

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](#_Toc145864864)

[1.1 Contexte 5](#_Toc145864865)

[1.2 But du projet 5](#_Toc145864866)

[1.3 Organisation 5](#_Toc145864867)

[2 Schéma-blocs 6](#_Toc145864868)

[3 Design 7](#_Toc145864869)

[3.1 Connecteurs 230VAC 7](#_Toc145864870)

[3.2 Convertisseur AC/DC 8](#_Toc145864871)

[3.3 Commutation 230VAC 9](#_Toc145864872)

[3.4 RFID 10](#_Toc145864873)

[3.5 Microcontrôleur 12](#_Toc145864874)

[3.6 Module Wi-fi 13](#_Toc145864875)

[3.7 Ethernet 14](#_Toc145864876)

[3.8 LEDS 15](#_Toc145864877)

[3.9 Buzzer 15](#_Toc145864878)

[3.10 16](#_Toc145864879)

[3.11 Boitier 16](#_Toc145864880)

[3.12 Serveur externe 17](#_Toc145864881)

[4 Hardware 18](#_Toc145864882)

[5 Software 19](#_Toc145864883)

[6 Conclusion 20](#_Toc145864884)

[7 Bibliographie 21](#_Toc145864885)

[8 Logiciels 22](#_Toc145864886)

[9 Annexes 23](#_Toc145864887)

[9.1 Cahier des charges 23](#_Toc145864888)

[9.2 Planification 23](#_Toc145864889)

[9.3 Journal de travail 23](#_Toc145864890)

[9.4 Procès-verbaux des séances hebdomadaires 23](#_Toc145864891)

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

Le but de ce travail de diplôme est de concevoir un dispositif électronique permettant à un étudiant de l’ES, à l’aide d’un badge RFID reçu lors de la première année, de pouvoir activer les appareils se trouvant à sa place de travail (Exemple : alimentation de laboratoire, oscilloscope, générateur), ou d’activer l’appareillage se trouvant au « local de montage » (station de dessoudage, fer à braser, binoculaire,) pour une durée limitée ; ceci doit permettre une meilleure gestion de la consommation électrique des appareils électriques (éviter les oublis d’extinction des appareils), une sécurité concernant les stations brassage (risque minime d’incendie), une gestion des droits d’utilisation et un suivi (log).

Le système électronique doit pouvoir lire un badge RFID, activer ou non un commutateur 230 VAC selon une base donnée qui sera lue via le protocole Ethernet ou via le WiFi (heure d’activation, durée, autre). Le système devra gérer la notion de timeout par une indication lumineuse et/ou sonore. Le dispositif devra avoir une adresse permettant une mise en relation avec la base de données (logs d’utilisation) : utilisation de la place de travail par qui, combien de fois, combien de temps, etc.

Le cahier des charges disponible en annexe (8.1) fournit les exigences détaillées du projet.

Le mandataire du projet est l’École Supérieure.

