

ETML-ES

**Projet de diplôme**

Technicien ES en génie électrique,  
spécialisation électronique

2312

Système d’accès par badge  
pour place de travail

Expert n° 1 :

**Emilien Coulinge**

Réalisé par :

**Miguel Santos**

Maître de diplôme :

**Philippe Bovey**

Expert n° 2 :

**Daniel Bommottet**

Table des matières

[1 Introduction 5](#_Toc145974039)

[1.1 Contexte 5](#_Toc145974040)

[1.2 But du projet 5](#_Toc145974041)

[1.3 Organisation 5](#_Toc145974042)

[2 Conception 6](#_Toc145974043)

[2.1 Schéma-bloc du système 6](#_Toc145974044)

[2.2 Connecteurs 230VAC 7](#_Toc145974045)

[2.3 Convertisseur AC/DC 8](#_Toc145974046)

[2.4 Commutation 230VAC 9](#_Toc145974047)

[2.5 RFID 10](#_Toc145974048)

[2.6 Microcontrôleur 12](#_Toc145974049)

[2.7 Module Wi-fi 13](#_Toc145974050)

[2.8 Ethernet 14](#_Toc145974051)

[2.9 LEDs d’interface 15](#_Toc145974052)

[2.10 LEDs témoins 16](#_Toc145974053)

[2.11 Buzzer d’interface 16](#_Toc145974054)

[2.12 Transistor 16](#_Toc145974055)

[2.13 Points de tests 17](#_Toc145974056)

[2.14 Serveur externe 17](#_Toc145974057)

[2.15 Boitier 17](#_Toc145974058)

[3 Hardware 18](#_Toc145974059)

[3.1 Spécifications du PCB 18](#_Toc145974060)

[3.2 Règles de fabrication 18](#_Toc145974061)

[3.3 Largeur de pistes 19](#_Toc145974062)

[3.4 Piste d’alimentation +3V3 19](#_Toc145974063)

[3.5 Piste de puissance 230 [VAC] 19](#_Toc145974064)

[3.6 Caractéristiques mécaniques 20](#_Toc145974065)

[3.7 Placement des composants 21](#_Toc145974066)

[3.8 Plans de masse 21](#_Toc145974067)

[3.9 Pairs différentiels 21](#_Toc145974068)

[3.10 Boitier 21](#_Toc145974069)

[4 Software 22](#_Toc145974070)

[4.1 Machine d’état global 22](#_Toc145974071)

[4.2 Librairies utilisées 22](#_Toc145974072)

[4.3 Principales variables 22](#_Toc145974073)

[4.4 Principales fonctions 22](#_Toc145974074)

[5 Conclusion 23](#_Toc145974075)

[6 Bibliographie 24](#_Toc145974076)

[7 Logiciels 25](#_Toc145974077)

[8 Figures 26](#_Toc145974078)

[9 Tableaux 26](#_Toc145974079)

[10 Equations 26](#_Toc145974080)

[11 Annexes 27](#_Toc145974081)

[11.1 Cahier des charges 27](#_Toc145974082)

[11.2 Planification 27](#_Toc145974083)

[11.3 Journal de travail 27](#_Toc145974084)

[11.4 Procès-verbaux des séances hebdomadaires 27](#_Toc145974085)

[11.5 Schémas électroniques 27](#_Toc145974086)

[11.6 Plan de projections du PCB 27](#_Toc145974087)

[11.7 Cotations du PCB et des composants 27](#_Toc145974088)

[11.8 Vues des couches du PCB 27](#_Toc145974089)

[11.9 Liste des composants 27](#_Toc145974090)

[11.10 Cotations du boitier 27](#_Toc145974091)

[12 Fichiers (version numérique) 27](#_Toc145974092)

[12.1 Toutes les annexes mentionnées en .PDF 27](#_Toc145974093)

[12.2 Projet Altium Designer 27](#_Toc145974094)

[12.3 Projet MPLAB X 27](#_Toc145974095)

[12.4 27](#_Toc145974096)

Glossaire

ETML École Technique et des Métiers de Lausanne

ES École Supérieure

CDC Cahier Des Charges

RFID Radio Frequency IDentification

ABS Acrylonitrile Butadiène Styrène

PETG PolyEthylene Terephthalate Glycol

Notes

# Introduction

## Contexte

Dans le cadre des formations en École Supérieure, la réalisation d'un projet de diplôme revêt une importance cruciale. Ce projet constitue la validation finale des connaissances et des compétences acquises tout au long de la formation. Il met à l'épreuve la capacité des étudiants à appliquer leurs connaissances théoriques à des défis concrets.

