

Mémoire de Projet de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention du

Diplôme national d'ingénieurs en génie mécatronique

Réalisé par

Zhani Badr Eddine

**Conception et développement d'un système de
commutation modulaire**

Réalisé au sein de l'entreprise



Soutenu le 04/10/2024, devant la commission d'examen :

M. Mouhamed Chaeib

Encadrant

Mme. Monia Bouzid

Président

M. kais Mhatli

Rapporteur

Dédicaces

Je dédie ce travail, du profond de mon cœur, à tous qui sont chères :

À Mes parents, Hamadi et Najet

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez.

Pour tous les précieux conseils, les efforts que vous ne cessez de déployer depuis mon enfance.

Pour tous vos sacrifices qui m'ont donnée confiance courage et sécurité, sans vous je ne serais

jamais ce que je suis maintenant. Que Dieu vous protège et vous prête bonne et longue vie

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude envers Nabil Chamkhi et Nabil Boulehmi, Leur accompagnement a été d'une aide inestimable, et je les remercie chaleureusement pour le temps et l'énergie qu'ils ont investis à mes côtés. A tous mes amis pour votre soutien, affection et vos encouragements pendant les moments critiques de ma vie.

Merci d'être toujours là pour moi.

REMERCIEMENT

Les travaux réalisés dans le cadre de projet de fin d'études ont été effectués au sein de la société Asteel Flash Tunisie en collaboration avec l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Carthage (ENICarthage). Au terme de mon projet de fin d'études, je tiens à adresser mes remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Un remerciement particulier va à mon encadrant universitaire Monsieur Mouhamed Chaeib , Professeur à ENICarthage, pour son soutien constant, sa disponibilité permanente et ses conseils tout au long du projet. Qu'elle trouve ici l'expression de mon grand respect et ma sincère reconnaissance.

Je tiens à présenter mes reconnaissances et mes remerciements à mon encadrant Monsieur Saif Saadaoui , responsable département dev et test à Asteel Flash . Je tiens à le remercier pour son assistance, sa disponibilité ainsi que son aide précieux et ses conseils fructueux qu'il n'a pas cessé de m'accorder. Qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde considération.

Mes vifs remerciements s'adressent également à nos enseignants pour l'encadrement et la formation.

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 Contexte générale du projet	3
1.1 Introduction	3
1.2 Le groupe AsteelFlash	3
1.2.1 Présentation du groupe AsteelFlash	3
1.2.2 Segments d'activité	4
1.2.2.1 Présentation d'AsteelFlash Electronique Tunisie	4
1.2.2.2 Fiche technique d'AsteelFlash	5
1.2.3 L'organigramme de l'entreprise	5
1.2.4 services de l'entreprise	6
1.2.5 Plan du site Asteel Flash	7
1.2.6 Les clients référentiels d'Asteelflash	9
1.2.7 Segmentation du marché	9
1.2.8 Les classes cibles des produits	10
1.2.9 Le concept de commutation modulaire	10
1.2.9.1 Les systèmes de commutation modulaire	10
1.2.9.2 Les différents systèmes de commutation modulaires	11
1.3 Problématique	15
1.3.1 Objectifs du projet	17
1.3.2 Description générale du système	17
1.3.3 Méthodologies de gestion de projets	19
1.3.3.1 Étude Comparative	19
1.3.3.2 Le Modèle Cycle en V	21
1.3.3.3 Les étapes de la planification	22
1.4 CONCLUSION	23
2 Spécification de besoins et analyse fonctionnelle du système	24
2.1 Introduction	24
2.2 Identification des acteurs	24

