hardware	22
3.1 Vues des couches du PCB	22
3.2 Vues réalistes du PCB	23
3.3 Spécifications du PCB	24
3.4 Règles de fabrication	24
3.5 Placement des composants	25
3.6 Largeurs de pistes	26
3.7 Pistes d'alimentation +3V3	26
3.8 Pistes de puissance 230 [VAC]	26
3.9 Plan de masse	27
3.10 Oscillateurs externes	27
3.11 Ethernet	28
3.12 ESP32	29
3.13 Boitier	29
4 Firmware	30

4.1 Approche utilisée	30
4.2 Machine d'état global	30
4.3 Librairies utilisées	31
4.4 Librairie : ESP	32
4.5 Librairie : CHU	33
4.6 Librairies : RFIDB1Client	34
4.7 Librairie : BZR	35
4.8 Librairie : TLC5973"	36
4.9 Librairie : SerialTimer	37
4.10 Calculs des timers	37
5 Software	38
6 Mesures	39
6.1 Matériel utilisé	39
6.2 Convertisseur AC/DC	39
6.3 Commutation 230VAC	40
6.4 Module RFID	41
6.5 Module ESP32	42
6.6 TLC5973.	43
6.7 Buzzer	44
7 Etat d'avancement	45
8 Conclusion	46
9 Bibliographie	47
10 Logiciels	49
11 Figures	50
12 Tableaux	51
13 Equations	52
14 Annexes	53
14.1 Cahier des charges	53
14.2 Planification	53
14.3 Journal de travail	53
14.4 Procès-verbaux des séances hebdomadaires	53
14.5 Schémas électroniques	53
14.6 Fichiers de fabrication	53
14.7 Liste des règles Altium	53
14.8 Code source firmware	53

14.9 Fiche de modifications	53
14.10 Mode d'emploi	53

Glossaire

ETML	École Technique et des Métiers de Lausanne
ES	École Supérieure
CDC	Cahier Des Charges
PCB	Printed Circuit Board
RFID	Radio Frequency Identification
PWM	Pulse Width Modulation
GPIO	General Purpose Input Output
RMII	Reduced Media-Independent Interface
MDI	Medium Dependent Interface
ABS	Acrylonitrile Butadiène Styrène
PETG	PolyEthylene Terephthalate Glycol
PLA	Acide Polylactique

1 Introduction

1.1 Contexte

Ce projet est réalisé dans le cadre de la formation en École Supérieure (ES) en génie électrique, spécialisation électronique. Il constitue la validation finale des connaissances et des compétences acquises tout au long de la formation. Sa réussite conduit à l'obtention du diplôme de l'ES.

Ce projet est réalisé en fin de formation et possède une durée de 5 semaines. Un enseignant de l'ES, nommé le Maître de diplôme, en assure le suivi. Ce dernier réalise l'évaluation finale de ce rapport ainsi que de la défense orale, conjointement à deux experts externes.

1.2 But du projet

L'objectif de ce projet est de réaliser un système d'accès par badge aux différents équipements disponibles à l'ES. En fonction des droits accordés à la personne, l'alimentation électrique des différents équipements sera activée ou non. Cela concerne notamment chacune des places de travail des étudiants et le « local de montage » de l'ES.

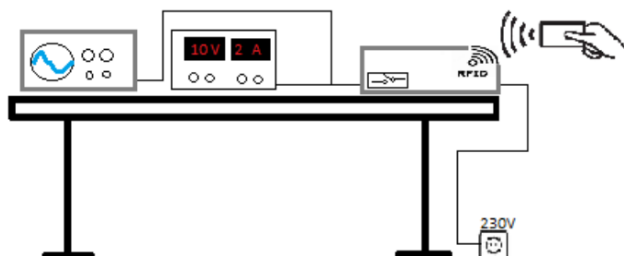


Figure 1 : Illustration du système, issu du CDC

Le principal but est d'améliorer la gestion de la consommation électrique en évitant les oublis d'extinction des appareils, d'assurer la sécurité des stations de brasage en réduisant les risques d'incendie, de gérer les droits d'utilisations et de fournir un suivi à l'aide d'un journal.

Le système électronique doit être capable de lire un badge RFID, d'activer ou de désactiver un commutateur 230 VAC en fonction des informations stockées dans une base de données accessible via Ethernet ou Wi-Fi. Il devra également gérer le concept de timeout en utilisant des indications lumineuses et/ou sonores. Le dispositif doit avoir une adresse permettant de le relier à la base de données pour enregistrer des informations telles que l'identité de l'utilisateur, la fréquence et la durée d'utilisation.

La conception du système, la réalisation d'un circuit imprimé (PCB) et sa programmation représentent les exigences minimales de la formation.

Le projet est mandaté par l'ES, qui a fourni un cahier des charges (CDC) détaillant les exigences précises du projet (Annexe 14.1).

1.3 Organisation

Le projet a été planifié en différentes phases et une documentation quotidiennes des activités a été réalisée dans un journal de travail.

Une réunion hebdomadaire était organisée avec le Maître de diplôme afin d'examiner l'évolution du projet. Un procès-verbal a été dressé à chaque séance.

Ces documents sont disponibles en annexes de ce rapport. (14.2 à 14.4)

2 Conception

Cette partie vise à expliquer les raisons des choix de composants, en mettant en avant leurs avantages, inconvénients et dimensionnement.

Les datasheets des composants sont référencées en bibliographie ou accessibles via les liens dans les tableaux. Les schémas électroniques correspondants sont joint en annexe (14.5).

2.1 Schéma-bloc du système

Le schéma-bloc suivant résume les composants du système :

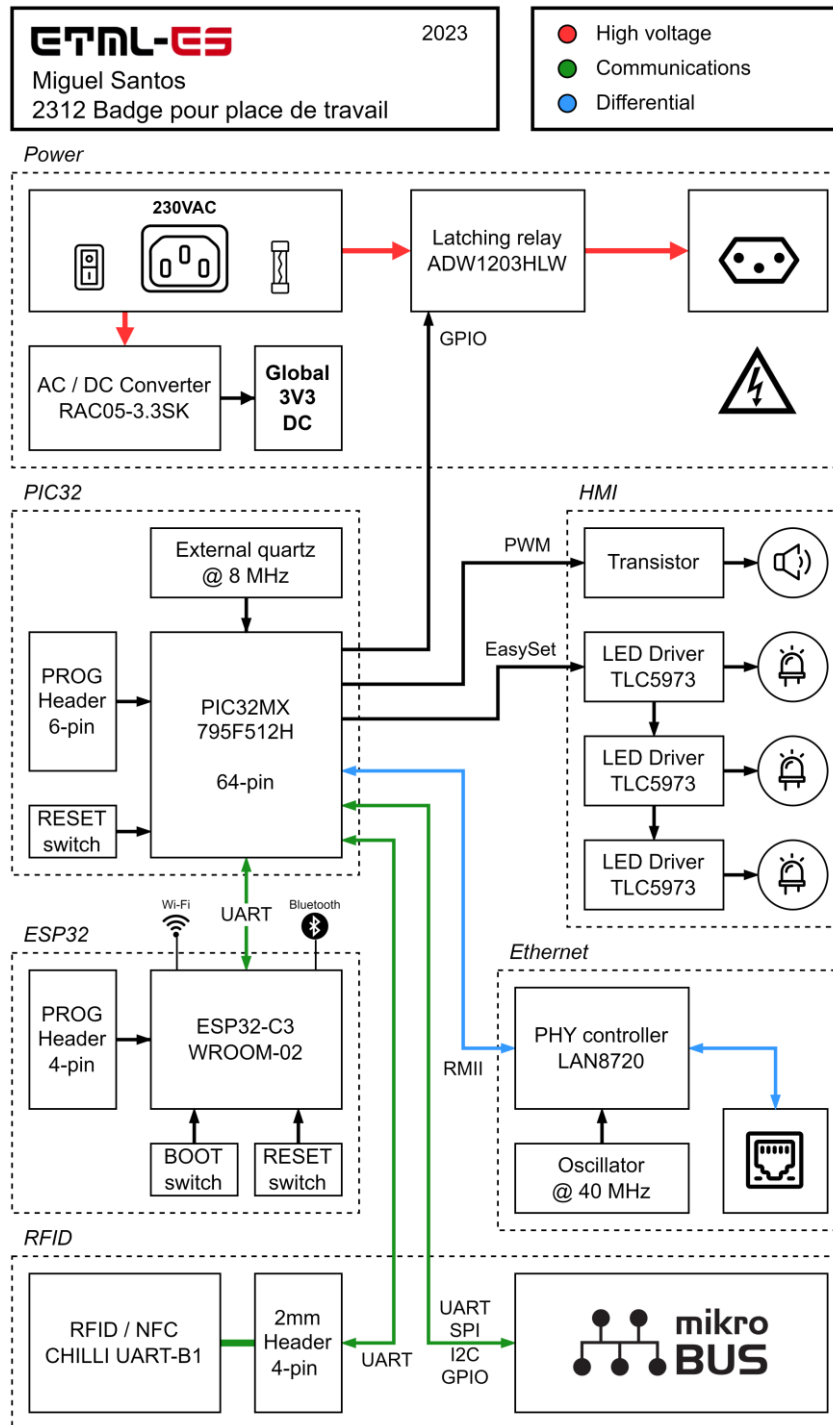


Figure 2 : Schéma-bloc du système

2.2 Connecteurs 230VAC

L'appareil doit être alimenté directement sur le réseau électrique. Il doit aussi pouvoir fournir une sortie 230VAC avec le courant standard d'une prise électrique (10A).

L'entrée est réalisée au moyen d'un câble et d'une prise IEC C14 standard, couramment utilisée au sein de l'ES. Celle-ci est montée sur le boîtier et intègre un porte-fusible et un interrupteur, connectés en interne, pour assurer la sécurité du circuit et de l'utilisateur.

La sortie du circuit est réalisée avec un câble doté d'une prise électrique CH (T13) femelle permettant de connecter un appareil ou une multiprise.


Connecteur d'entrée 230VAC		Datasheet [1]
Fabricant	Schurter	
N° de fabricant	DD11.0111.1111	
Tension nominale	250 RMS [VAC]	
Courant nominale	10 [A]	
Taille fusible	5 x 20 [mm]	
Puissance fusible	2 [W]	
Interrupteur	2 pos. / non-illuminé Disjoncteur thermique	

Tableau 1 : Caractéristiques principales de la prise IEC C14

Les connecteurs externes sont reliés à des borniers pour acheminer la phase et le neutre à travers le PCB, utilisés par le convertisseur AC/DC et la commutation via le relai.

La mise à la terre est établie directement de l'entrée à la sortie, le boîtier ou le circuit ne nécessitant pas de protections particulières contrairement aux appareils connectés à la sortie.


Borniers		Datasheet [2]
Fabricant	Würth Elektronik	
N° de fabricant	69140170000xB	
Tension nominale	300 RMS [VAC]	
Courant nominale	10 [A]	
Positions (x)	2 & 4 [-]	

Tableau 2 : Caractéristiques principales des borniers

Tous les composants ci-dessus sont conçus pour supporter le courant maximal d'une prise électrique standard (10A) ainsi que la tension du réseau (230VAC RMS).

2.3 Convertisseur AC/DC

L'appareil étant directement alimenté à partir du réseau électrique, il est nécessaire d'employer un convertisseur AC/DC afin de fournir la tension nécessaire au circuit. Celle-ci a été fixée à +3,3VDC car elle est nécessaire aux principaux composants, tel que le microcontrôleur ou le module RFID.

Le courant maximal nécessaire a été déterminé en se basant sur les datasheets des composants, avec une marge de sécurité de 10% en cas d'imprévus (Tableau 3).

Estimation du courant maximal		[mA]
Microcontrôleur	PIC32MX795F512H	100
Modules RFID	CHILLI UART	100
	RFID CLICK	100
Module Wi-fi	ESP32-C3-WROOM	345
Module Ethernet	Module Ethernet	220
Commutation 230VAC	Relai 230V	140
Interfaces	LEDS RGB	180
	Buzzer	90
Total		1285
Avec marge de 10%		1413,5

Tableau 3 : Estimation du courant maximal

Le module choisi (Tableau 4) ne nécessite pas de composants externes et se distingue de ces concurrents par sa taille et son rapport qualité/prix. Il intègre des protections contre les surtensions, les courts-circuits, et un fusible. Bien que son rendement soit relativement bas en utilisation intensive, il se montre plus efficace en cas de faible consommation.


Convertisseur AC/DC		Datasheet [3]
Fabricant	RECOM	
N° de fabricant	RAC05-3.3SK	
Tension d'entrée	85 ~ 264 RMS	
Tension de sortie	3.3	
Courant de sortie max.	1515	
Fréquence interne	130	

Tableau 4 : Caractéristiques principales du convertisseur AC/DC

Une attention particulière est nécessaire en cas de développements futurs impliquant des technologies RFID proches de la fréquence de fonctionnement de 130kHz. Les badges utilisés dans ce projet ne se situent pas dans cette plage.

Bien que facultatifs, des condensateurs ont été ajoutés en sortie du circuit pour garantir la stabilité de la tension. Les valeurs ont été choisies de manière arbitraire. (Figure 3)

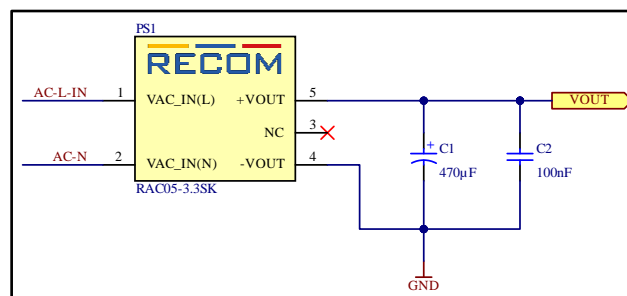


Figure 3 : Schéma du convertisseur AC/DC

2.4 Commutation 230VAC

L'utilisation d'un relais permet de réaliser la commutation de la sortie 230VAC tout en assurant une isolation galvanique entre les sections à haute et basse tension. Contrairement à d'autres alternatives, telles que les optocoupleurs, un relai présente l'avantage de pouvoir commuter des puissances plus élevées. Cependant, les contacts mécaniques ont l'inconvénient de s'user plus rapidement et il nécessite un courant de contrôle plus élevé.

Un relai à verrouillage est employé car il peut maintenir sa position pendant de longues périodes sans nécessiter une alimentation constante, réduisant ainsi la consommation de courant. Il possède aussi deux bobines de contrôle, ce qui élimine la nécessité d'un circuit externe pour inverser la tension des bobines. Il est le moins coûteux parmi les rares modèles de ce type capable de fonctionner à une tension de 3,3VDC.


Relai de puissance		Datasheet [4]
Fabricant	Panasonic	
N° de fabricant	ADW1203HLW	
Tension de contact max.	277 RMS	
Courant de contact max.	16	
Tension de bobine nom.	3	
Courant de bobine nom.	133.3	
Type de bobine	Double bobine, à verrouillage	

Tableau 5 : Caractéristiques principales du relai de puissance

Des diodes de roue libres sont placées en parallèle des bobines pour protéger les composants des surtensions qui surviennent lorsque l'on désactive les bobines. Elles sont capables de supporter le courant et la tension inverse maximal de la bobine. Des diodes Schottky permettent de réagir rapidement aux variations soudaines de tension.

Les bobines sont contrôlées par des transistors externes, les résistances R3 et R4 fournissent un courant de base suffisamment élevé pour garantir la saturation du transistor, calculés comme suit :

$$R_B = \frac{U_{RB}}{I_{RB}} = \frac{(V_{CC} - V_{BE}) * 10}{I_L} = \frac{(3,3 - 0,7) * 10}{0,133} \cong 195 \Omega \rightarrow 180 \Omega \text{ E12}$$

Équation 1 : Résistance de base du transistor

Des résistances de « pull-up » et « pull-down » permettent d'assurer l'état des transistors au démarrage. La datasheet n'étant pas explicite sur quelle bobine est « set » ou « reset », des emplacements sont prévus sur chaque transistor. Cependant, leur nécessité est remise en question car le microcontrôleur peut potentiellement assurer cet état par défaut. Des tests de mise en service sont prévus pour confirmer cela, en particulier pour vérifier l'absence d'impulsions au démarrage.

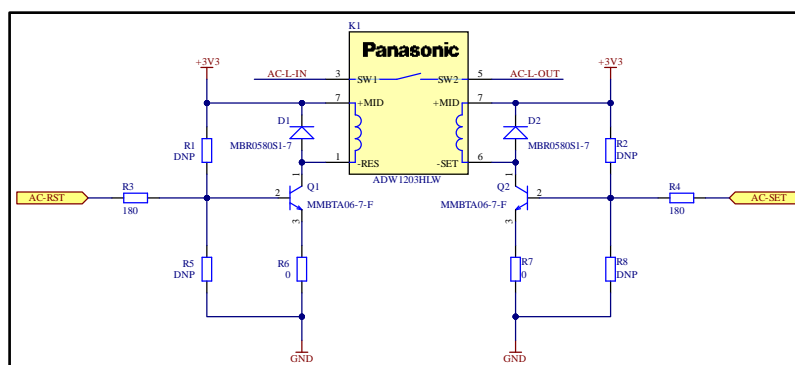


Figure 4 : Schéma du relai de puissance

2.5 Microcontrôleur

Le microcontrôleur a pour but de coordonner et gérer les différents périphériques. Il sert notamment d'interface entre le module RFID, le module Wi-Fi ainsi que les LEDs et le buzzer.