Ce projet est réalisé en fin de formation et possède une durée de 5 semaines. Chaque étudiant est suivi par un enseignant de l’ETML-ES, nommé le Maître de diplôme, et évalué par ce dernier ainsi que deux experts externes.

## But du projet

L'objectif de ce travail de diplôme est de créer un dispositif électronique permettant à un étudiant de l'École Supérieure (ES) d'activer des appareils à sa place de travail à l'aide d'un badge RFID reçu lors de sa première année. Cela inclut des équipements tels que des alimentations de laboratoire, des oscilloscopes et des générateurs, ainsi que des équipements situés dans un "local de montage" comme une station de dessoudage, un fer à braser et un binoculaire. L'objectif principal 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'utilisation 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 journaux d'utilisation, y compris des informations telles que l'identité de l'utilisateur, la fréquence d'utilisation, la durée, etc.

Le projet est mandaté par l'École Supérieure, qui a fourni un cahier des charges détaillant les exigences précises du projet (Annexe 11.1).

## Organisation

Le projet a été planifié dès son début, avec une documentation quotidienne des activités dans un journal de travail.

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

Tous ces documents sont inclus en annexes de ce rapport.

# Conception

Ce chapitre a pour objectif de définir les motivations derrière les choix de composants, de mettre en évidence leurs avantages et inconvénients, tout en fournissant des détails sur leur dimensionnement.

Les datasheets de chaque composant sont répertoriées en bibliographie ou accessibles via les liens fournis dans les tableaux. Les schémas électroniques associés sont inclus en annexe

## Schéma-bloc du système

Le schéma-bloc suivant résume les composants du système divisés en différentes parties correspondant à chacun des schémas électroniques.