2.3	Analyse des besoins	24
2.3.1	Besoins fonctionnels	24
2.3.1.1	Diagramme bête à cornes	25
2.3.1.2	Diagramme pieuvre	25
2.3.2	Fonctions principales, de contraintes et de service	26
2.3.3	Caractérisation des Fonctions de Service	27
2.3.4	Caractérisation des Fonctions de Contrainte	28
2.3.5	Besoin Fonctionnel Technique	29
2.3.5.1	Fonctions de service	30
2.3.6	Diagrammes SysML	30
2.3.6.1	Diagramme de cas d'utilisation (uc)	31
2.3.6.2	Diagramme de séquence	32
2.3.6.3	Diagramme des blocs internes (ibd)	32
2.4	Conception du système	33
2.4.1	Modélisation dynamique	33
2.4.1.1	Analyse S.A.R.T	33
2.4.1.2	Diagramme de contexte général	34
2.4.1.3	Diagramme de classe	35
2.5	Conclusion	36
3	Etude Matérielle et informatique	37
3.1	Introduction	37
3.2	Architecture du système	37
3.3	Étude Matérielle	38
3.3.1	Étude des cartes de développement	38
3.3.1.1	Pourquoi le µ-stm32 ?	39
3.3.1.2	Architecture interne d'un stm32f407vgt6	40
3.3.1.3	Communication Ethernet	41
3.3.1.4	Intégration d'un module Ethernet	43
3.3.1.5	Le module Ethernet ENC28J60	44
3.3.1.6	Caractéristiques principales de l'interface SPI dans l'ENC28J60	45
3.3.2	Etude technologie et choix technique des relais	46
3.3.2.1	Avantages d'utilisation d'un Relais DPDT	49
3.4	Choix des composants électroniques	50
3.4.1	Choix du Transistor	50

3.4.2	Choix de la Diode de protection	52
3.4.3	Chaine fonctionnelle globale du système	52
3.4.4	Étude informatique	53
3.4.4.1	Étude des logiciels de développement	53
3.4.5	STM32CubeMX	54
3.4.6	keil µVision	54
3.4.6.1	Logiciel de programmation graphique	55
3.5	Conclusion	55
4	Conception du système de commutation modulaire	56
4.1	Introduction	56
4.2	Conception d'interface utilisateur	56
4.2.1	Notion serveur – client	56
4.2.2	Structure du Projet	57
4.2.2.1	Description de l'interface	57
4.2.3	Partie Développement	60
4.2.4	Conception électrique	61
4.2.4.1	Caractéristiques électriques des composants	61
4.2.4.2	Alimentation des composants	62
4.2.4.3	Schéma Synoptique	63
4.2.5	Schémas électriques	63
4.2.6	Carte pilote	63
4.2.6.1	Block oscillateur	63
4.2.6.2	Block d'alimentation	64
4.2.6.3	Block stlink	65
4.2.6.4	Module Ethernet ENC28J60	65
4.2.6.5	Block oscillateur pour ENC28J60	67
4.2.7	Port Ethernet RJ45	67
4.2.7.1	Conception de la carte MUX	68
4.2.7.2	Protection du système	69
4.2.7.3	Extensions : Boot , Reset Button ,Wake up User	70
4.2.7.4	RESET BUTTON :	71
4.2.8	Simulation du système	71
4.2.9	Routage de la carte	73
4.3	Conclusion	75

CONCLUSION GÉNÉRALE	76
Netographie	76
ANNEXES	78

Liste des tableaux

1.1	Informations sur l'entreprise	5
1.2	avantages et inconvénients d'un relais	11
1.3	les avantages et inconvénients d'un transistor	12
1.4	avantages et inconvénients d'un Commutateur analogique	12
1.5	avantages et inconvénients d'un Système de commutation programmable	12
1.6	Analyse comparative des méthodologies disponibles	20
1.7	Ordonnancement des tâches	22
2.1	Fonctions principales, de contraintes et de services	27
2.2	les caractéristiques des fonctions de service.	28
2.3	les caractéristiques des fonctions de contrainte	29
2.4	les exigences des fonctions de services	30
3.1	Comparaison des Caractéristiques Techniques des Microcontrôleurs	38
3.2	Comparaison entre STM32 et d'autres microcontrôleurs	40
3.3	comparaison entre les modules Ethernet	44
3.4	les différentes solutions alternatives pour des relais DPDT 24V	48
3.5	les différentes caractéristiques d'un relais DPDT modèle Finder	49
3.6	Critères de sélection d'un transistor	51
3.7	Les différents environnements de développement recommandés pour le STM32 .	53
4.1	Étude électrique des composants	62
4.2	Extension Boot	70