Un microcontrôleur de la famille PIC32 a été choisi en raison de sa popularité à l'ES et sa relative facilitée de programmation avec MPLAB X. La série MX795 utilisée à l'ES apparaît comme le choix idéal grâce à son intégration du module Ethernet MAC, essentiel pour la connectivité Ethernet, ainsi que sa gamme étendue de périphériques de communication. Néanmoins, les PIC32 présentent l'inconvénients d'avoir une certaine rigidité dans le choix des broches pour les périphériques, ce qui nécessite une certaine attention lors de la phase de conception.

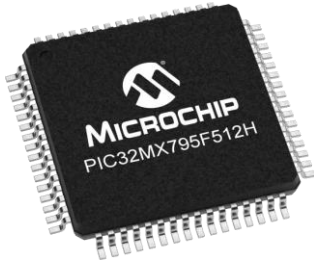
Microcontrôleur		Datasheet [5]
Fabricant	Microchip	
N° de fabricant	PIC32MX795F512HT-80I/PT	
Boîtier	64-TQFP	
Tension d'alimentation	2,3~3,6 [V]	
Fréquence	80 [MHz]	
Mémoire Flash	512 [ko]	
Mémoire RAM	128 [ko]	
Connectivité	CANbus, Ethernet, I ² C, SPI, UART/USART, USB OTG	
Nombre d'E./S.	53	

Tableau 6 : Caractéristiques principales du microcontrôleur

Il a été déterminé que les périphériques internes suivants sont nécessaires :

Périphériques interne PIC32		
Périphérique	# pin	Fonctionnalité
PGEx	2	Programmation et debug
OSCx	2	Oscillateur externe
Ethernet MAC	11	Connexions avec contrôleur PHY
UART	6	Communication avec l'ESP32
		Communication avec RFID / Chilli UART B1
		Réservé pour mikroBUS
SPI	4	Réservé pour mikroBUS
I2C	2	Réservé pour mikroBUS
OC	2	(Contrôle des LEDs)
		Contrôle du Buzzer
GPIO	1	Reset de l'ESP32
	2	Contrôle du relai
	4	Réservé pour mikroBUS
Total	36	

Tableau 7 : Périphériques et nombre de broches nécessaires pour le PIC32

Ce constat a conduit à l'élimination du boîtier 44 broches en raison de l'espace insuffisant pour les broches d'alimentation, ce qui a entraîné un choix arbitraire en faveur du boîtier 64 broches. Lors de l'assignation des broches, ce choix s'est avéré optimal car la capacité maximale en termes de périphériques a été atteinte (Figure 5).

Le modèle avec la mémoire interne maximale est sélectionné pour prévenir les limitations en programmation, avec la possibilité de la réduire ultérieurement.

Il ne faut pas oublier les résistances pull-up externes pour l'I2C, une valeur de 10 kΩ est recommandée selon les spécifications du standard.

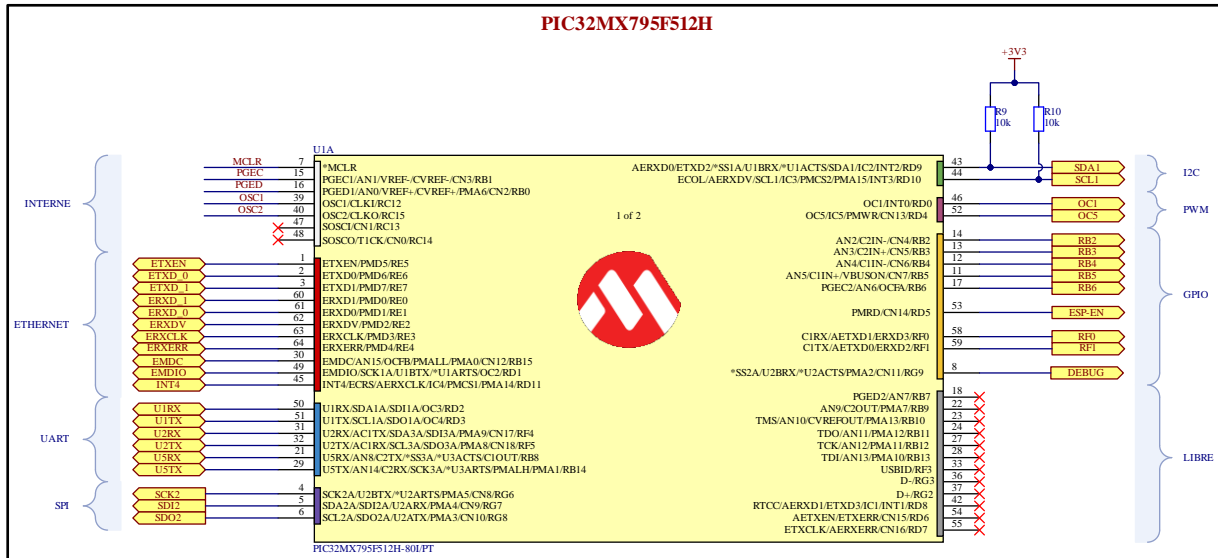


Figure 5 : Assignment des broches du PIC32

La datasheet du fabricant fournit les recommandations en terme de découplage de l'alimentation (Figure 6) et de connexion au port de programmation (Figure 7). Un bouton a été rajouté pour permettre un redémarrage manuel.

Les valeurs des condensateurs nécessaires pour le quartz externe (Figure 8) ont été calculées en utilisant la formule suivante, ainsi que les informations de la datasheet du fabricant [6], en considérant que les deux condensateurs auront la même valeur :

$$C_L = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2} + C_0$$

$$C_1 = C_2 = 2 * (C_L - C_0) = 2 * (18 - 7) = 22 \text{ [pF]}$$

Équation 2 : Calcul des condensateurs du quartz externe

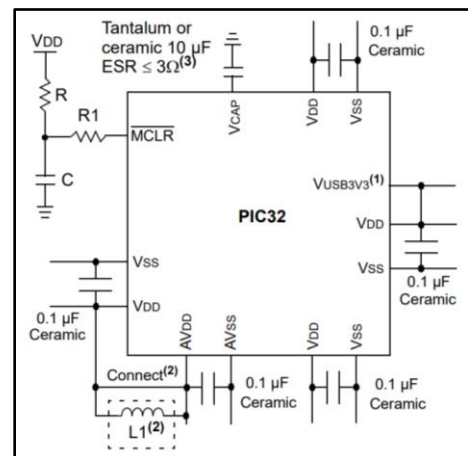


Figure 6 : Condensateurs de découplage PIC32

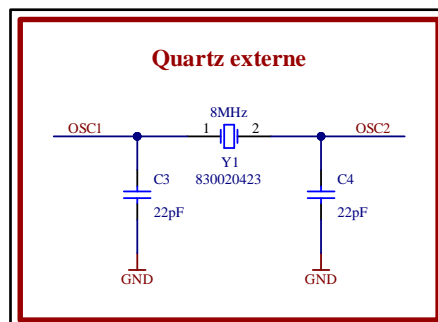


Figure 8 : Schéma du quartz externe PIC32

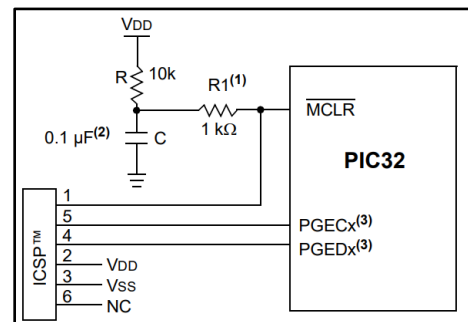


Figure 7 : Port de programmation PIC32

2.6 Ethernet

L'utilisation de l'Ethernet vise à fournir une option plus fiable que le Wi-Fi pour communiquer avec la base de données externe. Cependant, en raison de sa complexité, cette intégration est prévue en dernière priorité.

La première étape dans la mise en place d'une connexion Ethernet consiste à établir la connexion physique (couche OSI 1). Cette tâche est gérée par un contrôleur PHY, qui agit en tant qu'interface entre le connecteur RJ45 et l'Ethernet MAC (couche OSI 2) intégré au PIC32 ().

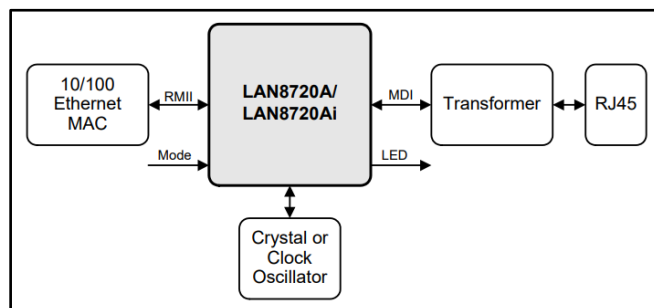


Figure 9 : Principe du contrôleur PHY

Pour simplifier la conception, le schéma du « Ethernet Starter Kit 2 » développé par Microchip a été reproduit [7] et notamment celui de la « PHY Daughter Board » présent sur le kit [8] (Figure 10). L'utilisation de composants du même fabricant garantit une certaine synergie et offre l'avantage d'avoir la configuration du contrôleur PHY directement disponible dans l'IDE.


Contrôleur PHY		Datasheet [9]
Fabricant	Microchip	
N° de fabricant	LAN8720A-CP-TR-ABC	
Boîtier	24-QFN	
Tension d'alimentation	1,62~3,6 [V]	
Interface	RMII	
Ethernet	10/100BASE-T	

Tableau 8 : Caractéristiques principales du contrôleur PHY

Le port RJ45 est doté de transformateurs de couplage. Leur rôle est d'assurer une isolation galvanique entre la ligne Ethernet et le circuit, permettant de le protéger contre les surtensions ou les perturbations électromagnétique. L'isolation galvanique permet aussi de garantir les caractéristiques d'impédances de la ligne et du circuit.


Connecteur RJ45		Datasheet [10]
Fabricant	CUI devices	
N° de fabricant	CRJ011-ML3-TH	
Blindage	Blindé	
Magnétiques	Intégrés	
Ethernet	10/100BASE-T	

Tableau 9 : Caractéristiques principales du connecteur RJ45

L'oscillateur externe assure le fonctionnement du contrôleur PHY (Figure 11).

Les contraintes de placement et de routage sont détaillées dans la partie hardware.

Dans la figure ci-dessous, les résistances R14 à R17 adaptent l'impédance avec une valeur de 50Ω par fil, 100Ω par ligne différentielle. Les condensateurs C9 à C13, destinés à la réduction du bruit, n'ont pas été inclus dans le circuit, de même que la ferrite isolant l'alimentation analogique du +3V3. Ceci est basé sur l'analyse d'un circuit équivalent à l'ES où ces éléments n'étaient pas présents, mais le fonctionnement restait garanti pour les vitesses de communication concernées.

Les protocoles de communication utilisés que sont le RMII et le MDI nécessitent l'utilisation de paires différentielles. Celles-ci ont pour but de réduire les interférences sur la ligne. Pour cela, elles doivent posséder une impédance caractéristique, détaillé dans la partie hardware.

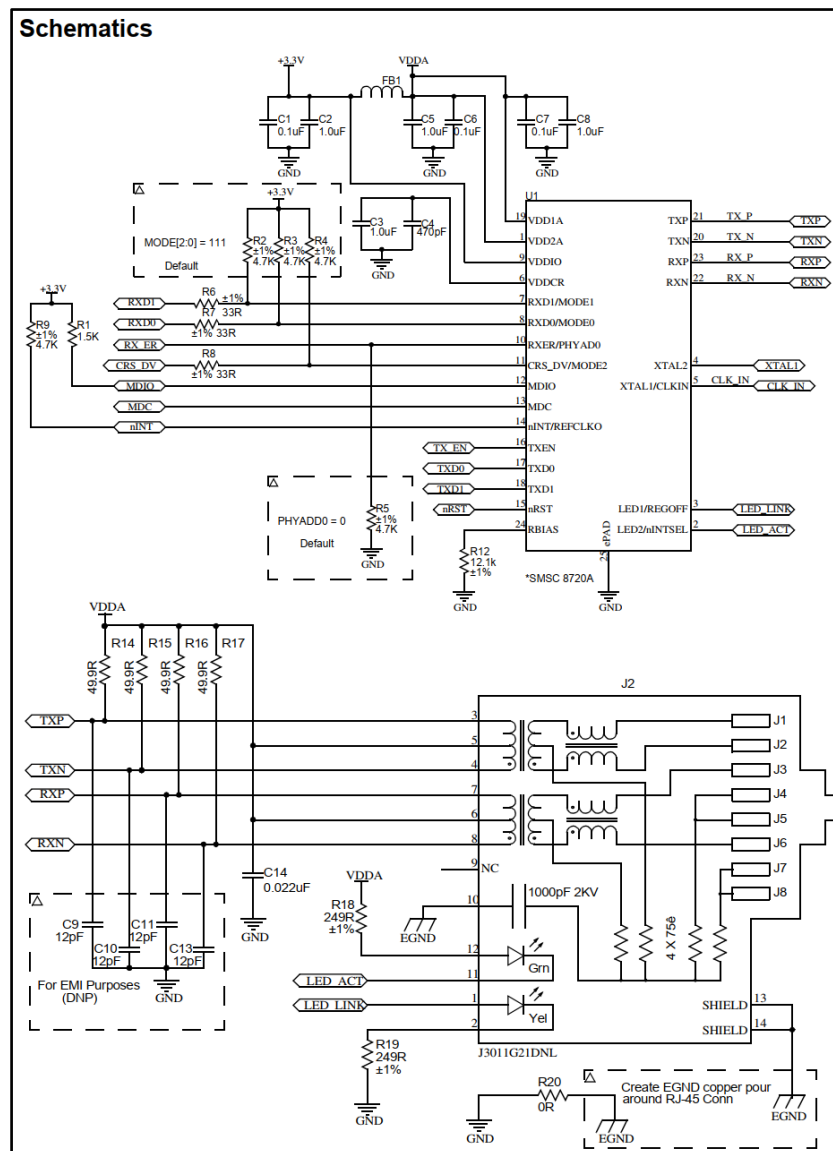


Figure 10 : Schéma de la "PHY Daughter Board"

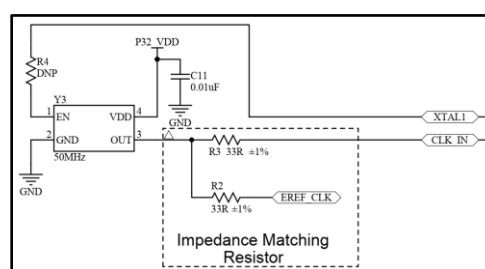


Figure 11 : Schéma de l'oscillateur externe sur le "Ethernet Kit 2"

2.7 Module Wi-Fi

Un module Wi-Fi permet d'assurer la connectivité sans fil avec la base de données externe. Il permet ainsi de vérifier les droits accordés aux badges scannés.

Un module « ESP32-C3 » a été sélectionné parmi les projets réalisés au sein de l'ES. Cela permet ainsi de bénéficier de l'expérience et de la documentation d'anciens étudiants ou des enseignants. Sa popularité et sa documentation abondante participent aussi à en faire un choix idéal.

Son contrôle s'effectue par l'envoi d'instructions AT à l'aide d'une communication UART. Le « ESP-AT User Guide » fournit une liste détaillée des commandes à utiliser [11].


Module Wi-Fi ESP32		Datasheet [12]
Fabricant	Espressif	
N° de fabricant	ESP32-C3-WROOM-02-N4	
Tension d'alimentation	3 ~ 3.6 [VDC]	
Courant de réception	82 ~ 84 [mA]	
Courant de transmission	280 ~ 345 [mA]	
Protocoles	802.11b/g/n, Bluetooth v5.0	

Tableau 10 : Caractéristiques principales du module Wi-Fi

Le module doit être préalablement programmé en mode « Boot Download » via le port de programmation. Pour cela, il suffit d'activer certaines broches à l'état haut lors du démarrage, conformément à la datasheet (Figure 12).

Booting Mode ¹			
Pin	Default	SPI Boot	Download Boot
GPIO2	N/A	1	1
GPIO8	N/A	Don't care	1
GPIO9	Internal weak pull-up	1	0

Figure 12 : Modes de démarrage de l'ESP32

Sur ce circuit, il faut maintenir le bouton « BOOT » enfoncé et redémarrer le module avec le bouton « RESET ». Les broches « IO2 » et « IO8 » peuvent être maintenues à l'état haut en utilisant une résistance de pull-up de 10kΩ, comme l'indique le fabricant dans la datasheet.