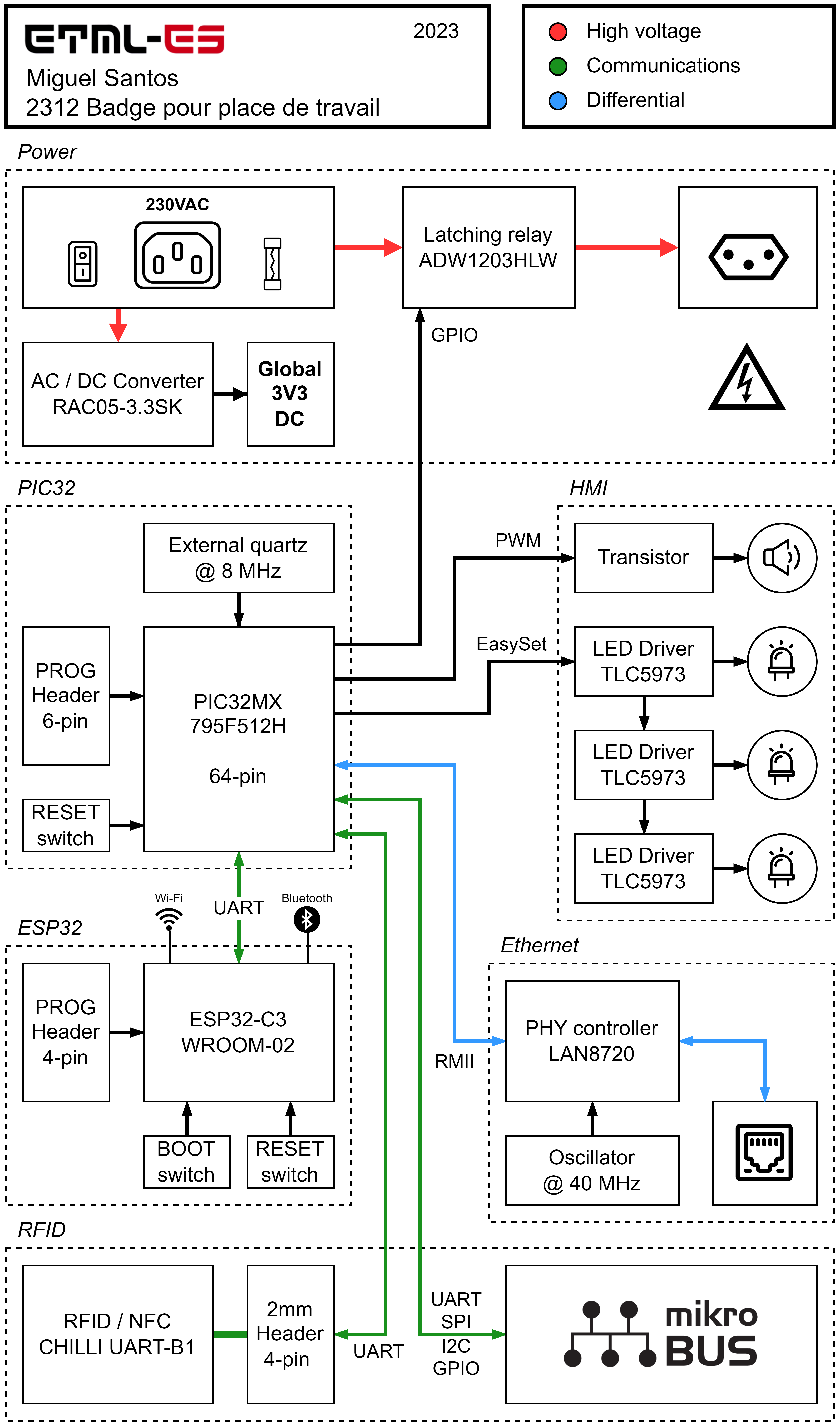


Figure : Schéma-bloc du système

## Connecteurs 230VAC

L’appareil doit être alimenté directement sur le réseau électrique sans transformateur externe. Il doit pouvoir fournir une sortie 230VAC avec suffisamment de courant pour alimenter les appareils des places de travail de l’ES.

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 boiter 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](https://www.schurter.com/en/datasheet/typ_DD11.pdf) [1] | | | |
| N° de fabricant | DD11.0111.1111 | |  |
| Tension de fonctionnement | 250 RMS | [VAC] |
| Courant de fonctionnement | 10 | [A] |
| Taille fusible | 5 x 20 | [mm] |
| Puissance fusible | 2 | [W] |
| Interrupteur | 2 pos. / non-illuminé Disjoncteur thermique | |

Tableau : 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 relais.

La mise à la terre est établie directement de l'entrée à la sortie, le boîtier ou le circuit ne nécessitant pas de protection particulière. Toutefois, les appareils connectés à la sortie doivent être mis à la terre par mesure de sécurité.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Borniers [Datasheet](https://www.we-online.com/components/products/datasheet/691401700002B.pdf) [2] | | | |
| N° de fabricant | 691401700002B 691401700004B | | Une image contenant jouet, plastique  Description générée automatiquement |
| Tension de fonctionnement | 300 RMS | [VAC] |
| Courant de fonctionnement | 10 | [A] |
| Nombre de positions | 2 & 4 | [-] |

Tableau : 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).

## 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.

La tension du circuit a été fixée à +3,3 [VDC] car elle est nécessaire aux principaux composants, tel que le microcontrôleur ou le module RFID. Celle-ci étant suffisante pour l'ensemble du circuit, un convertisseur AC/DC spécifique à cette tension a été sélectionné.

Le courant maximal nécessaire a été déterminé en se basant sur les datasheets des composants, en tenant compte du scénario le plus exigeant, avec une marge de sécurité de 10% en cas d’imprévus (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Le module choisi (Tableau 4) permet de satisfaire la tension et le courant maximal requis. Il ne nécessite pas de composants externes et se distingue de ces concurrents par sa taille et sa disponibilité par rapport à son prix.

Le module intègre des protections contre les surtensions, les courts-circuits, et un fusible. Le fabricant garantit la conformité aux normes d'émission de bruit. Bien que son rendement soit relativement bas en utilisation intensive, il se montre plus efficace en cas de faible consommation.