Liste des figures

1.1	Groupe AsteelFlash	3
1.2	Groupe AsteelFlash	4
1.3	L'organigramme de l'entreprise	5
1.4	Plan du site Asteel Flash	7
1.5	Les classes cibles des produits chez AsteelFlash	10
1.6	Série Agilent i3070	13
1.7	Série Teradyne UltraFLEX	14
1.8	Série Teradyne Magnum	14
1.9	Advantest	15
1.10	Keysight Technologies	15
1.11	Description générale du système	18
1.12	Le Modèle Cycle en V	21
2.1	Diagramme bête à cornes	25
2.2	diagramme de pieuvre	26
2.3	Diagramme de cas d'utilisation	31
2.4	Diagramme de séquence	32
2.5	Diagramme des blocs internes	33
2.6	Diagramme de contexte général	34
2.7	Diagramme fonctionnel générique	35
2.8	Diagramme de classe	36
3.1	architecture de système de commutation modulaire	37
3.2	architecture interne de STM32F407VGT6	39
3.3	Module ENC28J60	45
3.4	l'architecture interne de l'ENC28J60	46
3.5	Relais	47
3.6	2N2222	51
3.7	1N4007	52
3.8	Chaine fonctionnelle globale du système	52
3.9	STM32CubeMX logo	54

LISTE DES FIGURES

3.10 keil µ vision logo	54
3.11 Lab VIEW logo	55
4.1 Organigramme de l'interface	57
4.2 front panel et diagramme de block	58
4.3 Champ de sélection	58
4.4 TCP Open Connection Function	59
4.5 TCP write Function	60
4.6 configuration des Pins	61
4.7 Source d'alimentation des composants	62
4.8 Schéma synoptique	63
4.9 Block oscillateur	64
4.10 Block d'alimentation	64
4.11 Block stlink	65
4.12 Pins SPI part ENC28J60	66
4.13 pins SPI MCU	66
4.14 Block oscillateur ENC28J60	67
4.15 Fréquence de fonctionnement pour ENC28J60	67
4.16 port Ethernet RJ45	68
4.17 Topologie de commutation série	69
4.18 Boot1 et Boot0	71
4.19 Reset Button	71
4.20 vue front panel	72
4.21 invite commande	72
4.22 Connexion entre les deux dispositifs	73
4.23 Routage de la carte	73
4.24 Vue 3D de la PCB : Top Layer	74
4.25 Vue 3D de la PCB : Bottom Layer	74

Liste des abréviations

SARL Société à responsabilité limitée

CMS Composant Monté en Surface

AFT AsteelFlash Électronique Tunisie

ICT In-Circuit Test

FCT Functional Circuit Test

SART Système d'Aide à la Réalisation des Tâches

ISO International Organization for Standardization

Xp extreme Programming

FP Fonction principale

FS Fonction de service

FC Fonction contrainte

SPI Serial Peripheral Interface

SysML Systems Modeling Language

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans un monde en constante évolution, la qualité et la fiabilité des produits, qu'il s'agisse de smartphones ou de composants électroniques pour l'aéronautique, sont essentielles. Les tests rigoureux garantissent que les produits respectent les normes les plus strictes de performance et de sécurité. Cependant, les méthodes de test traditionnelles rencontrent des limites en termes d'efficacité, de précision et de flexibilité, souvent entravées par des systèmes rigides et des processus manuels sujets à des erreurs. Les systèmes de commutation modulaires apportent une solution innovante en offrant une plateforme flexible, composée de modules spécialisés (routage des signaux, contrôle des relais, acquisition de données), interconnectés pour une évaluation complète des produits complexes.

Dans ce cadre s'inscrit mon projet de fin d'études intitulé « Conception et développement d'un Système de commutation modulaire » qui a été développé au sein de la société Asteel flash tunisie. L'objectif de ce projet est de concevoir et développer un système de commutation modulaire, flexible et polyvalent pour répondre aux besoins de nombreux environnements de test.

Pour synthétiser le travail accompli, ce rapport est composé de quatre chapitres et se termine par une conclusion générale. Il commence par la présentation de l'organisme d'accueil, le contexte du projet, la problématique abordée, ainsi que les objectifs visés et la méthodologie adoptée pour le bon déroulement du stage. Ensuite, le rapport aborde les spécifications des exigences du projet, qui sont essentielles pour définir et comprendre les besoins et les contraintes. Cela permet de fournir un cadre précis pour le développement de la solution, en prenant en compte les aspects fonctionnels, non fonctionnels et techniques.