Des détails supplémentaires concernant la programmation sont disponibles dans la partie software.

(Corrections à apporter : voir fiche de modification)

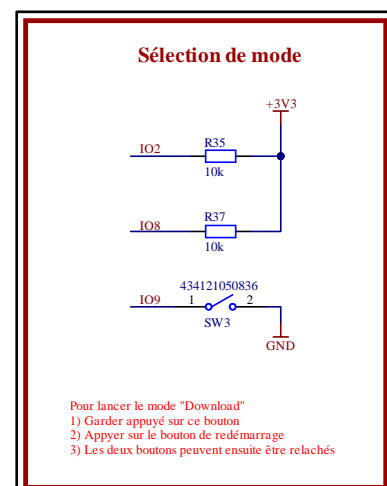


Figure 13 : Schéma de sélection du mode de l'ESP32

2.8 RFID

Des badges sont mis à disposition des élèves de l'ETML-ES pendant toute la durée de leur formation. Ceux-ci sont utilisés dans ce projet afin d'éviter aux élèves la nécessité de multiples badges. Un lecteur doit récupérer l'ID du badge scanné pour déterminer ensuite les droits qui lui sont accordés en interrogeant une base de données externe.

La technologie du badge a été identifiée à l'aide de l'application « NFC Tools » sur un smartphone Samsung S23 Ultra. La figure ci-dessous montre le fabricant et le modèle de la puce interne. Des informations techniques supplémentaires sont disponibles sur le site web du fabricant.[13]

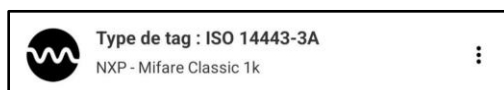


Figure 14 : Technologie du badge RFID de l'ES

En résumé, le badge utilise puce RFID à 13,56MHz et dispose d'une mémoire d'un kilo-octet.

Lors de la recherche d'un lecteur compatible, le choix s'est porté vers un module tout-en-un afin de simplifier la conception, notamment de l'antenne. Deux modules se sont démarqués :


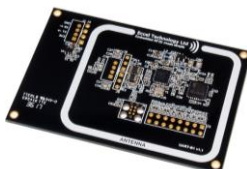
Comparaison des modules RFID		
Nom	RFID CLICK	CHILLI UART B1
Fabricant	MIKROE	Eccel Technology
Liens	Datasheet [14]	Datasheet [15]
Illustration		
Prix	25,23 CHF	34,82 CHF
Interface	UART, SPI	UART, GPIO
Taille	57,15 x 25,4 mm	75 x 50 mm
Connecteur	mikroBUS	Header 2,54 ou 2mm
Avantages	Déjà utilisé au sein de l'ES	Placement libre dans le boîtier Programmation simplifiée
Inconvénients	Antenne à faible portée	Coût plus élevé Taille plus grande

Tableau 11 : Comparaison des modules RFID

Le choix final s'est porté sur le module « Chilli UART B1 » en raison de sa liberté de placement dans le boîtier, prévu sur le dessus, ainsi que de sa portée d'antenne. Il sera connecté au circuit via un connecteur 2mm. Cependant, l'ES a demandé l'intégration d'une empreinte « mikroBUS » dans le système pour d'éventuels développements futurs, sans nécessité d'exécution immédiate.

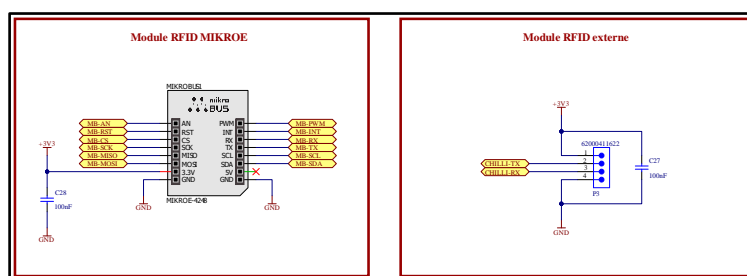


Figure 15 : Schéma des connecteurs des modules RFID

2.9 LEDs d'interface

Trois LEDs extérieures ont pour but d'informer l'utilisateur sur l'état du système. Notamment pour avertir sur l'extinction du système, si une communication Wi-Fi ou Ethernet a lieu et si le badge RFID a été accepté ou non.

Des LEDs RGB sont utilisées avec des drivers dédiés. Des LEDs bicolores étaient prévues, mais le choix s'est porté sur les LEDs RGB pour plus de possibilités sans différence de coût. Il s'agit d'une décision purement esthétique afin d'offrir plus de possibilités. Leur utilisation pourra être étudié et envisagé dans de futurs projets de l'ES.


LED d'interface RGB (x3)		Datasheet [16]
Fabricant	Würth Elektronik	
N° de fabricant	150141M173100	
Tension directe	R 2,0 - V 3,2 - B 3,2 [V]	
Courant maximal	30 [mA]	

Tableau 12 : Caractéristiques principales des LEDs RGB

Le driver LED comporte 3 canaux, adaptés au contrôle des LEDs RGB, réduisant la charge de courant au microcontrôleur. Le driver utilise la méthode « Grayscale », ajustant l'intensité de chaque couleur avec des signaux PWM pour créer une variété d'effets. La commande s'effectue via une seule ligne en série par un protocole propriétaire « EasySet ».

Une erreur de lecture de la datasheet a conduit à croire que la commande était basée sur des signaux PWM en entrée. La connexion a été établie avec une sortie OC du microcontrôleur, mais il aurait été préférable de la connecter à une sortie SPI pour simplifier le contrôle. *(Voir fiche de modification)*

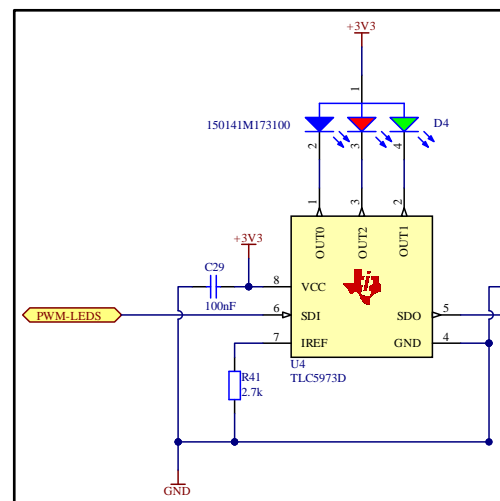


Figure 16 : Schéma des LEDs RGB d'interface

Le courant de sortie pour chaque canal est fixé par une unique résistance externe. La valeur est déterminée par la formule suivante, fourni par la datasheet :

$$R_{IREF} (k\Omega) = \frac{V_{IREF} (V)}{I_{OLC} (mA)} \times 43.4$$

Équation 3 : Résistance de limitation de courant du TLC5973

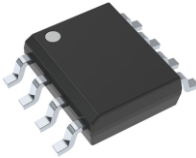
Driver de LED (x3)		Datasheet [17]
Fabricant	Texas Instrument	
N° de fabricant	TLC5973D	
Tension d'alimentation	3 ~ 6 [V]	
Tension par canal	21 [V]	
Courant par canal	50 [mA]	
Interface	3-Mbps « EasySet »	

Tableau 13 : Caractéristiques principales du driver de LED

Le protocole et la méthode de contrôle du circuit sont détaillés dans la partie software.

2.10 LEDs témoins

Deux LEDs sont placées sur le circuit, une indique la présence de l'alimentation, l'autre peut être contrôlée par le microcontrôleur à des fins de débogage. Elles ne sont pas visibles depuis l'extérieur du boîtier. Les LEDs ont été sélectionnées arbitrairement parmi le stock de l'ES. Leur courant et luminosité sont volontairement bas. Les résistances ont été calculés de la manière suivante :

$$R_{LED} = \frac{V_{CC} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{3,3 - 2}{0,004} = 325 [\Omega] \rightarrow 330 [\Omega] E12$$

Équation 4 : Calcul de la résistance des LEDs témoins

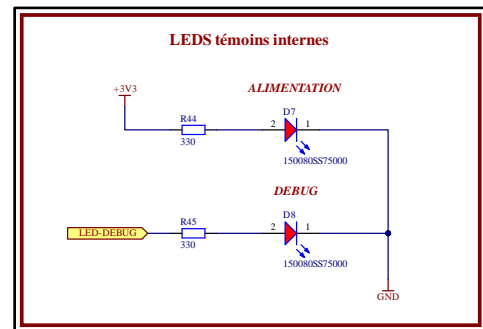


Figure 17 : Schéma LEDs témoins

2.11 Buzzer

Le buzzer a pour but d'informer l'utilisateur que la sortie 230 [VAC] va être désactivé et lui offrir la possibilité de prolonger la durée à l'aide de son badge.

Un buzzer magnétique a été choisi pour son volume sonore élevé par rapport à un buzzer piézoélectrique, malgré une consommation de courant plus élevée. L'objectif est de garantir que l'utilisateur puisse clairement entendre le signal pour éviter toute interruption inattendue de ses appareils. La consommation de courant est brève et aura finalement peu d'impact.

Une résistance placée en série permet de réduire le courant et le volume sonore. Sa valeur actuelle est de 0 [Ω] pour expérimenter, ajustable si nécessaire.

Le buzzer est contrôlé par un signal PWM à travers un transistor. Pour éviter les effets indésirables de la commutation, une diode de roue libre est placée en parallèle. Les mêmes transistors et diodes que le relais sont choisis pour simplifier le nombre de références de composants en s'assurant qu'ils soient bien adaptés. La formule utilisée est la même (Équation 1).

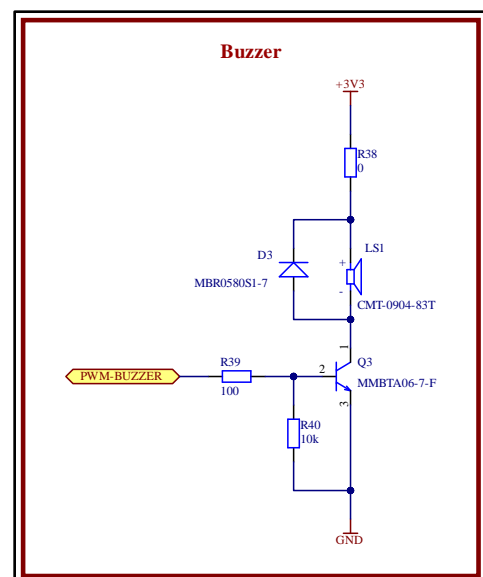


Figure 18 : Schéma du buzzer


Buzzer		Datasheet [18]
Fabricant	CUI Devices	
N° de fabricant	CMT-0904-83T	
Tension d'alimentation	2 ~ 5 [V]	
Courant maximale	90 [mA]	
Fréquence nominale	2730 [Hz]	

Tableau 14 : Caractéristiques principales du buzzer

2.12 Points de mesure

Divers header répartis sur la carte permettent la mesure de tous les signaux de communications, les PWMs et la plupart des GPIOs ainsi que l'alimentation et le débogage.

Points de mesure			
Composant	Protocole	Signal	Désignateur
ESP32	UART	TX	P8
		RX	
RFID Chilli	UART	TX	P6
		RX	
mikroBUS	UART	TX	P7
		RX	
	I2C	SCL	
		SDA	
	SPI	SCK	P10
		MISO	
		MOSI	
		CS	
	GPIO	AN	P9
		PWM	
		INT	
		RST	
LEDs RGB	PWM	OC1	P5
Buzzer	PWM	OC5	
PIC32	GPIO	DEBUG	TP2
AC/DC	-	+3V3	TP1
		(Courant)	P4
		GND	TP3, TP4

Tableau 15 : Liste des points de mesure du système

Il est recommandé de ne placer aucun point de test sur la partie concernant l'Ethernet, car cela présente peu d'intérêt au vu de la complexité des trames qui sont transmises et du risque d'influencer les signaux par le fait de les déporter sur le PCB.

2.13 Boitier

Il était initialement envisagé dans le CDC de se procurer un boitier disponible sur le marché. Après réflexions et négociations avec le mandant du projet, il a été décidé de réaliser un boitier imprimé en 3D. Cette méthode offre l'avantage de réaliser une conception réalisée entièrement sur mesure sans nécessité d'usinage. La charge de travail supplémentaire entraîné par la modélisation 3D sera en partie compensé par le gain de temps sur l'usinage d'un boitier standard.

Le matériau utilisé devra offrir une isolation et une résistance à la chaleur suffisamment élevée. Pour cela, des matériaux comme l'ABS ou le PETG semblent les plus adaptés. Le matériel le plus couramment utilisé dans l'impression 3D qu'est le PLA ne convient pas pour cette application ! En effet, sa tendance à absorber l'humidité et sa faible résistance à la chaleur représente un risque non négligeable lors de l'utilisation de hautes tensions et de courants élevés. (Expérience personnelle)

Des détails supplémentaires sur le boitier sont fournis dans la partie hardware.

2.14 Serveur externe

Un serveur externe est essentiel pour prendre en charge deux fonctionnalités principales : la configuration à distance et la gestion d'une base de données.

Cette base de données permet de stocker les informations concernant les badges d'accès et les autorisations qui leur sont associées. Un serveur web basique facilite l'accès à distance afin de configurer le système et administrer les droits d'accès. La base de donnée pourra être gérée en SQL ou par simple écriture dans un fichier csv.

Dans cette optique, l'utilisation du Raspberry Pi 3B+ se montre particulièrement appropriée. Le langage de programmation privilégié, Python, bénéficie d'un grand nombre de bibliothèques et d'une documentation abondante. La faible consommation de courant en fait une option idéale, car il restera constamment allumé.

L'ES dispose de stocks suffisants compte tenu de la pénurie actuelle



Figure 19 : Image du Raspberry Pi 3B+

3.3 Spécifications du PCB

Le PCB a été fabriqué par Eurocircuit, entreprise avec laquelle l'ES a l'habitude de collaborer. Voici ci-dessous (Tableau 16) les caractéristiques clés de ce PCB. Les paramètres à définir lors de la commande étaient fixés par l'ES. Le PCB a été commandé en collaboration avec d'autres étudiants sous la forme d'un panel afin de réduire les coûts.

Eurocircuit : « PCB proto »		
Matériel	FR-4 amélioré	
Nombre de couches	2	
Epaisseur de cuivre	35	[μm]
Longueur	130	[mm]
Largeur	87	[mm]
Epaisseur	1,55	[mm]

Tableau 16 : Spécifications principales du PCB

3.4 Règles de fabrication

Des règles de fabrication (Tableau 17) ont été intégrées dans le logiciel de CAO (Altium Designer) pour répondre aux normes de fabrication minimales de la catégorie « 6C » d'Eurocircuit [19].

Cette classe est choisie en raison de la préférence de l'ES avec ses spécifications. Elle représente le seuil idéal avant une augmentation notable des coûts de fabrication liés au PCB tout en offrant suffisamment de précision pour la plupart des circuits.

Eurocircuit : Classe 6C		
Largeur de piste	0.15	[mm]
Distances pistes et pads	0.15	[mm]
Largeur de pad	0.125	[mm]
Diamètre des perçages	0.35	[mm]

Tableau 17 : Règles principales de fabrication Eurocircuit - Classe 6C

Une liste complète des règles utilisées est disponible en annexe (14.7).