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

Des condensateurs ont été ajoutés en sortie du circuit pour garantir la stabilité de la tension. Les valeurs ont été choisies de manière arbitraire.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Estimation du courant maximal | | [mA] |
| Microcontrôleur | PIC32 | 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 |
| LEDS témoins | 10 |
| Buzzer | 90 |
| **Total :** | | **1285** |
| **Avec marge de 10% :** | | **1413,5** |

Tableau : Estimation du courant maximal

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Convertisseur AC/DC [Datasheet](https://g.recomcdn.com/media/Datasheet/pdf/.fDalzwDY/.t4d3a794a0b6c5ccab793/Datasheet-135/RAC05-K_277.pdf) [3] | | | |
| N° de fabricant | RAC05-3.3SK | | https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/images/2167/MFG_RAC05-K.jpg |
| Tension d’entrée | 85 ~ 264 RMS | [VAC] |
| Tension de sortie | 3.3 | [VDC] |
| Courant de sortie | 1515 | [mA] |

Tableau : Caractéristiques principales du convertisseur AC/DC

## Commutation 230VAC

Le relai de puissance permet de faire commuter la sortie 230 [VAC] en fonction des droits accordés au badge. Il est en mesure de supporter le courant maximal et la tension que peut fournir une prise électrique standard. Il est aussi pilotable par la tension disponible sur le circuit.

La sortie doit être maintenue pendant de longues périodes, c'est pourquoi un relais à verrouillage est utilisé. Ce relais conserve sa position après une brève impulsion, ne nécessitant pas d'alimentation continue, ce qui contribue à réduire grandement la consommation du circuit.

L'utilisation d'un relais assure une isolation galvanique entre les sections à haute et basse tension. Contrairement à d'autres méthodes, telles que l'utilisation d'un optocoupleur, un relai présente l'avantage de pouvoir commuter des puissances plus élevées. Cependant, les contacts mécaniques ont l’inconvénient de s’user plus rapidement.

Ce relai a été choisi en raison du fait qu’il possède 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 3,3 [VDC].

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Relai de puissance [Datasheet](https://www3.panasonic.biz/ac/e_download/control/relay/power/catalog/mech_eng_dw.pdf) [4] | | | |
| N° de fabricant | ADW1203HLW | |  |
| Tension de contact | 277 RMS | [VAC] |
| Courant de contact | 16 | [A] |
| Tension de bobine | 3 | [V] |
| Courant de bobine | 133.3 | [mA] |
| Type de bobine | Double bobine, à verrouillage | |

Tableau : Caractéristiques principales du relai

Le courant demandé par les bobines de commutation est supérieur à ce que peut fournir le microcontrôleur. Pour cette raison, le contrôle est réalisé par le biais de transistors externes. Le dimensionnement des valeurs de résistance et le choix du transistor et de la diode de roue libre est détaillé au ………….

Des résistances de « pull-up » ou « pull-down » permettent d’assurer l’état par défaut du relai avant un contrôle par le microcontrôleur. La sortie est coupée par défaut à l’allumage du circuit.

## RFID

Des badges sont mis à disposition des élèves de l'ETML-ES pendant toute la durée de leur formation. Ceux-ci seront utilisés dans ce projet afin d'éviter aux élèves la nécessité de multiples badges.

La technologie du badge a pu être identifiée à l’aide un smartphone (Samsung S23 Ultra) doté de l'application « NFC Tools ». La figure ci-dessous illustre le standard adopté par le badge, en mettant en évidence le fabricant ainsi que le modèle de la puce interne. Des informations techniques plus détaillées sont également disponibles sur le site web du fabricant. [5]