L'aspect technique du projet est ensuite traité avec une analyse détaillée des composants matériels sélectionnés, justifiant nos choix et expliquant les caractéristiques techniques de chaque élément. Le volet logiciel est également couvert, avec une description des langages de programmation et des outils utilisés, mettant en lumière les décisions techniques majeures. Enfin, le rapport se concentre sur la phase pratique, incluant la simulation et la vérification des résultats. Les spécifications techniques de la carte sont présentées, tout comme les choix de conception et les défis

INTRODUCTION GÉNÉRALE

rencontrés. La carte personnalisée, intégrant le microcontrôleur STM32F407VGT6, des relais et le module ENC28J60, reflète notre approche méthodique pour une solution de commutation précise et performante.

Contexte générale du projet

1.1 Introduction

Avant d'entamer notre projet, il est essentiel de présenter l'organisme d'accueil, à savoir le groupe AsteelFlash dans son ensemble, ainsi que le site d'AsteelFlash Tunisie en particulier. Nous décrirons ensuite les différents services sous forme d'organigramme, pour enfin conclure en détaillant le processus de fabrication du produit final, tout en situant notre projet dans ce contexte.

1.2 Le groupe AsteelFlash

Nous allons décrire dans cette partie le groupe AsteelFlash ainsi que **AsteelFlash** Tunisie

1.2.1 Présentation du groupe AsteelFlash

AsteelFlash est une entreprise internationale de sous-traitance des cartes électroniques. En 2019, elle occupe le premier rang en France, le deuxième rang européen, derrière Zoler en Allemagne, et en 2018, la vingtième et unième place mondiale. Le groupe est présent sur dix-huit sites répartis sur quatre continents avec 5 700 employés dans le monde entier comme le montre la figure 1.1 ci-dessous.



FIGURE 1.1 – Groupe AsteelFlash

1.2.2 Segments d'activité

Les segments d'activité d'Asteelflash sont les suivants :

- **Industrie** : Cette partie comprend les systèmes de sécurité et de surveillance, les équipements de mesure et de test, les systèmes de positionnement géographique, les équipements de contrôle industriel, les automatismes (ascenseurs, domotique...), les imprimantes et terminaux de paiement, ou encore les appareils électroménagers.
- **Traitement** : Des données Asteelflash Exiger du Groupe la fourniture de routeurs, commutateurs, équipements radio, fibre optique...
- **Défense, aéronautique et aérospatiale** : Défense, aviation et aérospatiale Participer à la fabrication d'avions civils et militaires, de simulateurs, de missiles, de radars et de satellites.
- **Management de l'énergie** : Gestion de l'énergie Conception de compteurs intelligents, de capteurs, de batteries de différentes tailles, de nouvelles solutions d'éclairage et de serveurs.
- **Médical** : Les produits fabriqués comprennent des défibrillateurs cardiaques, des pompes à oxygène pour l'assistance respiratoire, des équipements d'apnée du sommeil et des scanners.
- **Automobile** : Parmi les produits fabriqués pour ce domaine d'activité, on peut citer les chargeurs de batterie (véhicules électriques), les systèmes d'info.

1.2.2.1 Présentation d'AsteelFlash Electronique Tunisie

AsteelFlash Électronique Tunisie (AET) est la filière tunisienne du groupe AsteelFlash. Elle a été créée en 2000 avec un effectif de 920 employés et un capital social de 1 100 000 TND. Son domaine d'activité est l'assemblage de composants et la préparation des cartes électroniques pour différents clients de plusieurs domaines tels que l'automobile, l'électricité, l'électronique, le transport, etc.

Ci-dessous une photo de l'entreprise.



FIGURE 1.2 – Groupe AsteelFlash

1.2.2.2 Fiche technique d'AsteelFlash

Le tableau 1.1 ci-dessous présente les spécifications techniques essentielles d'AsteelFlash, offrant une vue d'ensemble des capacités et des caractéristiques clés de l'entreprise.

TABLE 1.1 – Informations sur l'entreprise

Forme juridique	SARL
Activité	Électronique
Nombre d'employés	920
Siège social	104 avenue de l'U.M. A 2036, La Soukra
Certifications	ISO 9001, ISO 14001, IATF 16949 (ex. ISO/TS 16949)
Date de création	2016
Régime	Totalement exportatrice
Produits	Des cartes électroniques
Logo	 ASTEELFLASH
Site web	http://www.asteelflash.com/facility/asteelflash-la-soukra/
Téléphone	(+216) 71 297 033
Expertise	Maison intelligente, bâtiment intelligent, Internet des objets, technologies vertes, industrie

1.2.3 L'organigramme de l'entreprise

L'organisation au sein de l'entreprise est donnée par la figure 1.3 dont le stage d'initiation d'études est réalisé au sein du service qualité.