3.5 Placement des composants

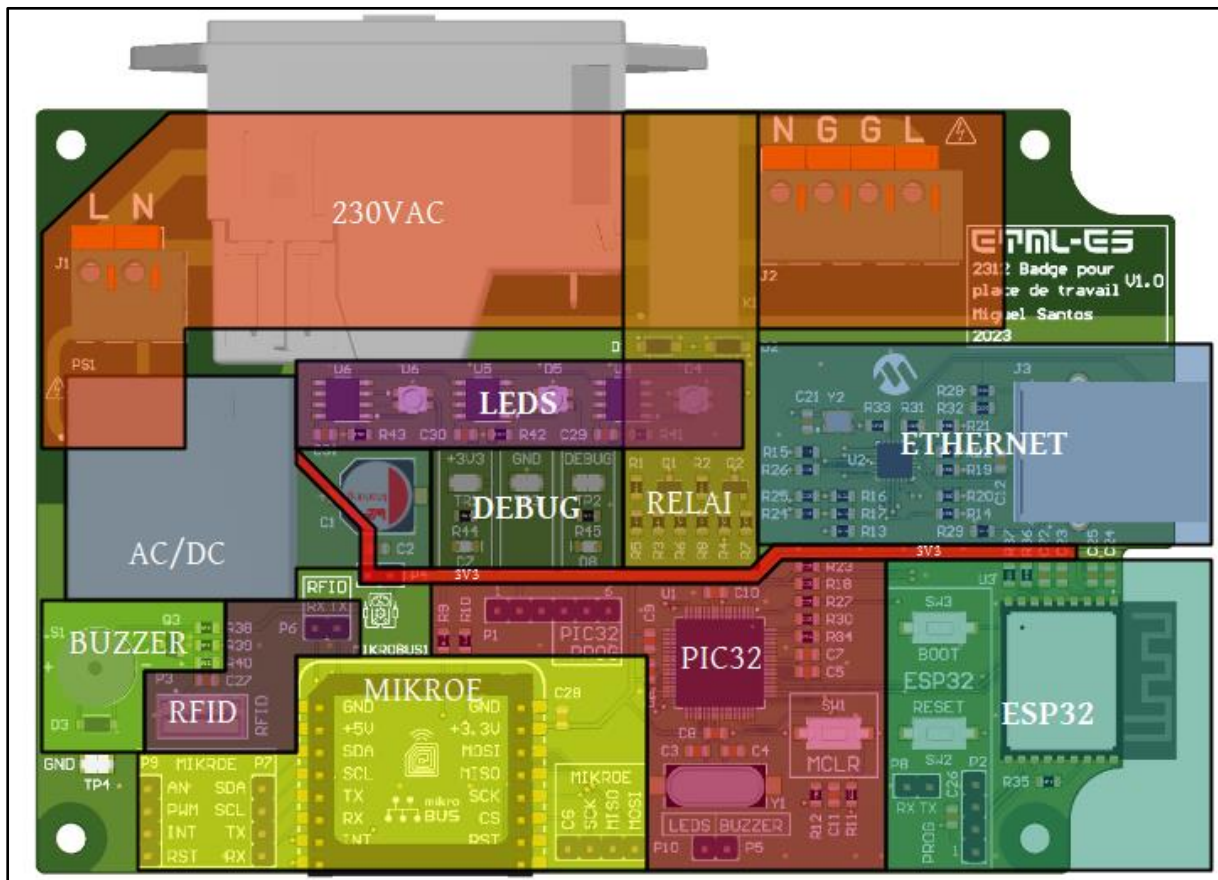


Figure 24 : Stratégie de placement des composants

Les composants liés au 230VAC ont été placés sur la partie supérieure, qui sera située vers l'arrière du boîtier. Cela permet de faciliter les connexions et de réduire les risques liés à la partie 230VAC.

Le convertisseur AC/DC a été placé le plus possible à distance des antennes (RFID et Wi-Fi) pour réduire le risque d'interférences, qui sont courantes avec ce type de composant.

Le PIC32 a été positionné au centre autant que possible au plus près de l'Ethernet et de l'ESP32, car ils nécessitent des vitesses de communication plus élevées.

Le connecteur RJ45 dépasse légèrement du bord du PCB pour être accessible depuis l'extérieur du boîtier par une ouverture dédiée. Le contrôleur PHY a été placé au plus proche du connecteur pour réduire la longueur des pistes différentielles.

L'empreinte « mikroBUS » a été placée à l'avant du boîtier pour permettre à une éventuelle antenne d'un module MikroB de dépasser et d'être accessible de l'extérieur.

Le connecteur RFID a été placé librement car le module sera déporté sur le dessus du boîtier.

Le relai est placé sur le chemin entre l'entrée et la sortie 230VAC. Son contrôle est partiellement superposé aux LEDs en raison de contraintes physiques de placement.

Les LEDs ont été alignées horizontalement au centre du boîtier. Leur position verticale est influencée par la présence du module RFID sur le dessus et de la partie 230VAC. Elles seront déportées vers le haut avec des guides lumineux pour être visible depuis l'extérieur du boîtier.

Le Buzzer a été placé en fonction de l'espace disponible.

3.6 Largeurs de pistes

Une attention particulière est nécessaire pour les pistes de puissance. Cela implique notamment de garantir des largeurs de pistes suffisantes pour le passage du courant. Celles-ci ont été déterminées à l'aide du calculateur de DigiKey (Tableau 18).

Largeurs des pistes de puissance Calculateur [20]				
Net	Courant	Elévation de température	Largeur minimale	Largeur sélectionnée
AC-L-IN AC-L-OUT	10 [A]	10 [°C]	7,19 [mm]	(8,00) [mm]
AC-N EARTH	5,0 [A]	10 [°C]	2,77 [mm]	3,00 [mm]
+3V3	1,6 [A]	10 [°C]	0,57 [mm]	1,00 [mm]

Tableau 18 : Largeurs des pistes de puissance

3.7 Pistes d'alimentation +3V3

La piste d'alimentation +3V3 est tracée sous forme d'un réseau arborescent au centre du PCB, se subdivisant en branches connectées aux différents composants. Cette approche permet une distribution efficace de l'alimentation électrique tout en évitant la formation de boucles d'alimentation indésirables, susceptibles de perturber le circuit.

La piste principale est dimensionnée selon les spécifications définies ci-dessus (Tableau 18) afin de garantir le courant maximal que peut fournir le convertisseur AC/DC. Les branches connectées aux composants, moins exigeantes individuellement en courant, sont réduites en taille pour faciliter la connexion aux broches.

3.8 Pistes de puissance 230 [VAC]

Les pistes destinées à véhiculer le 230 [VAC] ont été tracées au bord du PCB afin de minimiser les risques et les éventuelles perturbations avec les autres parties du circuit. Pour réduire la largeur nécessaire pour acheminer un courant de 10 A, la charge a été répartie sur les deux couches du PCB. Cette approche était nécessaire pour maintenir une distance d'isolation suffisante sans occuper une surface excessive. Par conséquent, les calculs ont été effectués en considérant un courant de 5 A.

La distance d'isolation minimale a été calculée en utilisant un outil en ligne qui se base sur la norme IPC-2221. Celle-ci spécifie les distances d'isolation requises pour les pistes d'un PCB. Une marge a été prise pour une sécurité supplémentaire. Cette distance est aussi garantie avec les vis de fixations. (Tableau 19)

Distance d'isolations des pistes 230 [VAC] Calculateur [21]			
Net	Tension crête	Distance minimale	Distance sélectionnée
AC-L-IN AC-L-OUT AC-N EARTH	325 [VAC]	2,49 [mm]	4,00 [mm]

Tableau 19 : Distance d'isolation 230 [VAC]

3.9 Plan de masse

Le PCB comporte un plan de masse GND sur les deux couches pour réduire la résistance du chemin de retour et prévenir les boucles de masse, minimisant ainsi les interférences.

Le plan a été isolé de la partie 230VAC pour prévenir les risques d'incidents.

Les connexions avec les composants suivent les règles Altium établis ci-dessous (Figure 25). Les pads des composants sont connectés avec un « thermal relief » pour faciliter le soudage manuel. Cette méthode permet de focaliser la dissipation thermique principalement sur le pad plutôt que de la répartir dans tout le plan de masse. La largeur de connexion de 0,4mm sert à éviter de créer un goulot d'étranglement sur le chemin du retour. Les via, non soudés manuellement, sont directement connectés pour minimiser la résistance.

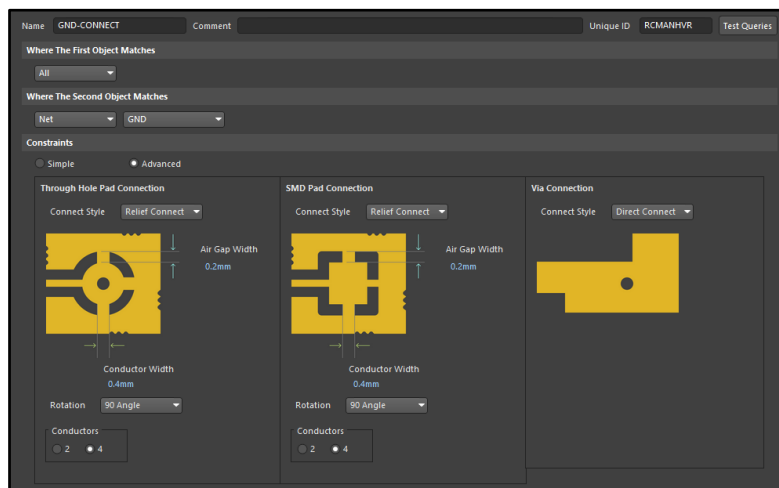


Figure 25 : Règle de connexion au plan de masse

Le stitching permet d'assurer une connexion optimale entre les plans de masse situé sur les différentes couches. Cela permet de garantir le chemin de retour le plus court possible et de réduire le risque de créer des boucles de masse, diminuant ainsi le risque d'interférences.

L'espacement des via de stitching est influencé par divers paramètres, notamment les fréquences de fonctionnement du circuit et les contraintes de fabrication. Cependant, le calcul précis de cet espacement peut s'avérer complexe. Pour simplifier, une valeur arbitraire de 8 mm a été choisie (Figure 26).

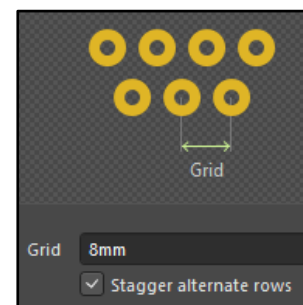


Figure 26 : Règle de stitching du plan de masse

Cette valeur semble offrir un compromis satisfaisant entre un espacement suffisamment large pour éviter des problèmes potentiels tout en garantissant une connexion optimale entre les plans de masse.

3.10 Oscillateurs externes

Il faut veiller à ce qu'aucune piste ne traverse les zones sous les oscillateurs externes. Cette mesure est cruciale à la fois pour assurer le fonctionnement optimal des oscillateurs et pour minimiser le risque d'interférences qui pourraient perturber d'autres signaux du circuit.

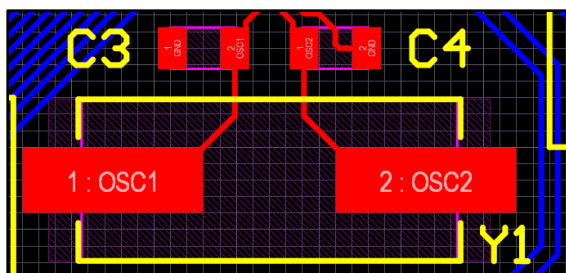


Figure 28 : Vue de l'oscillateur du PIC32

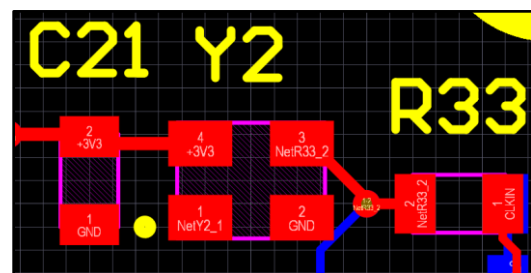


Figure 27 : Vue de l'oscillateur du contrôleur PHY

3.11 Ethernet

Plusieurs signaux de la partie concernant l'Ethernet nécessitent l'utilisation de paires différentielles.

Il est recommandé d'éviter de croiser les paires différentielles, malheureusement cette situation n'a pas pu être évité. Les résistances d'adaptation d'impédance doivent être placées au plus proche du contrôleur PHY.

Le stack manager d'Altium est utilisé pour garantir l'impédance des paires différentielles sur le PCB. Il permet de créer des profils d'impédances en fixant l'espacement des pistes, et Altium calcule automatiquement l'autre valeur nécessaire en fonction de l'impédance qui a été fixée.

L'écartement minimal fixé par les règles de fabrication a été choisi. La valeur de diélectrique a peu d'importance dans notre cas, car le PCB d'Eurocircuit n'assure pas de valeur précise et celle-ci a finalement peu d'impact sur le calcul.

Les normes des protocoles RMII et MDI nécessitent une impédance caractéristique de 100Ω, avec une tolérance de +/- 10%, ce qui est respecté :

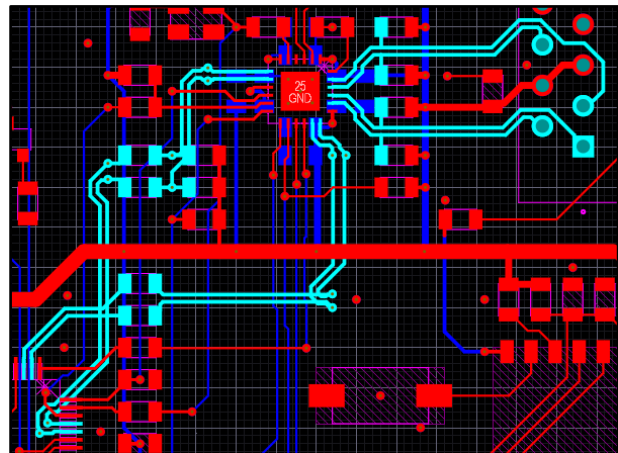


Figure 29 : Paires différentielles de la partie Ethernet

		D100 (100OhmDiff)					
#	Name	Dk		Width (W1)	Trace Gap (G)	Impedance (Zdiff)	Deviation
	Top Overlay						
	Top Solder	3.5					
1	Top Layer		<input checked="" type="checkbox"/>	0.3mm	0.15mm	103.04	3.04%
	Dielectric1	4.8					
2	Bottom Layer		<input checked="" type="checkbox"/>	0.3mm	0.15mm	103.04	3.04%
	Bottom Solder	3.5					
	Bottom Overlay						

Figure 30 : Impédance des paires différentielles de l'Ethernet

Conformément à ce qui est indiqué sur la datasheet, un plan de masse isolée a été réalisé autour du connecteur RJ45 (Figure 31). Celui-ci a pour but de réduire le bruit des interférences. Il est relié au plan de masse GND par le biais d'une résistance de 0Ω. La valeur est à adapter de manière empirique en fonction des interférences rencontrées.

Pour permettre le positionnement des composants au plus proche du contrôleur PHY, les condensateurs de découplage ont été placés sur la couche BOTTOM.

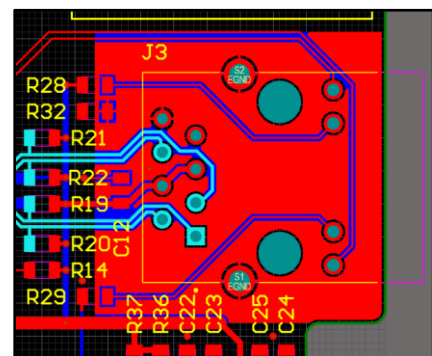


Figure 31 : Plan de masse isolé du connecteur RJ45

3.12 ESP32

Le fabricant du module ESP32 fournit un document détaillant les directives de conception précises [22]. Le positionnement optimal du module ESP32 dépend de l'emplacement de l'antenne, qui est située du côté droit dans le cas de l'ESP32-C3. Par conséquent, le module a été disposé sur le PCB conformément à ces recommandations afin de garantir ses performances (Figure 32).

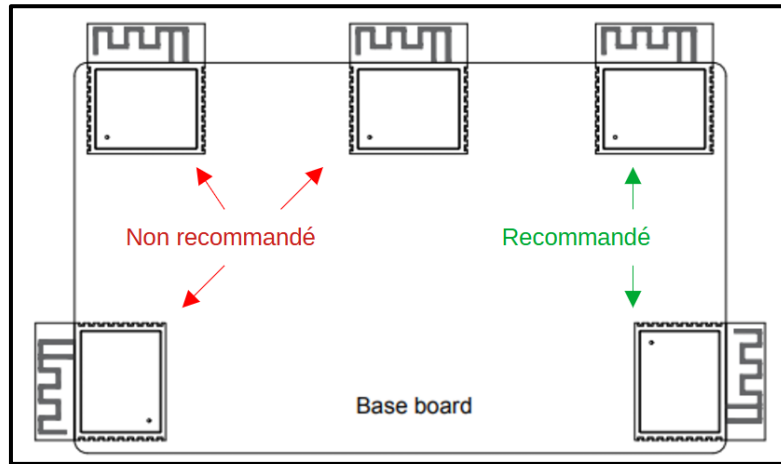


Figure 32 : Recommandations de placement de l'ESP32

Si l'installation du module sur le bord du circuit n'est pas possible, il est essentiel de veiller à ce qu'il n'y ait pas de cuivre autour et sous l'antenne, au minimum. Cependant, le fabricant recommande toujours d'effectuer une découpe du PCB si cela est réalisable. Dans ce cas précis, une découpe selon les dimensions spécifiées par le fabricant (Figure 33). Cela a permis de réduire légèrement la taille maximale du PCB et de rapprocher l'ESP32 du PIC32.

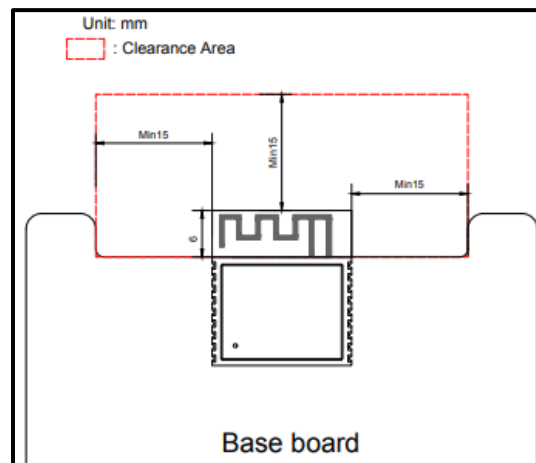


Figure 33 : Recommandation de dégagement pour l'antenne de l'ESP32

3.13 Boîtier

Malheureusement le boîtier n'a pas été réalisé en l'état du projet. Celui-ci est prévu pour être réalisé au plus vite, idéalement pour les portes ouvertes de l'ES.