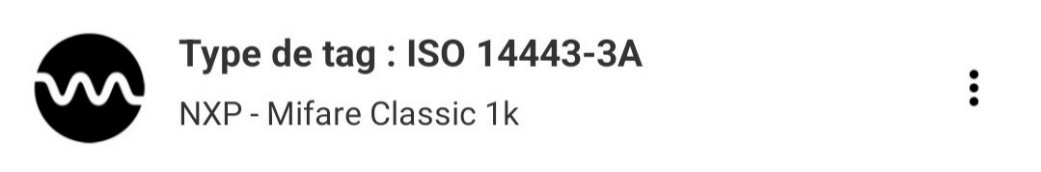


Figure : Technologie du badge RFID de l'ETML-ES

En résumé, le badge communique à l'aide d'une puce RFID à une fréquence de 13,56 [MHz] 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 en ce qui concerne l'antenne. Deux modules se sont démarqués :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Comparaison des modules RFID | | |
| Nom | RFID CLICK | CHILLI UART B1 |
| Illustration | https://cdn1-shop.mikroe.com/img/product/rfid-click/rfid-click-large_default-12x.jpg | https://eccel.co.uk/wp-content/uploads/2018/02/UART-B1_1-1.jpg |
| 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 dans le boitier plus flexible |
| Inconvénients | Antenne à faible portée | Coût plus élevé  Taille plus grande |

Mon choix s’est porté sur le module « CHILLI UART B1 » pour sa possibilité de le placer librement dans le boitier. La portée de l’antenne, déterminé en partie par sa taille, a aussi été un critère décisif pour le choix de ce module. Néanmoins, il a été demandé à garder la possibilité de connecter un module « MikroE » pour de futurs développements en intégrant une empreinte « mikroBUS » sur le PCB.

## 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 PIC32 a été sélectionné car il s'agit de la famille de microcontrôleur la plus étudiée au sein de la formation à l'ES et offre une relative facilité de programmation grâce à l’IDE « MPLAB X ». Il intègre un module Ethernet MAC, conçu pour s’interface avec un contrôleur PHY externe afin d’établir une connexion Ethernet. De plus il dispose d’un grand nombre de périphériques nécessaires pour communiquer avec les autres modules. Sa faible consommation de courant est aussi un atout non négligeable.

Il est important de faire le bon choix de modèle car en raison de sa popularité, il n’est pas rare de le voir en rupture de stock. De plus, il présente une certaine rigidité dans le choix des broches pour les périphériques, ce qui nécessite une certaine attention lors de la phase de conception.

Ports utilisées

Gpio

Mémoire

Fréquence

Quartz

## Module Wi-fi

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

Un module « ESP32-C3 » a été sélectionné parmi les anciens 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.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Module Wi-Fi | | | |
| 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 : Caractéristiques principales du module Wi-Fi

Le module nécessite d’être programmé avant son utilisation. Pour cela, il doit pouvoir être commuté dans un mode « Boot Download » permettant d’y implémenter son code par le biais du port de programmation. La transition vers ce mode s'effectue en activant certaines broches du module à un état haut au moment de son démarrage, comme décris par la datasheet :

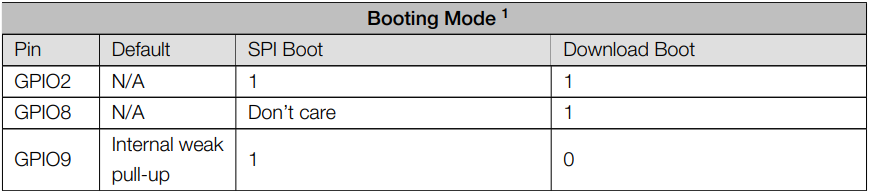


Figure : Modes de démarrage de l'ESP32

Dans le cas de ce circuit, il suffit de maintenir presser et maintenir le bouton de « BOOT » et d’appuyer sur le bouton de « RESET » pour commuter dans ce mode de programmation.

(Corrections à apporter : voir fiche de modifications)

## Ethernet

L’intégration d’une connexion Ethernet a pour but d’offrir une alternative plus fiable à la connexion Wi-Fi. Néanmoins au vu de la complexité de cette partie, il a été décidé qu’elle serait développée en dernière priorité.

Le « Kit PIC32 » utilisée en deuxième année de l’ES, se base sur le « Ethernet Start Kit » développé par « Microchip » pour la partie liée à l’Ethernet. Il a été recommandé de suivre la même approche en l’actualisant avec la deuxième version plus récente de ce kit. [6]

Ce contrôleur PHY peut-être configuré directement depuis l’IDE

Il faut veiller à l’utilisation de paires différentielles pour le transfert des données sur les signaux « RX » et « TX ». Ceci depuis le microcontrôleur au contrôleur PHY et au port RJ45.