## Organisation

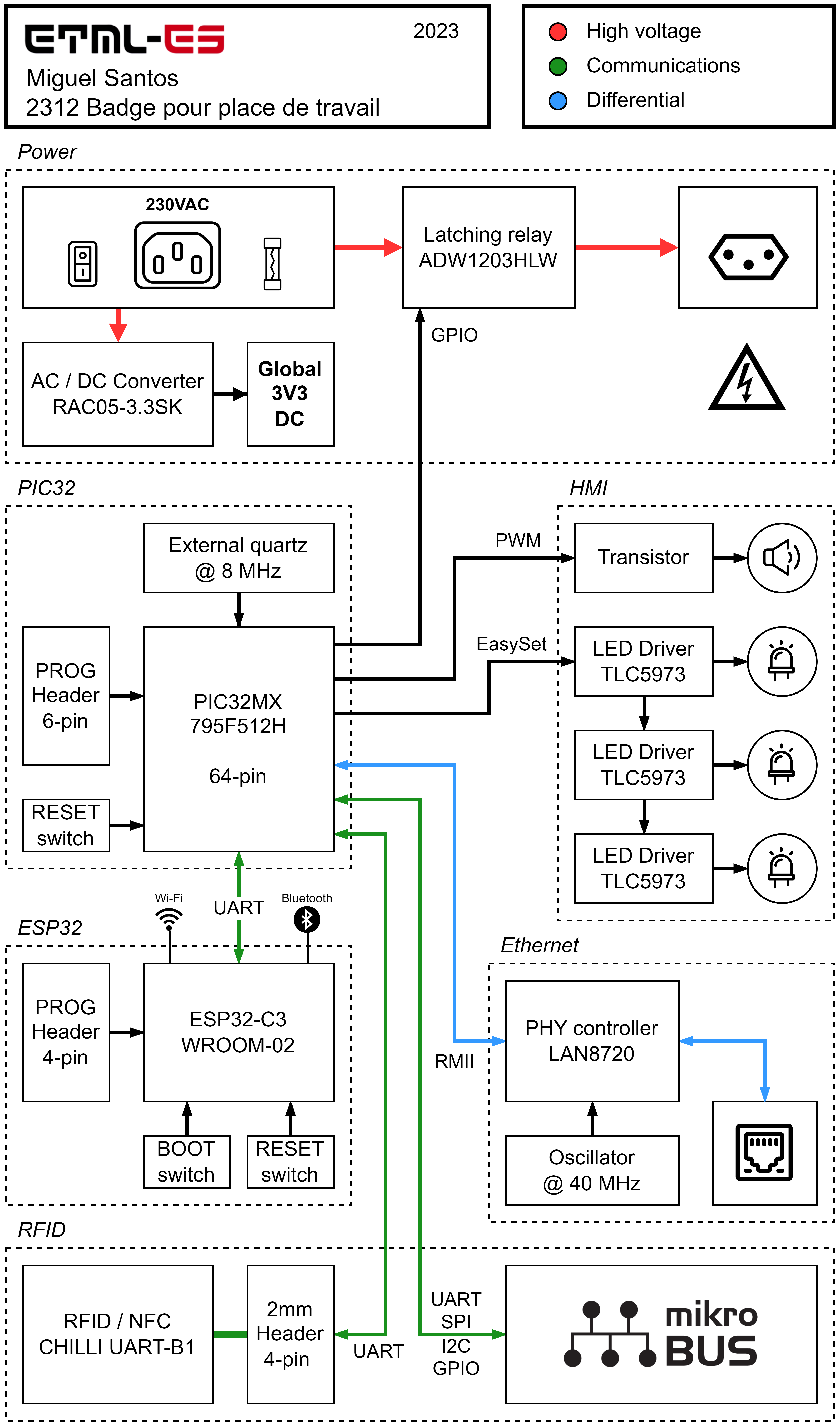
Une planification complète du projet a été établis au premier jour.

Les activités quotidiennes ont été documentés 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.

# Schéma-blocs



# Design

## 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 | | | |
| 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 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 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 | | | |
| 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 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).

## 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 (Tableau 3).

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.



Tableau 3 : Estimation du courant maximal

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Convertisseur AC/DC | | | |
| 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 4 : 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 | | | |
| 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 5 : Caractéristiques principales du relai de puissance

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, notamment pour l'accès au bâtiment et aux imprimantes. 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 en utilisant 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. [1]

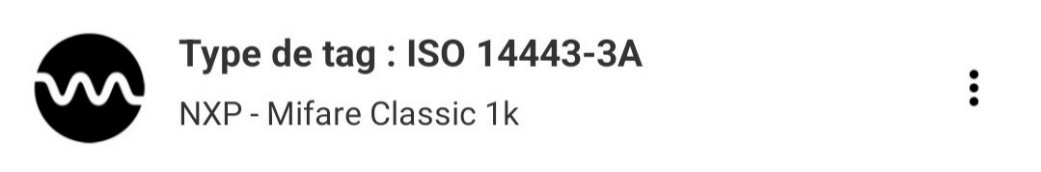


Figure 5 : Technologie du badge RFID de l'ETML-ES

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 du microcontrôleur le plus étudié au sein de la formation à l'ES et offre une relative facilité de programmation grâce à son IDE. 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 » 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 6 : Caractéristiques principales du module Wi-fi