4 Firmware

La partie firmware décrit la programmation réalisée au niveau du PCB. Elle répertorie les principales informations des différentes librairies.

Un listing complet du code réalisé est disponible en annexe (14.8).

4.1 Approche utilisée

La gestion du système repose sur l'utilisation de plusieurs machines à états fonctionnant simultanément. Cette approche garantit une utilisation efficace des ressources en évitant les blocages de fonctions. Ainsi, il est possible d'accomplir des tâches telles que la lecture d'un son sur le buzzer, l'activation d'une LED, et l'établissement d'une communication UART en parallèle, sans qu'aucune de ces actions n'interfère avec les autres.

4.2 Machine d'état global

La machine d'état global est gérée par la librairie « APP ». C'est elle qui réalise l'envoi des commandes et appels de fonctions nécessaires au systèmes.

Malheureusement celle-ci n'a pas encore été implémenté en l'état actuelle. La dernière phase du projet s'est concentré sur le débogage des erreurs des autres librairies.

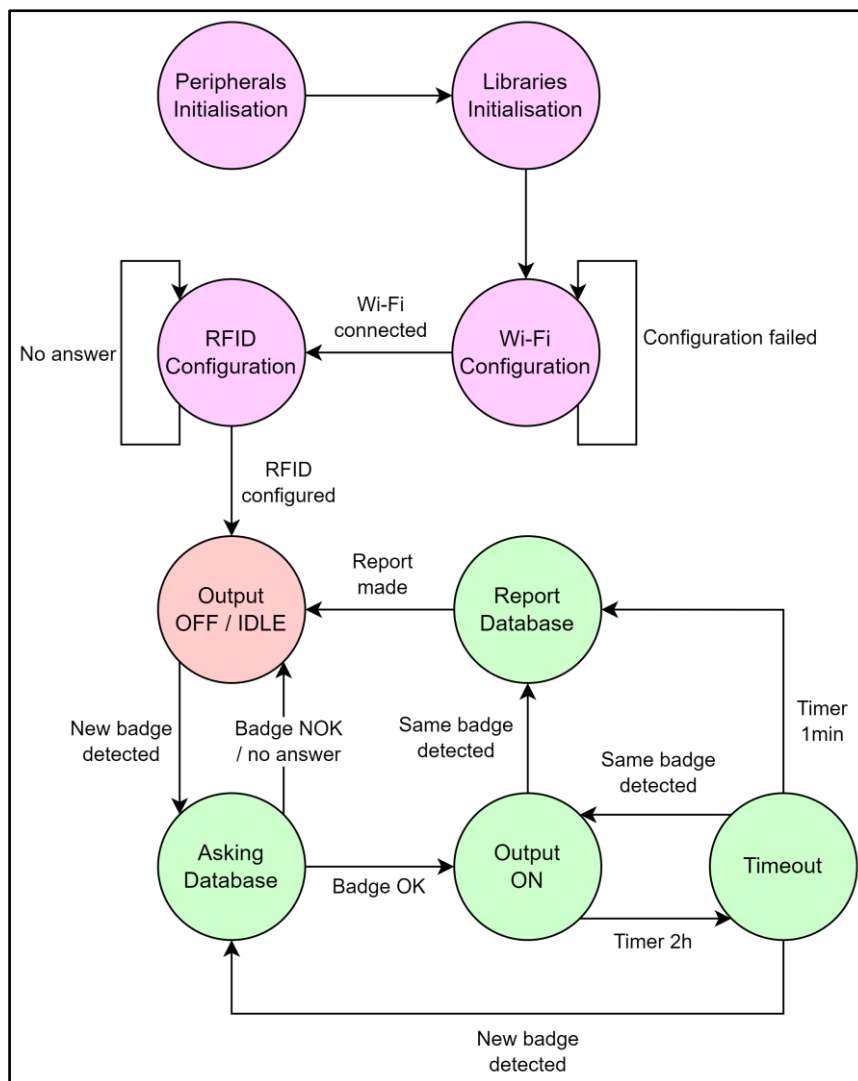


Figure 34 : Machine d'état global du firmware

4.3 Bibliothèques utilisées

Bibliothèques firmware	
Nom	Description
app	Gestion de la machine d'état global
esp	Interfaçage par machine d'état de la communication avec l'ESP32
chu	Interfaçage par machine d'état de la communication avec le Chilli UART B1
bzr	Gestion par machine d'état des séquences du buzzer
fifo	Gestion de la fifo software utilisé par les UART
counter	Gestion des compteurs de délais non bloquant
SerialTimer	Emulation d'une communication série sur une sortie GPIO avec interruption de timer
TLC5973	Fonctions de contrôle des drivers de LEDs
RFIDB1ClientInterface	Interface d'envoi de commandes pour communiquer avec le Chilli UART B1 (fourni par le fabricant)
RFIDB1ClientProtocol	Gestion des trames UART utilisé par les fonctions de RFIDB1ClientInterface (fourni par le fabricant)
ccittcrc	Calculs du CRC nécessaire au RFIDB1ClientProtocol (fourni par le fabricant)

Tableau 20 : Description des bibliothèques firmware

Les bibliothèques à trois lettres concernent les machines d'état du système. Chacune d'elle possède au minimum les caractéristiques suivantes (non répété dans les tableaux suivants) :

***.c / ***.h	
Types	Description
***_DATA	Structure des données associées à la bibliothèque
***_STATES	Enumération de la machine d'état
Variables	Description
***Data	Variable stockant les données associées à la bibliothèque
Fonctions	Description
***_Initialize	Initialisation de la machine d'état et des variables du fichier, appelée au démarrage du système
***_Tasks	Exécution de la machine d'état, appelée de manière cyclique

Tableau 21 : Composantes principales des machines d'états

Les spécificités propres à chaque machine d'état sont détaillées dans les parties suivantes.

4.4 Librairie : ESP

La librairie ESP a pour but de jouer le rôle d'interface dans la communication UART avec l'ESP32. L'application principale gère les ordres d'envoi et de réception des commandes pendant que la machine d'état établit les différentes communications en parallèle.

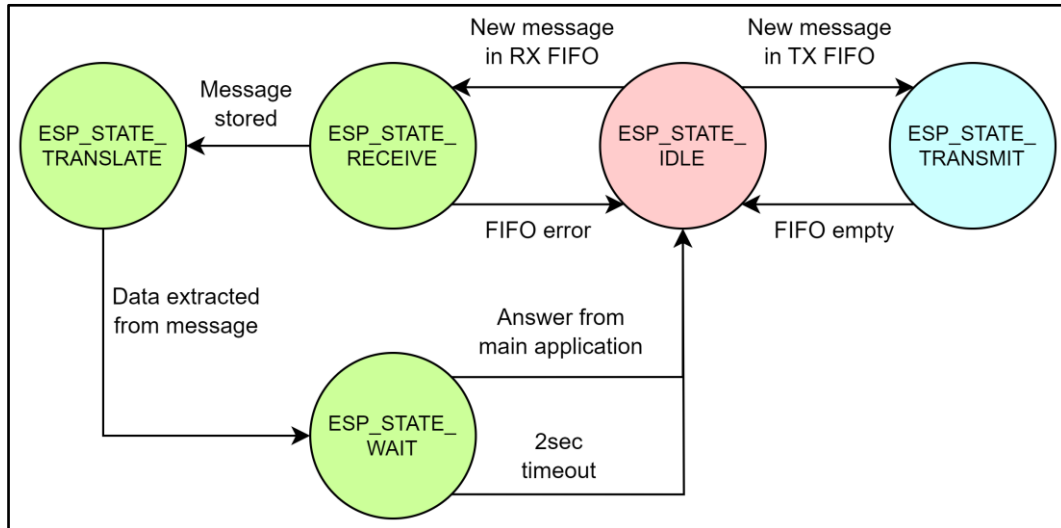


Figure 35 : Machine d'état - ESP

esp.c / esp.h	
Définitions	Description
ESP_USART_ID	ID de l'USART utilisé par l'ESP32
ESP_INT_SOURCE_*	Sources d'interruptions de l'USART utilisé par l'ESP32
AT_CMD_*	Les commandes AT utilisées sont définies sous forme de chaîne de caractères
Types	Description
S_AT_PACKET	Structure décrivant les différentes parties d'une commande AT
Fonctions	Description
ESP_SendCommand	Permet à l'application principale d'envoyer une commande AT en utilisant les définitions, géré par la machine d'état

Tableau 22 : Spécificités de la librairie ESP

L'USART utilisé par la librairie a été configuré sous Harmony selon les spécifications fournies par la datasheet de l'ESP32.

Ces valeurs peuvent être configurées sur l'ESP32, mais les valeurs par défaut ont été choisies pour plus de facilité. Il s'agit d'un baudrate de 115200, avec 8 bits de données, sans bit de parité et un seul bit de stop. Aucun contrôle de flux, qu'il soit software ou hardware n'est utilisé. (Handshake mode et USART Lines enable)

La priorité de l'interruption a été réglée au niveau maximal car les communications UART ont été jugées comme la partie la plus importante du circuit.

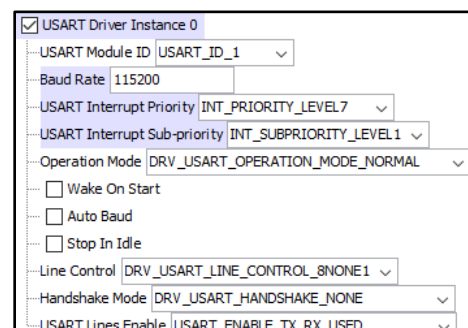


Figure 36 : Configuration harmony UART1

4.5 Librairie : CHU

La librairie CHU (Chilli UART B1) a été établis sur le même modèle que la librairie ESP. Elle gère la communication par UART pendant que l'application principale lui fournit les ordres de commande.

La gestion des trames nécessaires à l'envoi des commandes est gérée par la librairie fourni par le fabricant (RFIDB1Client...).

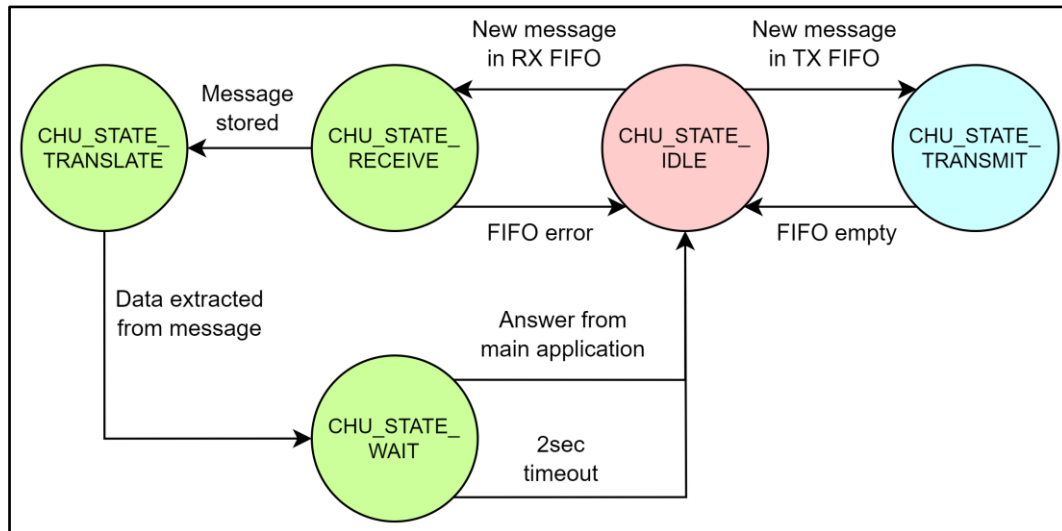


Figure 37 : Machine d'état - CHU

chu.c / chu.h	
Définitions	Description
CHU_USART_ID	ID de l'USART utilisé par le module RFID
CHU_INT_SOURCE_*	Sources d'interruptions de l'USART utilisé par le module RFID
Variables	Description
chuRfid_config	Variable du type de structure décrivant les paramètres de configuration, notamment les buffers d'entrée et de sortie
chuRfid_interface	Contient des pointeurs de fonctions pour l'interfaçage avec le module RFID
chuRfid_object	Contient les informations liés au module RFID, notamment les fonctions de callback utiliser par la librairie RFIDB1
Fonctions	Description
CHU_RFID_Polling	Activation du mode « polling » sur le module RFID.

Tableau 23 : Spécificités de la librairie CHU

L'UART utilisé par la librairie a été configuré sous Harmony selon les spécifications fournies par la datasheet du « RFID B1 User Manual ». [23]

Ces valeurs peuvent être modifiés à l'aide de commandes. Il s'agit d'un baudrate de 9600, avec 8 bits de données, sans bit de parité et un seul bit de stop. Aucun contrôle de flux, qu'il soit software ou hardware n'est utilisé. (Handshake mode et USART Lines enable)

La priorité de l'interruption a été réglée au niveau maximal car les communications UART ont été jugé comme la partie la plus importante du circuit.

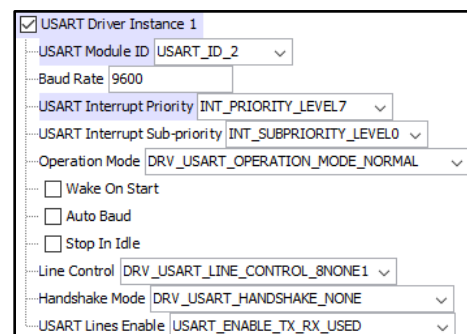


Figure 38 : Configuration Harmony UART2

4.6 Bibliothèques : RFIDB1Client

Le fabricant fournit ses propres bibliothèques pour interfacer avec le module RFID. Celles-ci ont pour but de gérer la construction et l'envoi des trames.

Pour cela, il est nécessaire de déclarer trois types de variables qui seront utilisées pour cela.

RFIDB1ClientInterface.c / RFIDB1ClientInterface.h	
Types	Description
RFIDB1_InterfaceConfigurationT	Permet de configurer les buffers d'entrée et de sortie utilisés et d'indiquer les fonctions utilisées pour l'envoi et la réception des trames
RFIDB1_InterfaceT	Permet d'accéder aux fonctions de la bibliothèque par le biais de pointeurs de fonctions.
RFIDB1_ObjectT	Contient les divers protocoles utilisés par la bibliothèque.

Tableau 24 : Spécificités de la bibliothèque RFIDB1ClientInterface

Il faut déclarer une variable de chaque type et réaliser les initialisations nécessaires à l'aide des pointeurs de fonctions fournis par l'interface.

La méthode de construction des trames transmises au module RFIDB1 sont détaillées dans le « RFID B1 User Manual ».

```

/* Config setup for RFIDB1 */
chuRfid_config.InputBuffer = chuData.fifoBuff_tx;
chuRfid_config.InputBufferSize = CHU_FIFO_SIZE;
chuRfid_config.OutputBuffer = chuData.fifoBuff_rx;
chuRfid_config.OutputBufferSize = CHU_FIFO_SIZE;
chuRfid_config.handleResponse = CHU_RFID_Response;
chuRfid_config.handleRequest = CHU_RFID_Request;

/* Initialise RFIDB1 objects */
GetRFIDB1Interface(&chuRfid_interface);
chuRfid_interface.Initialise(&chuRfid_object, &chuRfid_config);
chuRfid_interface.SetPacketHeaderType(&chuRfid_object, HeaderTypeA);

```

Figure 39 : Initialisation bibliothèque RFIDB1

En résumé, chaque trame débute par un header, dont deux types sont possibles.

Seul le type A est utilisé dans ce projet. Celui-ci contient un byte de start et le nombre de données à transmettre, l'intégrité est vérifiée par un CRC concernant uniquement ces bytes.

Les données contiennent le numéro de commande et les paramètres nécessaires à la commande quand il y en a. Elles sont vérifiées à nouveau par un CRC appliquée uniquement sur les données.

La bibliothèque offre des moyens d'encrypter les commandes envoyées. Cette possibilité n'a pas été étudiée dans ce projet car la sécurité ne faisait pas partie des priorités du CDC.

Les réponses sont envoyées sous le même format, avec un header du type utilisé.