Le port RJ45 est doté de transformateurs de couplage. Ceux-ci peuvent être externe mais il est de plus en plus commun de les retrouver intégré directement dans le connecteur RJ45. 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.

Liens avec uc

## LEDs d’interface

Trois LEDs extérieurs 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 afin d’offrir une plus grande variété de couleurs possibles. Elles sont contrôlées par un driver de LED dédié pour chacune d’entre elles. Des LEDs bicolores étaient initialement prévues, mais au vu du fait qu’il n’y aucune différence de prix et que la méthode de contrôle reste la même, le choix s’est tourné vers des LEDs RGB. 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) | | | |
| N° de fabricant | 150141M173100 | |  |
| Tension directe | R 2,0 - V 3,2 - B 3,2 | [V] |
| Courant maximal | 30 | [mA] |

Tableau : Caractéristiques principales des LEDs RGB

Le driver de LED dispose de 3 canaux, adapté ainsi au contrôle de LEDs RGB. Il permet de réduire la charge de courant sollicité au microcontrôleur. De plus, la commande s'effectue sur une unique ligne en série. Le pilote utilisé utilise la méthode « Grayscale », qui régule l'intensité de chaque LED grâce à des signaux PWM. Cela offre la possibilité de créer une diversité d'effets varié.

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 :

Une image contenant texte, Police, blanc, ligne

Description générée automatiquement

Équation : Résistance de courant maximal, TLC5973

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Driver de LED (x3) | | | |
| N° de fabricant | TLC5973DR | |  |
| Tension d’alimentation | 3 ~ 6 | [V] |
| Tension par canal | 21 | [V] |
| Courant par canal | 50 | [mA] |
| Interface | 3-Mbps « EasySet » |  |

Tableau : Caractéristiques principales du driver de LED

Le protocole et la méthode de contrôle du circuit sont détaillés dans le chapitre « 4 Software ».

## LEDs témoins

Deux LED sont disposées sur le circuit principalement pour la phase de développement. L'une signale la présence de l'alimentation, tandis que l'autre peut être contrôlée par le microcontrôleur à des fins de débogage. Leur courant et luminosités sont volontairement faible et ne sont pas visibles depuis l’extérieur du boitier.

Elles ont été sélectionnées arbitrairement parmi le stock de l’ES.

## Buzzer d’interface

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

Un buzzer magnétique a été choisi en raison de son volume sonore plus élevé par rapport à un buzzer piézoélectrique, bien que cela implique une consommation de courant plus importante. Cependant, il est essentiel que l'utilisateur puisse entendre clairement le signal pour éviter de voir tous ses appareils s’éteindre de manière imprévue. La consommation de courant est brève et aura finalement peu d'impact.

Une résistance placée en série offre la possibilité 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.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Buzzer | | | |
| N° de fabricant | CMT-0904-83T | |  |
| Tension d’alimentation | 2 ~ 5 | [V] |
| Courant maximale | 90 | [mA] |
| Fréquence nominale | 2730 | [Hz] |

Tableau : Caractéristiques principales du buzzer

## Transistor

## Points de tests

Divers header répartis sur la carte permettent la mesure de la plupart des signaux de communications ainsi que de l’alimentation et de la broche de débogage (connectés aussi aux LEDs témoins).

Aucun point de test n’a été placé sur la partie concernant l’Ethernet, car cela présente peu d’intérêt au vu de la complexité des trames qui sont transmises.

## 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.

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 librairies et d’une documentation abondante.

## 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 entrainé 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.

Des détails supplémentaires sur le boitier sont fournis dans le chapitre « 3 Hardware ».

# Hardware

Ce chapitre explore la conception du PCB et la modélisation du boîtier qui l'abrite. Il détaille les raisons derrière les choix de conception et les contraintes de fabrication.

Les illustrations des couches principales et de la cotation du PCB sont fournies en annexe.