Le module nécessite d’être programmé avant son utilisation. Pour cette raison, il faut pouvoir commuter le module 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 :

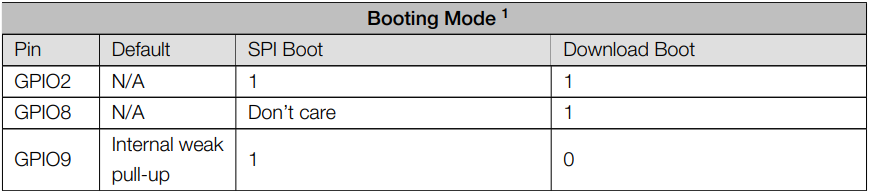


Figure 6 : Modes de démarrage de l'ESP32

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.

## 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. [2]

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 circuit dédié pour chacune d’entre elles.

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 résistance externe dont la valeur peut être déterminé grâce à la formule suivante, fourni par la datasheet :

Une image contenant texte, Police, blanc, ligne

Description générée automatiquement

Équation 1 : Résistance de courant maximal, TLC5973

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

Tableau 7 : Caractéristiques principales du driver de LED

Le protocole et la méthode de contrôle du circuit sont détaillées dans le chapitre « 5 Software ».

## LEDs témoins

Deux LED sont disposées sur le circuit 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. Elles ont été sélectionnées parmi le stock de l’ES.

Elles ne sont pas visibles depuis l’extérieur du boitier.

## Buzzer d’interface

Le CDC requiert l’intégration d’un « buzzer ». Il a pour but d’informer l’étudiant que la sortie 230VAC va être désativer et lui offrir la possibilité de prolonger la durée. Il n'est pas nécessaire que le buzzer soit très puissant, mais il doit être suffisamment audible à l'extérieur du boîtier.

Ce buzzer est commandé à l'aide d'un signal PWM via un transistor. Comme un buzzer peut être assimilé à une bobine, il est nécessaire de placer une diode de roue libre en parallèle afin de neutraliser les effets indésirables de la commutation.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Buzzer | | | |
| N° de fabricant | CMT-0904-83T | |  |
| Tension d’alimentation | 2 ~ 5 | [V] |
| Tension nominale | 3 | [V] |
| Courant maximale | 90 | [mA] |
| Fréquence nominale | 2730 | [Hz] |

Tableau 8 : Caractéristiques principales du buzzer

La diode choisie (D3) est la même que celle utilisée pour le relais, et sa capacité de courant est suffisante pour gérer le courant maximal du buzzer.

La résistance « R38 », en série avec le buzzer, limite le courant pour réduire le volume sonore. Sa valeur reste à déterminer de manière empirique.

## Transistor

## Témoins et pointes de tests

## 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 « 4 Hardware ».

## 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 sera utilisée pour stocker des informations concernant les badges d'accès et les autorisations qui leur sont associées. Un serveur web basique facilitera 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.

# Hardware

Contraintes / rules pcb

Taille des pistes

Pistes 230VAC

Piste d’alim

Pair différentiel

Plans de masse (pourquoi), découpe antenne, etc..

Pourquoi stitiching

Placement (alim à découpage) (230vac) etc..

Boitier

# Software

Machines d’état global

Fonctions principales

Variables principales

Machines d’états de chaque librairies

# Conclusion

# Bibliographie

[1] « 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).

[2] « Ethernet Starter Kit II ». https://www.microchip.com/en-us/development-tool/dm320004-2 (consulté le 22 août 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 | |
| Nom | Version |
| MPLAB X | 5.45 |
| Harmony | 2….. |

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

# Annexes

## Cahier des charges

## Planification

## Journal de travail

## Procès-verbaux des séances hebdomadaires