Packet with Type A Header							
Byte number	1	2	3	4	5	6	... 5 + k
Value	0x02	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	... 0x00 - 0xFF
Type	Start Of Text	Data Size (k) LSB	Data Size (k) MSB	Header CRC LSB	Header CRC MSB	Data (Plain or Encrypted)	

Figure 40 : RFIDB1 - Construction d'une trame de type A

Plain Command						
Byte number	1	2	...	N + 1	N + 2	N + 3
Value	0x00 - 0x1E	0x00 - 0xFF	...	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF
Type	Command Byte	Parameters Byte 1	...	Parameters Byte N	CRC LSB	CRC MSB

Figure 41 : RFIDB1 - Construction d'une commande non cryptée

Plain Response						
Byte number	1	2	...	N + 1	N + 2	N + 3
Value	0x00 - 0x02, 0xF0 - 0xF3	0x00 - 0xFF	...	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF
Type	Response Byte	Parameters Byte 1	...	Parameters Byte N	CRC LSB	CRC MSB

Figure 42 : RFIDB1 - Construction d'une réponse du module

4.7 Librairie : BZR

La librairie BZR réalise le contrôle du buzzer à l'aide d'un signal PWM. L'application principale se charge ensuite d'appeler les séquences à jouer, implémentés sous forme d'un tableau, qui seront ensuite gérés par une machine d'état.

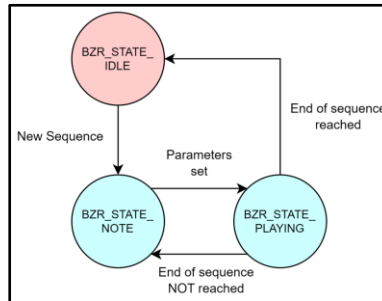


Figure 43 : Machine d'état - BZR

bzc.c / bzc.h	
Définitions	Description
BZR_TMR_ID	ID du timer utilisé par le buzzer
BZR_OC_ID	Sortie PWM utilisé par le buzzer
BZR_VOLUME	Permet de réduire le rapport cyclique et volume du buzzer
NOTE_***	Définitions de la fréquence de chaque note en Hz
Types	Description
E_BZR_SEQ	Enumération des séquences à jouer. Permet d'appeler les séquences en dehors du fichier.
S_BZR_SEQ	Structure décrivant les informations d'une séquence à jouer.
Variables	Description
BZR_SEQUENCE_*	Chaque séquence (musique) est représentée dans un tableau où la note et la durée de la note sont indiquées en alternance.
BZR_SEQUENCES	Tableau contenant les structures de chaque séquence, avec sa taille, son tempo et le pointeur de la séquence correspondante.
Fonctions	Description
BZR_PlaySequence	Permet de lancer une séquence musicale, gérée ensuite par la machine d'état

Tableau 25 : Spécificités de la librairie BZR

Un timer et une sortie OC, configurables sur Harmony, sont utilisés pour générer un signal PWM. Ces éléments sont exploités sans interruptions, car elles ne sont pas nécessaires. Le prescaler a été sélectionné de manière à permettre une génération précise de fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz. La valeur du "Timer Period" permet de définir la fréquence du signal, tandis que la valeur du "OC Pulse Width" permet de définir le rapport cyclique du signal PWM.

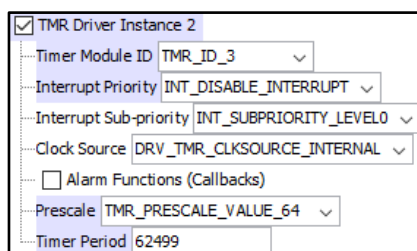


Figure 45 : Configuration Harmony - TMR3

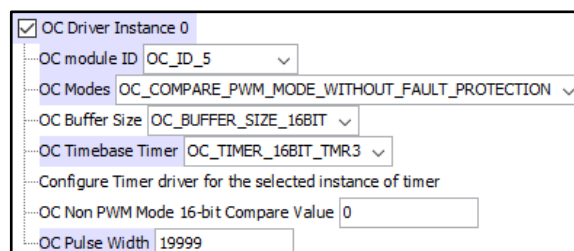


Figure 44 : Configuration Harmony - OC5

4.8 Librairie : TLC5973

Le protocole de communication propriétaire "EasySet" est utilisé pour les drivers de LEDs TLC5973. Il permet d'envoyer des données sérielles en encodant les données binaires avec des séquences spécifiques, tout en permettant l'enchaînement des drivers. Les sorties sont des signaux PWM, ajustant l'intensité des LEDs en fonction de la valeur fournie au driver.

Chaque bit est encodé avec une impulsion à l'état haut, suivie d'une deuxième impulsion avant la moitié de la période du bit, indiquant ainsi un 1 logique ou l'absence de cette impulsion pour un 0 logique. Une séquence complète pour un driver comprend 48 bits, avec les 12 premiers bits servant de commande d'écriture. Ensuite, chaque sortie est encodée sur 12 bits pour spécifier le rapport cyclique.

Après chaque séquence complète, une pause précise (EOS) est marquée avant d'envoyer la séquence suivante. Une pause plus longue à la fin permet au driver de transférer les données dans ses registres internes (GSLAT).

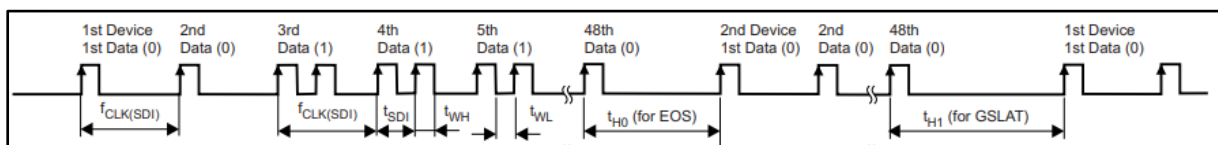


Figure 46 : Séquences de contrôle des LEDs

Des timings d'une certaine précision doivent être respectés, comme indiqué par la datasheet :

AC CHARACTERISTICS				
$f_{CLK(SDI)}$	Data transfer rate	SDI	100	3000 kHz
t_{SDI}	SDI input pulse duration	SDI	60	$0.5 / f_{CLK}$ ns
t_{WH}	Pulse duration, high	SDI	14	ns
t_{WL}	Pulse duration, low	SDI	14	ns
t_{H0}	Hold time: end of sequence (EOS)	SDI↑ to SDI↑	$3.5 / f_{CLK}$	$5.5 / f_{CLK}$ ns
t_{H1}	Hold time: data latch (GSLAT)	SDI↑ to SDI↑	$8 / f_{CLK}$	ns

Figure 47 : Timings à respecter - TLC5973

Les séquences peuvent être générées via un protocole série, de préférence SPI. Une erreur de conception avait conduit à utiliser une sortie PWM au lieu de l'encodage souhaité. Pour résoudre cela, une librairie spécifique a été créée (SerialTimer).

TLC5973.c / TLC5973.h	
Définitions	Description
DRIVER_COUNT	Définit le nombre de driver en chaîne
Types	Description
S_TLC_CHANNEL	Décrit la valeur de sortie d'un channel et son encodage
S_TLC_DRIVER	Structure stockant les 3 channels de sortie
Variables	Description
cyclesBuffer	Buffer de stockage des encodages des bits de chaque trame
tlcDrivers	Stockage des structures des drivers
Fonctions	Description
TLC_SetDriver	Fixe les valeurs de sortie d'un driver spécifique
TLC_SetAll	Fixe les mêmes valeurs de sortie pour tous les drivers
TLC_Transmit	Transmet les données des drivers par le port série

Tableau 26 : Spécificités de la librairie TLC5973

4.9 Librairie : SerialTimer

Cette librairie permet d'émuler une communication série sur une sortie GPIO, en utilisant les interruptions d'un timer. Elle permet de contourner l'erreur citée précédemment.

Pour cela, il suffit de remplir son buffer et d'ensuite démarrer le timer. Lorsque toutes les données ont été envoyés, le timer s'arrête automatiquement.

Pour communiquer avec le TLC5973, l'encodage de chaque bit (cycle) est subdivisé en 5 impulsions. La fréquence d'interruption du timer doit donc être au minimum 5 fois supérieur à la fréquence minimale imposée par le TLC5973.

Pour cette raison, la fréquence du timer a été fixé à 500kHz. Au vu de cette rapidité, la fonction d'interruption doit faire preuve d'une grande efficacité. Néanmoins, elle ne sera active que pendant une très courte période de temps, ne devant pas être problématique pour le système.

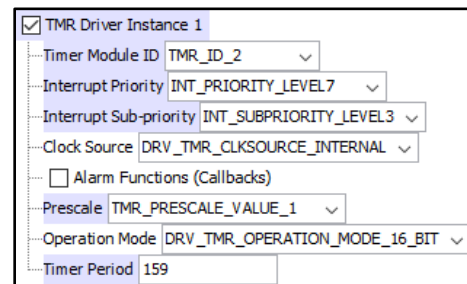


Figure 48 : Configuration Harmony - TMR2

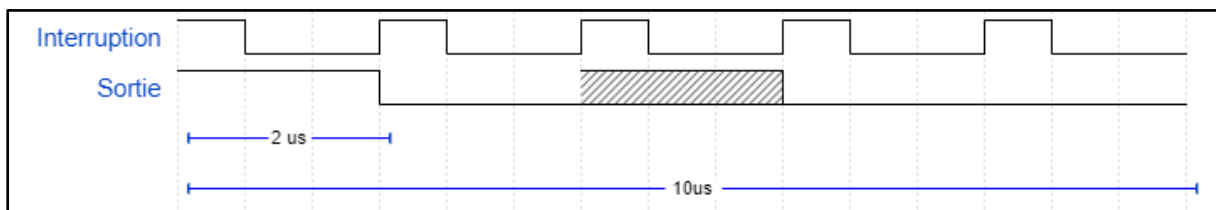


Figure 49 : Représentation temporel de l'encodage des bits

Sa priorité et sous-priorité ont été fixés aux valeurs maximales, dû à la nécessité de respecter des timings très précis. Elle ne semble pas perturber les communications UART, car les LEDs sont allumés uniquement après avoir communiqué avec les différents modules.

4.10 Calculs des timers

Les périodes des timers ont été déterminés par les formules suivantes. Premièrement il faut déterminer le prescaler minimum, sans quoi notre vitesse de comptage sera trop rapide et nous aurons atteint la valeur maximum avant d'avoir atteint la période du timer :

$$Prescaler_{min} = \frac{f_{SYS}}{2^{16} * f_{TMR}} = \frac{f_{SYS}}{2^{16}} * T_{TMR}$$

Équation 5 : Calcul du prescaler minimum

Cette valeur doit ensuite être arrondi au prescaler supérieur possible. Généralement il s'agit d'une puissance de 2, sauf pour le Timer 1 dont les valeurs peuvent être obtenues dans la datasheet ou sur Harmony.

La période du timer peut ensuite être calculée :

$$Period_{TMR} = \frac{f_{SYS}}{prescaler * f_{TMR}} = \frac{f_{SYS}}{prescaler} * T_{TMR}$$

Équation 6 : Calcul de la période d'un timer

5 Software

Malheureusement, suite à des retards sur le planning, la partie software concernant le Raspberry Pi n'a pas pu être implémentée.

Parmi les concepts à retenir, il est important de noter que le programme sera développé en Python. En ce qui concerne la gestion des données, la base de données sera construite en utilisant la bibliothèque "SQLite". Cette bibliothèque est particulièrement adaptée pour la gestion de bases de données de petite taille en langage SQL.



Figure 50 : Illustration - SQLite

Après avoir effectué quelques recherches, il est fréquemment suggéré dans de multiples sources d'utiliser la bibliothèque « socket » pour la gestion des communications réseau.

Il sera aussi nécessaire de déterminer la trame TCP/IP qui sera utilisée. Il s'agira notamment de pouvoir envoyer diverses commandes par le biais du réseau.

Il est prévu que tout cette partie soit développé d'ici à la défense orale.

6 Mesures

Les mesures visent à prouver le bon fonctionnement du système et à vérifier que le cahier des charges est respecté.

6.1 Matériel utilisé

Matériel de mesure		
Oscilloscope	Rhode&Schwarz	ES.SLO2.05.01.08
Multimètre	Gwinstek	ES.SLO2.00.00.90
Alimentation	Gwinstek	ES.SLO2.00.00.31
Analyseur logique	LogicSniffer	ES.SLO1.04.00.04

Tableau 27 : Liste du matériel de mesure

6.2 Convertisseur AC/DC

Mesure convertisseur AC / DC		
Signal	Point de test	Oscilloscope
+3V3	TP1	CH1

Tableau 28 : Points de tests – Mesure convertisseur AC/DC

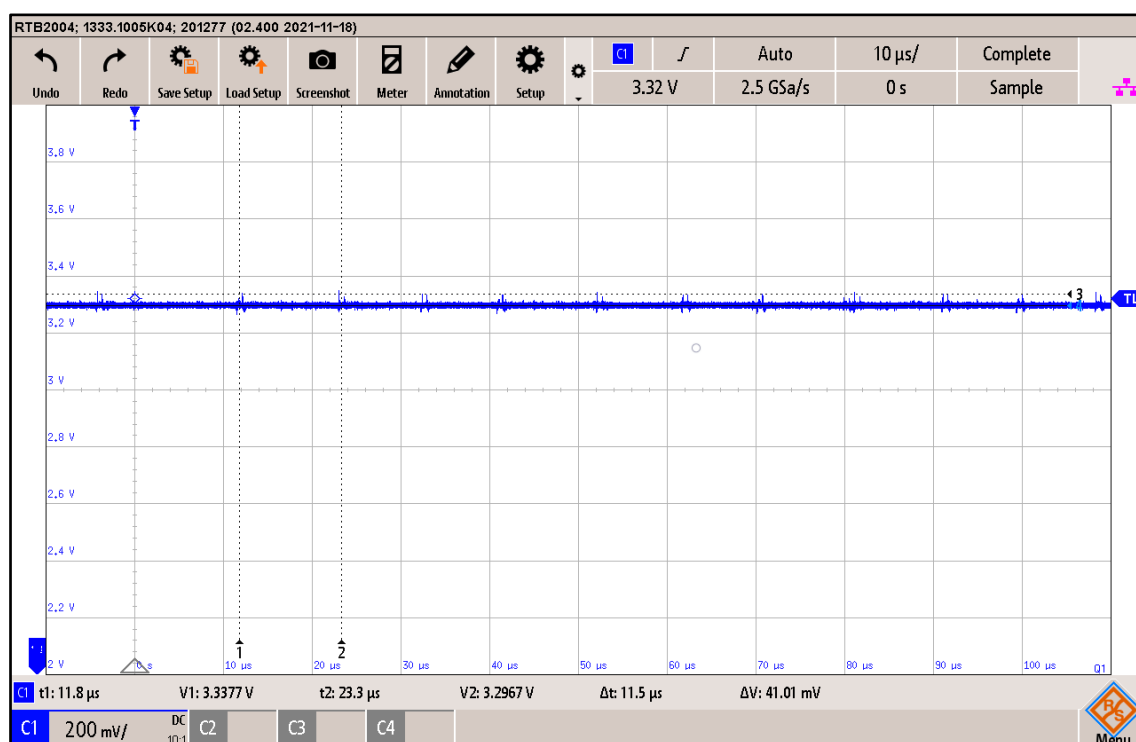


Figure 51 : Mesure du +3V3

On peut constater que le convertisseur AC/DC fournit une tension parfaitement régulée. On peut observer néanmoins que du bruit à $\sim 85\text{kHz}$ est provoqué sur l'alimentation. Ceci est dû à la fréquence de fonctionnement du convertisseur AC/DC. Son amplitude est faible et a peu de risques de provoquer des nuisances au reste du circuit.

La mesure a été réalisée en fonctionnement avec une consommation de courant de $\sim 300\text{mA}$.

6.3 Commutation 230VAC

Mesure commutation 230VAC		
Signal	Point de test	Oscilloscope
AC-SET	K1 pin -6	CH1

Tableau 29 : Points de tests - Mesure commutation 230VAC

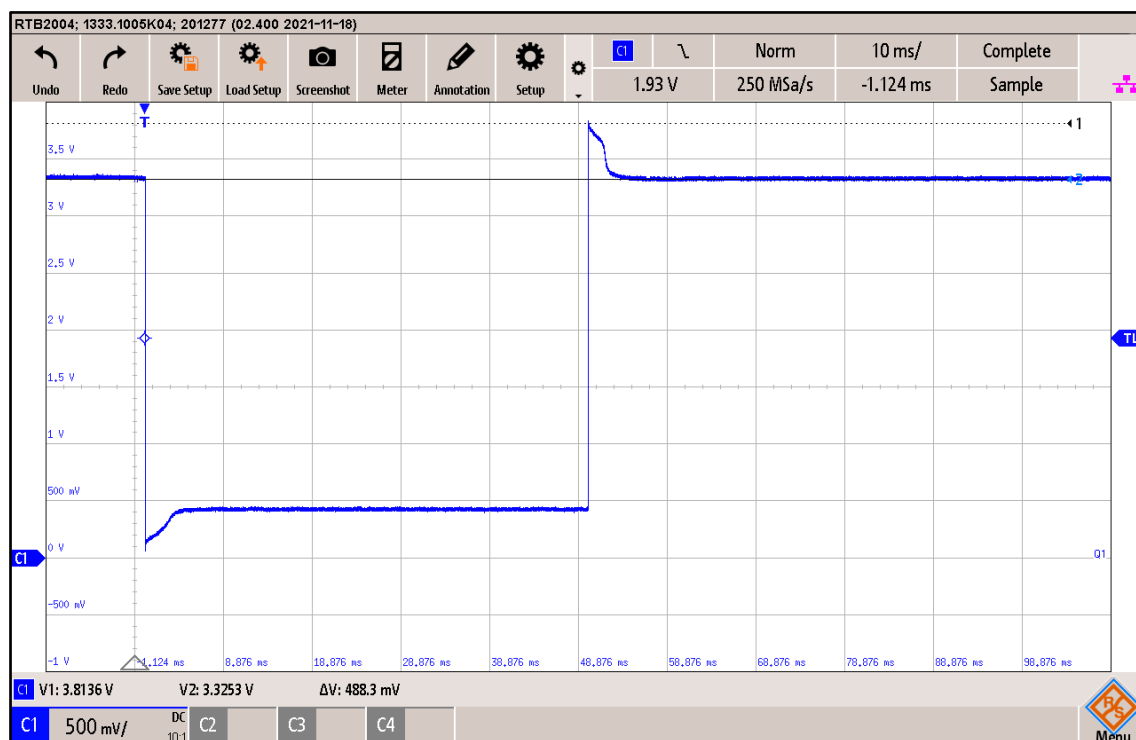


Figure 52 : Mesure de la commutation 230VAC sur le relai

La commutation de la sortie 230VAC est gérée de manière efficace par le microcontrôleur. Une vérification de la continuité a confirmé que la connexion entre la sortie et l'entrée était correcte.