## Spécifications du PCB

Le PCB a été fabriqué par Eurocircuit, entreprise avec laquelle l'ES a l'habitude de collaborer. Voici ci-dessous (Tableau 9) les caractéristiques clés de ce PCB. Les paramètres à définir lors de la commande étaient fixé 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 : Spécifications principales du PCB

## Règles de fabrication

Des règles de fabrication (Tableau 10) ont été intégrées dans le logiciel de CAO (Altium Designer) pour répondre aux normes de fabrication minimales de la catégorie « 6C » d'Eurocircuit [7].

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 : Règles de fabrication Eurocircuit - Classe 6C

## 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 Digi-Key (Tableau 12).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Largeurs des pistes de puissance [Calculateur](https://www.digikey.hk/en/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-pcb-trace-width) [8] | | | | | | | | |
| Net | Courant | | Elévation de température | | Largeur minimale | | Largeur sélectionnée | |
| AC-L-IN  AC-L-OUT  AC-N  EARTH | 10 | [A] | 10 | [°C] | 7,19 | [mm] | (8,00) | [mm] |
| 5,0 | [A] | 10 | [°C] | 2,77 | [mm] | 3,00 | [mm] |
| +3V3 | 1,6 | [A] | 10 | [°C] | 0,57 | [mm] | 1,00 | [mm] |

Tableau : Largeurs des pistes de puissance

## 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 12) 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.

## 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 répartis 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 13)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Distance d’isolations des pistes 230 [VAC] [Calculateur](https://resources.altium.com/fr/p/using-an-ipc-2221-calculator-for-high-voltage-design) [9] | | | | | | |
| 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 : Distance d'isolation 230 [VAC]

## Placement des composants

Malgré les garanties du fabricant, le convertisseur AC/DC a été placé à distance des antennes (RFID et Wi-Fi) pour réduire le risque d’interférences, qui sont courantes avec ce type de composant.

L'empreinte « mikroBUS » a été positionnée à l'avant du boîtier de telle manière à ce que l'antenne d’un potentiel futur module Mikroe puisse dépasser et être accessible depuis l’extérieur du boitier.

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.

## ESP32

Le fabricant du module ESP32 fournit un document détaillant les directives de conception précises. 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 4).

Une image contenant texte, diagramme, capture d’écran, Plan

Description générée automatiquement

Figure : 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 a été réalisée sur le PCB afin de réduire l'espace occupé dans le boîtier selon les dimensions spécifiés par le fabricant (Figure 5).

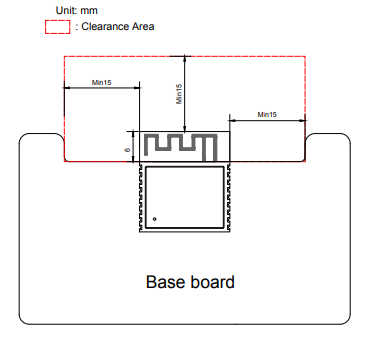


Figure : Recommandation de dégagement pour l'antenne de l'ESP32

Partie 230vac placé du même cotés à l’arrière du boitier

Leds placés centrés horizontalement mais légèrement décallé car il va y avoir guide de lumière qui va venir sur le dessus et ya le module rfid aussi

## Caractéristiques mécaniques

Le boitier va devoir aller dans un boitier, le cahier des charge

Des encoches dans les coins pour laisser passer les colonettes du boitier pour gagner un peu de place.

Quatre trous de fixations

Une partie déportée pour le connecteur ethernet qui vienne au bord du pcb

## Plans de masse

Plan de masse ethernet

Plan de masse général avec règles et pourquoi ce plan

Pourquoi stitching

## Pairs différentiels

Règles des pairs différentiels

## Boitier

Dimensions

Découpe

# Software

## Machine d’état global

## Librairies utilisées

## Principales variables

## Principales fonctions

# Mise en service

# Conclusion

Lausanne, le 4 septembre 2023

Miguel Santos

# Bibliographie

[1] Schurter, « DD11 - IEC Appliance Inlet C14 ». https://www.schurter.com/en/datasheet/DD11 (consulté le 18 septembre 2023).

[2] « WR-TBL Series 401B - Würth Elektronik ». https://www.we-online.com/en/components/products/TBL\_5\_00\_401B\_SCREWLESS\_VERTICAL\_ENTRY\_2\_0MM2\_WIRES\_6914017000XXB (consulté le 18 septembre 2023).

[3] « RAC05-3.3SK - AC/DC, 5.0 W, Single Output, THT | RECOM ». https://recom-power.com/en/products/ac-dc-power-supplies/ac-dc-pcb-mounted/rec-p-RAC05-3.3SK.html?5 (consulté le 18 septembre 2023).

[4] « ADW1203HLW | DW Relays - Panasonic ». 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 (consulté le 18 septembre 2023).

[5] « MIFARE Classic EV1 1K - 4K ». https://www.nxp.com/products/rfid-nfc/mifare-hf/mifare-classic/mifare-classic-ev1-1k-4k:MF1S50YYX\_V1 (consulté le 22 août 2023).

[6] « Ethernet Starter Kit II ». https://www.microchip.com/en-us/development-tool/dm320004-2 (consulté le 22 août 2023).

[7] « Classification », *Eurocircuits*. https://www.eurocircuits.com/pcb-design-guidelines/classification/ (consulté le 18 septembre 2023).

[8] « PCB Trace Width Conversion Calculator | DigiKey ». https://www.digikey.hk/en/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-pcb-trace-width (consulté le 18 septembre 2023).

[9] « Utilisation d’un calculateur d’espacement IPC-2221 pour la conception haute tension », *Altium*, 17 janvier 2020. https://resources.altium.com/fr/p/using-an-ipc-2221-calculator-for-high-voltage-design (consulté le 19 septembre 2023).

|  |  |
| --- | --- |
| https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/04/ChatGPT_logo.svg/1200px-ChatGPT_logo.svg.png | 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/*](https://thenounproject.com/) |

# Logiciels

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Une image contenant Graphique, Police, graphisme, ligne  Description générée automatiquement | | |
| Description | Nom | Version |
| IDE de programmation du PIC32 | MPLAB X | 5.45 |
| Configuration du PIC32 | Harmony | 2….. |

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
| Nom | Version |
| NRF Tools | 8.9 |

# Figures

[Figure 1 : Schéma-bloc du système 6](#_Toc146055489)

[Figure 2 : Technologie du badge RFID de l'ETML-ES 10](#_Toc146055490)

[Figure 3 : Modes de démarrage de l'ESP32 13](#_Toc146055491)

[Figure 4 : Recommandations de placement de l'ESP32 20](#_Toc146055492)

[Figure 5 : Recommandation de dégagement pour l'antenne de l'ESP32 20](#_Toc146055493)

# Tableaux

[Tableau 1 : Caractéristiques principales de la prise IEC C14 7](#_Toc146055476)

[Tableau 2 : Caractéristiques principales des borniers 7](#_Toc146055477)

[Tableau 3 : Estimation du courant maximal 8](#_Toc146055478)

[Tableau 4 : Caractéristiques principales du convertisseur AC/DC 8](#_Toc146055479)

[Tableau 5 : Caractéristiques principales du relai 9](#_Toc146055480)

[Tableau 6 : Caractéristiques principales du module Wi-Fi 13](#_Toc146055481)

[Tableau 7 : Caractéristiques principales des LEDs RGB 15](#_Toc146055482)

[Tableau 8 : Caractéristiques principales du driver de LED 15](#_Toc146055483)

[Tableau 9 : Caractéristiques principales du buzzer 16](#_Toc146055484)

[Tableau 10 : Spécifications principales du PCB 18](#_Toc146055485)

[Tableau 11 : Règles de fabrication Eurocircuit - Classe 6C 18](#_Toc146055486)

[Tableau 12 : Largeurs des pistes de puissance 19](#_Toc146055487)

[Tableau 13 : Distance d'isolation 230 [VAC] 19](#_Toc146055488)

# Equations

[Équation 1 : Résistance de courant maximal, TLC5973 15](#_Toc146055494)

# Annexes

## Cahier des charges

## Planification

## Journal de travail

## Procès-verbaux des séances hebdomadaires

## Schémas électroniques

## Plan de projections du PCB

## Cotations du PCB et des composants

## Vues des couches du PCB

## Liste des composants

## Cotations du boitier

# Fichiers (version numérique)

## Toutes les annexes mentionnées en .PDF

## Projet Altium Designer

## Projet MPLAB X

## 