La mesure révèle une tension inverse après la commutation. Cette tension est subie par le transistor qui est capable de la supporter sans problème. La bobine elle ne subit pas de surtension ce qui est idéal pour conserver sa durée de vie.

Ce contrôle a été effectué à la fois pour le signal AC-SET et AC-RESET.

6.4 Module RFID

Mesure communication UART RFIDB1		
Signal	Point de test	Analyseur logique
U2TX	P6-1	Channel0
U2RX	P6-2	Channel1

Tableau 30 : Points de tests - Mesure UART RFID

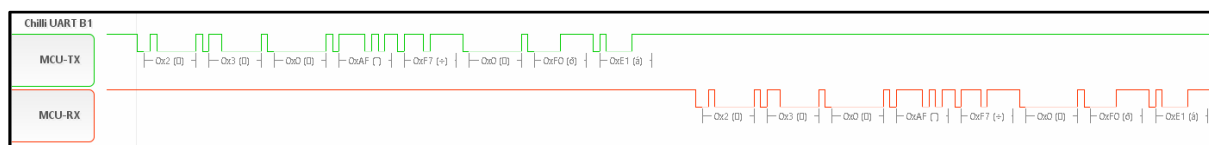


Figure 53 : Mesure frame UART RFID

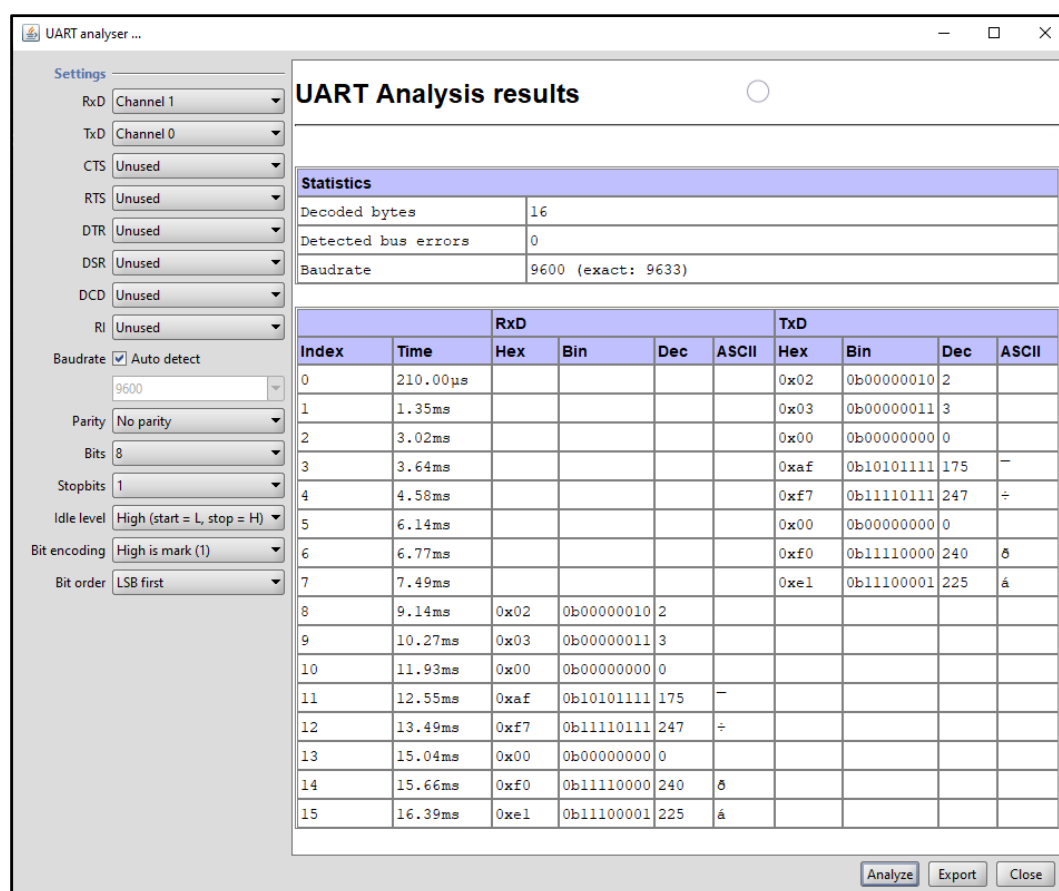


Figure 54 : Analyse frame UART RFID

Pour évaluer la communication avec le module RFID, une procédure simple appelée « Dummy Command » a été utilisée en transmettant les données par l'intermédiaire de l'UART en utilisant les bibliothèques fournies par le fabricant. Le module a répondu avec succès, confirmant ainsi son bon fonctionnement.

Des tests plus approfondis ont été réalisés en utilisant le mode de polling. Cependant, en raison de la complexité des trames, qui étaient nettement plus longues, il a été difficile d'intégrer ces résultats dans le rapport. Malgré cela, ces tests ont confirmé que l'envoi de commandes fonctionne efficacement. Le module réagit aux badges et transmet leurs identifiants via l'UART.

6.5 Module ESP32

Mesure communication UART ESP32		
Signal	Point de test	Analyseur logique
U1TX	P6-1	Channel0
U2RX	P6-2	Channel1

Tableau 31 : Points de tests - Mesure UART ESP32

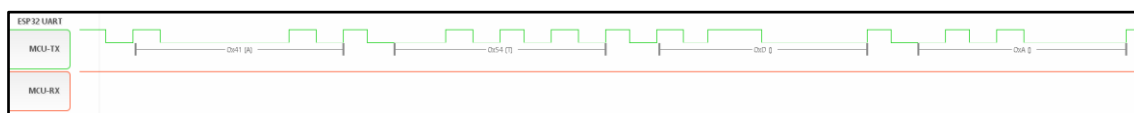


Figure 55 : Mesure frame UART TX ESP32

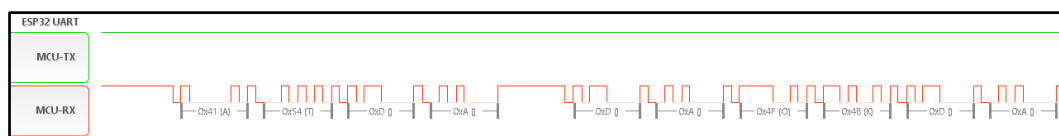


Figure 56 : Mesure frame UART RX ESP32

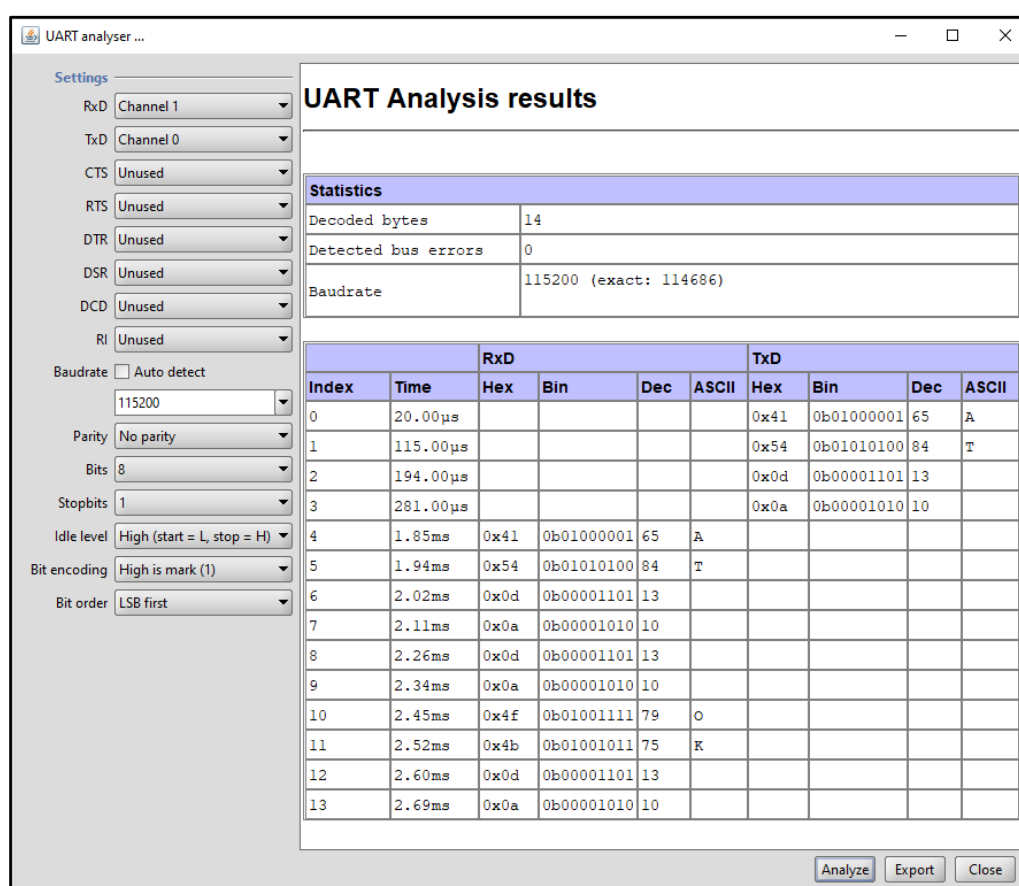


Figure 57 : Analyse frame UART ESP32

La même méthode que le RFID a été appliquée pour le module ESP32. Une simple commande « AT » a été transmise par UART. Le module fournit bien la réponse qui est attendue.

Une connexion Wi-Fi a aussi pu être établie à l'aide d'autres commandes.

Le module fonctionne correctement, aucun problème particulier n'a été rencontré.

6.6 TLC5973.

Mesure TLC5973		
Signal	Point de test	Oscilloscope
RD4	P5-2	CH1

Tableau 32 : Points de tests - Mesure TLC5973

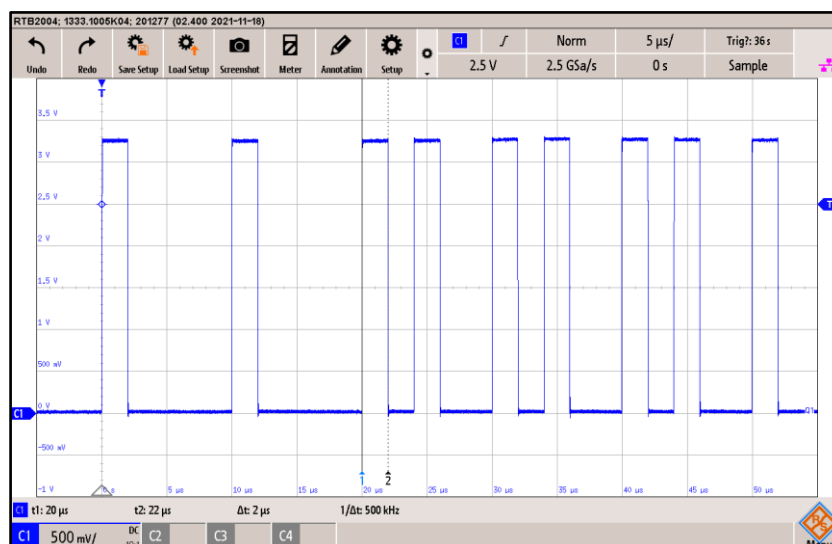


Figure 58 : Mesure fréquences TLC5973

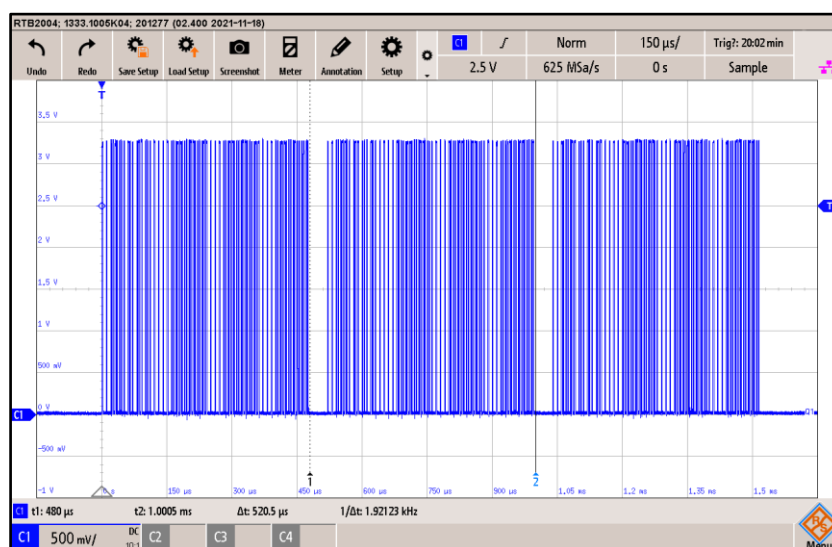


Figure 59 : Mesure de la trame complète du TLC5973

Pour effectuer le test de fonctionnement des LEDs, une commande aléatoire a été transmise au TLC5973. Il est possible de vérifier que la fréquence de 100 kHz requise entre les impulsions de début de bit est réalisée avec précision. La durée de l'impulsion correspond à ce qui a été défini dans l'interruption, c'est-à-dire 2 μ s, ce qui équivaut à une fréquence de 500 kHz.

En dézoomant, on peut observer les trois séquences qui sont transmises successivement avec de courtes pauses entre chacune d'elles.

Visuellement, sur le PCB, on peut constater que les LEDs s'allument conformément aux couleurs demandées.

6.7 Buzzer

Mesure Buzzer		
Signal	Point de test	Oscilloscope
RD5	P5-1	CH1

Tableau 33 : Points de tests - Mesure Buzzer

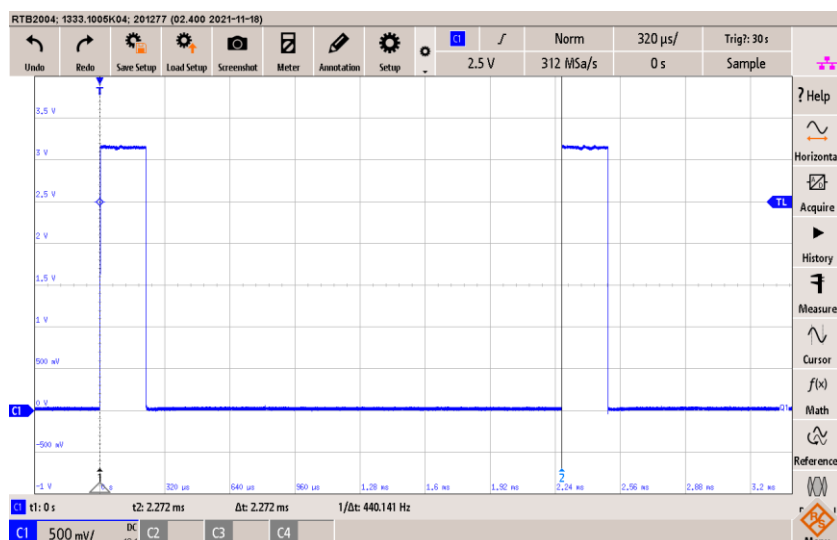


Figure 60 : Mesure de la fréquence de l'OC du buzzer

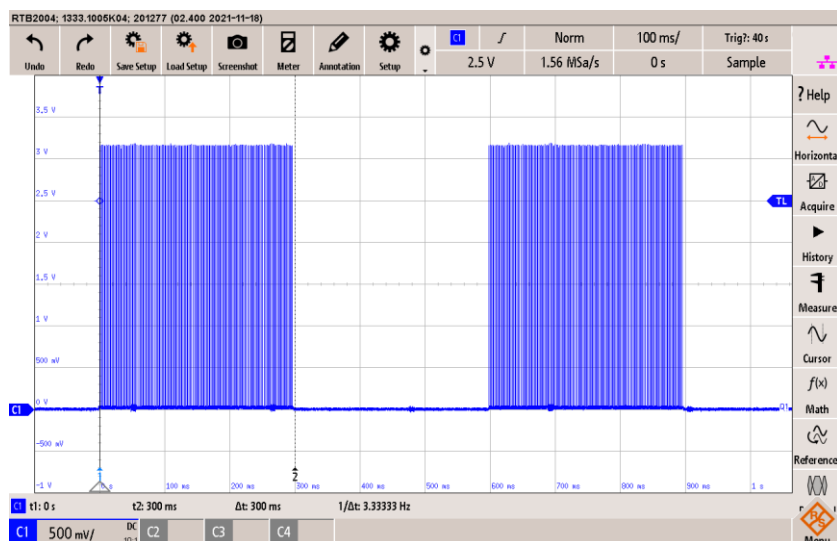


Figure 61 : Mesure du temps des notes du buzzer

Pour tester le buzzer, une séquence composée de deux notes LA (440Hz) avec une pause au milieu a été jouée. En mesurant la fréquence de l'OC générée, on peut constater que la fréquence correspond bien à ce qui a été fixée.

La durée des notes qui ont été fixé dans le code ont été calculées à l'aide de la formule disponible dans la fonction correspondante. On obtient bien la valeur attendue. La librairie et le buzzer fonctionnent comme attendu.

7 Etat d'avancement

Etat d'avancement du projet selon CDC, au 26 septembre 2023		
Exigence	Etat	Remarques
Partie Hardware		
Microcontrôleur	✓	
Lecteur RFID	✓	
Alimentation 230VAC	✓	
Convertisseur AC / DC	✓	
Commutation 230VAC	✓	
Connecteur Ethernet	⚡	Implémenté mais non fonctionnel
Module Wi-Fi	✓	
Buzzer timeout	✓	
LEDs	✓	
Boitier	⚡	Esquisse tracé mais non réalisé
Partie Firmware		
Configuration du module Wi-Fi	✓	
Commandes du module Wi-Fi	✓	
Envoi et réception par réseau	✗	Non testé car manque partie software
Commande du buzzer	✓	
Commande des LEDs	✓	
Commande du commutateur 230VAC	✓	
Configuration des timers	✓	
Partie software		
API Ethernet ou Wi-Fi	✗	La partie software n'a malheureusement pas encore été implémenté. Quelques idées ont été proposées et reste en attente de réalisation.
Réception et affichage du tag RFID	✗	
Base de donnée	✗	
Envoi de commandes	✗	

Tableau 34 : Etat d'avancement du projet

L'objectif est de réaliser une API sur le Raspberry Pi, au mieux pour les présentations des portes ouvertes ou au moins pour la défense orale.

La partie concernant l'Ethernet est réalisée en dernière priorité au vu de la complexité que présente la tâche.

8 Conclusion

Ce projet de diplôme a été une opportunité précieuse pour mettre en pratique et améliorer les compétences que j'ai acquises tout au long de ma formation à l'École Supérieure. Cette expérience concrète m'a permis de consolider mes connaissances théoriques et de les appliquer dans un contexte réel.

Tout d'abord, lors de la phase de conception, j'ai été confronté à la nécessité de rassembler une grande quantité d'informations dans un laps de temps très court. J'ai dû plonger rapidement dans des concepts tels que l'Ethernet et le Wi-Fi, que je n'avais que peu explorés auparavant. Cette phase initiale a engendré un léger retard dès le départ.

Le retard initial s'est progressivement accumulé au cours de la phase de conception du PCB, laquelle s'est avérée être un défi de taille. Cette étape a présenté des difficultés significatives en raison de la nécessité de respecter des contraintes électriques, mécaniques et de placement des composants. L'équilibre entre ces différentes contraintes s'est avéré délicat à atteindre, mais il était essentiel pour garantir la fiabilité et la performance du PCB.

Cependant, malgré les obstacles rencontrés, je ne regrette pas d'avoir investi le temps nécessaire pour réaliser cette phase avec précision. Cette approche méticuleuse a porté ses fruits, car le résultat final du PCB ne présente aucune erreur majeure. Les erreurs mineures qui ont pu survenir ont été corrigées grâce à des ajustements logiciels, ce qui a permis de maintenir la qualité et la propreté du PCB. Cette expérience m'a enseigné l'importance de la rigueur dans la conception matérielle et m'a préparé à faire face à des projets similaires à l'avenir avec une plus grande confiance dans mes compétences techniques.

En ce qui concerne la partie firmware du projet, je reconnais avoir consacré un temps considérable à des aspects qui n'étaient pas prioritaires, tels que la gestion des LEDs. À posteriori, il est clair que ce temps aurait été plus judicieusement investi dans l'amélioration de la gestion des communications UART entre les différents modules RFID et Wi-Fi. Ces communications jouent un rôle central dans le fonctionnement du système, et une optimisation aurait contribué à accroître l'efficacité globale du projet.

Cependant, malgré cette déviation des priorités initiales, cette expérience m'a permis d'approfondir ma maîtrise du langage C. Les divers défis rencontrés ont renforcé mes compétences en programmation. Néanmoins, cette leçon m'a rappelé l'importance de la gestion efficace des ressources et des priorités dans le développement de firmware.

L'accumulation de ces retards a effectivement entraîné des défis dans la réalisation de l'ensemble du cahier des charges dans les délais impartis pour la remise de ce rapport. Cependant, je reste optimiste quant à mes capacités à fournir une version complète et conforme aux exigences lors de la présentation orale.

Lausanne, le 26 septembre 2023

Miguel Santos

9 Bibliographie

- [1] « DD11-IEC-C14.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.schurter.com/en/datasheet/typ_DD11.pdf
- [2] « WE-6914017000xxB.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.we-online.com/components/products/datasheet/691401700002B.pdf>
- [3] « RAC05-K.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://g.recomcdn.com/media/Datasheet/pdf/.f7S7vjMX/.t5ca32a5e916099fe1de3/Datasheet-130/RAC05-K.pdf>
- [4] « ADW1203HLW | Panasonic ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www3.panasonic.biz/ac/ae/search_num/index.jsp?c=detail&part_no=ADW1203HLW&large_g_cd=1&medium_g_cd=11&small_g_cd=112&series_cd=2154
- [5] « PIC32MX5XX6XX7XX_Family_Datasheet.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU32/ProductDocuments/DataSheets/PIC32MX5XX6XX7XX_Family%29Datasheet_DS60001156K.pdf
- [6] « WE-QUARTZ-830020423.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.we-online.com/components/products/datasheet/830020423.pdf>
- [7] « Ethernet Starter Kit II ». Consulté le: 22 août 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.microchip.com/en-us/development-tool/dm320004-2>
- [8] « SMSC-LAN8720-PHY-Daughter-Board.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002211A.pdf>
- [9] « LAN8720A.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/00002165B.pdf>
- [10] « CRJ011-ML3-TH.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cuidevices.com/product/resource/crj011-ml3-th.pdf>
- [11] « esp-at-user-guide.pdf ». Consulté le: 23 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://docs.espressif.com/_/downloads/esp-at/en/release-v2.1.0.0_esp32/pdf/
- [12] « esp32-c3-wroom-02_datasheet_en.pdf ». Consulté le: 23 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-wroom-02_datasheet_en.pdf
- [13] « MIFARE Classic EV1 ». Consulté le: 22 août 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.nxp.com/products/rfid-nfc/mifare-hf/mifare-classic/mifare-classic-ev1-1k-4k:MF1S50YYX_V1
- [14] « RFID Click Board », MIKROE. Consulté le: 23 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.mikroe.com/rfid-click>
- [15] « UART-B1-User-manual.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://eccel.co.uk/wp-content/downloads/UART-B1-User-manual.pdf>
- [16] « WE-RGB-150141M173100.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.we-online.com/components/products/datasheet/150141M173100.pdf>
- [17] « TLC5973.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc5973.pdf?HQS=dis-dk-null-digikeymode-dsf-pf-null-ww&ts=1695554399423&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fgeneral%252Fdocs%252Fsuppproductinfo.tsp%253FdistId%253D10%2526gotoUrl%253Dhttps%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Flit%252Fgpn%252Ftlc5973

- [18] « CMT-0904-83T.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cuidevices.com/product/resource/cmt-0904-83t.pdf>
- [19] « Classification », Eurocircuits. Consulté le: 18 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.eurocircuits.com/pcb-design-guidelines/classification/>
- [20] « PCB Trace Width Conversion Calculator | DigiKey ». Consulté le: 18 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.digikey.hk/en/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-pcb-trace-width>
- [21] « Utilisation d'un calculateur d'espacement IPC-2221 pour la conception haute tension », Altium. Consulté le: 19 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://resources.altium.com/fr/p/using-an-ipc-2221-calculator-for-high-voltage-design>
- [22] « esp32_hardware_design_guidelines_en.pdf ». Consulté le: 24 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_hardware_design_guidelines_en.pdf
- [23] « RFID-B1-User-Manual.pdf ». Consulté le: 25 septembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://eccel.co.uk/wp-content/downloads/RFID-B1-User-Manual.pdf>



ChatGPT a été intégré dans ce rapport exclusivement pour la correction orthographique et la rédaction de reformulations. Toutes les informations contenues dans ce document, sauf indication contraire, sont de la responsabilité de l'auteur du rapport.





Les icônes utilisées ont été obtenues en libre téléchargement sur le site :
<https://thenounproject.com/>



Les diagrammes temporels ont été créés grâce au projet open-source :
<https://wavedrom.com/>

10 Logiciels

		
Description	Nom	Version
Conception électronique	Altium Designer	22.7.1
Modélisation 3D	SolidWorks	2023
IDE de programmation du PIC32	MPLAB X	5.45
Configuration du PIC32	Harmony	2.06
Compilateur intégré à MPLAB	XC32	2.50
Analyseur logique	LogicSniffer	0.9.7.2
Gestionnaire de versions	GitHub Desktop	3.3.3
Gestionnaire de bibliographie	Zotero	6.0.27

		
Description	Nom	Version
Utilitaire de lecture RFID	NFC Tools	8.9

11 Figures

Figure 1 : Illustration du système, issu du CDC	7
Figure 2 : Schéma-bloc du système	8
Figure 3 : Schéma du convertisseur AC/DC	10
Figure 4 : Schéma du relai de puissance	11
Figure 5 : Assignation des broches du PIC32	13
Figure 6 : Condensateurs de découplage PIC32	13
Figure 7 : Port de programmation PIC32	13
Figure 8 : Schéma du quartz externe PIC32	13
Figure 9 : Principe du contrôleur PHY	14
Figure 10 : Schéma de la "PHY Daughter Board"	15
Figure 11 : Schéma de l'oscillateur externe sur le "Ethernet Kit 2"	15
Figure 12 : Modes de démarrage de l'ESP32	16
Figure 13 : Schéma de sélection du mode de l'ESP32	16
Figure 14 : Technologie du badge RFID de l'ES	17
Figure 15 : Schéma des connecteurs des modules RFID	17
Figure 16 : Schéma des LEDs RGB d'interface	18
Figure 17 : Schéma LEDs témoins	19
Figure 18 : Schéma du buzzer	19
Figure 19 : Image du Raspberry Pi 3B+	21
Figure 20 : Vue de la couche TOP	22
Figure 21 : Vue de la couche BOTTOM	22
Figure 22 : Vue du dessus du PCB	23
Figure 23 : Vue du dessous du PCB	23
Figure 24 : Stratégie de placement des composants	25
Figure 25 : Règle de connexion au plan de masse	27
Figure 26 : Règle de stitching du plan de masse	27
Figure 27 : Vue de l'oscillateur du contrôleur PHY	27
Figure 28 : Vue de l'oscillateur du PIC32	27
Figure 29 : Paires différentielles de la partie Ethernet	28
Figure 30 : Impédance des paires différentielles de l'Ethernet	28
Figure 31 : Plan de masse isolé du connecteur RJ45	28
Figure 32 : Recommandations de placement de l'ESP32	29
Figure 33 : Recommandation de dégagement pour l'antenne de l'ESP32	29
Figure 34 : Machine d'état global du firmware	30

Figure 35 : Machine d'état - ESP	32
Figure 36 : Configuration harmony UART1	32
Figure 37 : Machine d'état - CHU	33
Figure 38 : Configuration Harmony UART2	33
Figure 39 : Initialisation librairie RFIDB1	34
Figure 40 : RFIDB1 - Construction d'une trame de type A	34
Figure 41 : RFIDB1 - Construction d'une commande non crypté	34
Figure 42 : RFIDB1 - Construction d'une réponse du module	34
Figure 43 : Machine d'état - BZR	35
Figure 44 : Configuration Harmony - OC5	35
Figure 45 : Configuration Harmony - TMR3	35
Figure 46 : Séquences de contrôle des LEDs	36
Figure 47 : Timings à respecter - TLC5973	36
Figure 48 : Configuration Harmony - TMR2	37
Figure 49 : Représentation temporel de l'encodage des bits	37
Figure 50 : Illustration - SQLite	38
Figure 51 : Mesure du +3V3	39
Figure 52 : Mesure de la commutation 230VAC sur le relai	40
Figure 53 : Mesure trame UART RFID	41
Figure 54 : Analyse trame UART RFID	41
Figure 55 : Mesure trame UART TX ESP32	42
Figure 56 : Mesure trame UART RX ESP32	42
Figure 57 : Analyse trame UART ESP32	42
Figure 58 : Mesure fréquences TLC5973	43
Figure 59 : Mesure de la trame complète du TLC5973	43
Figure 60 : Mesure de la fréquence de l'OC du buzzer	44
Figure 61 : Mesure du temps des notes du buzzer	44

12 Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques principales de la prise IEC C14	9
Tableau 2 : Caractéristiques principales des borniers	9
Tableau 3 : Estimation du courant maximal	10
Tableau 4 : Caractéristiques principales du convertisseur AC/DC	10
Tableau 5 : Caractéristiques principales du relai de puissance	11
Tableau 6 : Caractéristiques principales du microcontrôleur	12

Tableau 7 : Périphériques et nombre de broches nécessaires pour le PIC32	12
Tableau 8 : Caractéristiques principales du contrôleur PHY	14
Tableau 9 : Caractéristiques principales du connecteur RJ45	14
Tableau 10 : Caractéristiques principales du module Wi-Fi	16
Tableau 11 : Comparaison des modules RFID	17
Tableau 12 : Caractéristiques principales des LEDs RGB	18
Tableau 13 : Caractéristiques principales du driver de LED	18
Tableau 14 : Caractéristiques principales du buzzer	19
Tableau 15 : Liste des points de mesure du système	20
Tableau 16 : Spécifications principales du PCB	24
Tableau 17 : Règles principales de fabrication Eurocircuit - Classe 6C	24
Tableau 18 : Largeurs des pistes de puissance	26
Tableau 19 : Distance d'isolation 230 [VAC]	26
Tableau 20 : Description des librairies firmware	31
Tableau 21 : Composantes principales des machines d'états	31
Tableau 22 : Spécificités de la librairie ESP	32
Tableau 23 : Spécificités de la librairie CHU	33
Tableau 24 : Spécificités de la librairie RFIDB1ClientInterface	34
Tableau 25 : Spécificités de la librairie BZR	35
Tableau 26 : Spécificités de la librairie TLC5973	36
Tableau 27 : Liste du matériel de mesure	39
Tableau 28 : Points de tests - Mesure convertisseur AC/DC	39
Tableau 29 : Points de tests - Mesure commutation 230VAC	40
Tableau 30 : Points de tests - Mesure UART RFID	41
Tableau 31 : Points de tests - Mesure UART ESP32	42
Tableau 32 : Points de tests - Mesure TLC5973	43
Tableau 33 : Points de tests - Mesure Buzzer	44
Tableau 34 : Etat d'avancement du projet	45

13 Equations

Équation 1 : Résistance de base du transistor	11
Équation 2 : Calcul des condensateurs du quartz externe	13
Équation 3 : Résistance de limitation de courant du TLC5973	18
Équation 4 : Calcul de la résistance des LEDs témoins	19
Équation 5 : Calcul du prescaler minimum	37

14 Annexes

14.1 Cahier des charges

14.2 Planification

14.3 Journal de travail

14.4 Procès-verbaux des séances hebdomadaires

14.5 Schémas électroniques

- Schéma bloc
- Puissance
- PIC32
- Ethernet
- ESP32
- RFID
- Interfaces

14.6 Fichiers de fabrication

- Vues des projections du PCB
- Cotations du PCB et composants
- Vues des couches du PCB
- Vues réalistes du PCB
- Liste des composants

14.7 Liste des règles Altium

14.8 Code source firmware

14.9 Fiche de modifications

14.10 Mode d'emploi