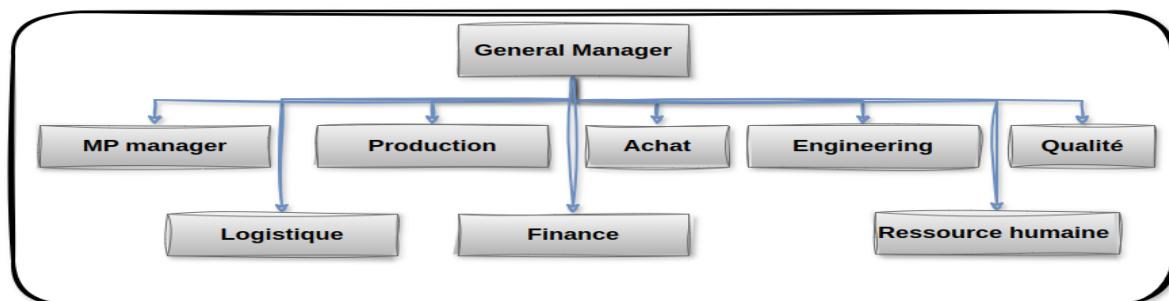


FIGURE 1.3 – L'organigramme de l'entreprise

1.2.4 services de l'entreprise

Dans ce qui suit, nous présentons brièvement les différents services de l'entreprise Asteel-Flash :

- Industrie : Cette partie comprend les systèmes de sécurité et de surveillance, les équipements de mesure et de test, les systèmes de positionnement géographique, les équipements de contrôle industriel, les automatismes (ascenseurs, domotique...), les imprimantes et terminaux de paiement, ou encore les appareils électroménagers.

- Ingénierie : L'ingénierie décide à partir d'un cahier des charges fournies par le client de la faisabilité et définit l'ensemble des moyens de fabrication et des ressources pour la production encas de l'affirmative. Dans la grande majorité, le travail consiste à utiliser au mieux les outils existants, mais rechercher de nouvelles technologies. Ce service élabore également les devis pour les clients.

- Program Manager (MP) : Ce service a comme objectif le développement et la mise en place des outils de test, ses activités peuvent être classées suivant 3 types :

- Activité de service consistant en l'installation et maintenance de logiciels spécialisés et l'assistance aux utilisateurs.
- Activité de développement des logiciels de test.
- Activité de recherche qui comporte la conception des systèmes ainsi que la validation des expérimentations.

- Qualité : Le service qualité a un rôle prépondérant dans l'entreprise. Il représente un lien entre les différents acteurs : direction, personnel, fournisseurs, clients. Il est principalement chargé de garantir la qualité des produits, d'élaborer les plans d'action auprès du personnel et des différents Engineering Qualité Ressource humaine MP manager Production Achat Finance Logistique Finance GENERAL MANAGER 17 partenaires ainsi que d'assurer la mise en œuvre de la politique de l'entreprise tout en tenant compte des objectifs de la direction générale de l'entreprise.

- Achat : La mission centrale de ce service est de procurer à l'entreprise les produits et les services nécessaires à son bon fonctionnement, tout en respectant les quantités demandées, la qualité définie, et les délais fixés.

- Ressources Humaines : Ce service a comme mission de gérer les contrats et les fiches de paies,

Contexte générale du projet

recruter de nouveaux personnels (mais aussi éventuellement licencier), développer les compétences individuelles et collectives ainsi que gérer les formations.

- **Logistique** : L'objectif de la fonction logistique est de gérer les flux, en assurant la gestion et la tenue du magasin de stockage pour garantir la disponibilité des produits. Il pilote également à distance la circulation des marchandises en fonction des règles juridiques et fiscales du transport.
- **Finance** : Ce service s'occupe de la gestion des flux financiers dans l'entreprise, il assure également l'élaboration et l'analyse des résultats comptables périodiques.
- **Lean** : La mission de ce service consiste en la veille sur l'application et la mise en place des Outils Lean.
- **Production** : Ce service met en application les méthodes et les techniques nécessaires dans le but d'assurer la fabrication du produit en qualité et en quantité définies.

1.2.5 Plan du site Asteel Flash

Le site est composé de deux étages divisés en des Zones Autonomes de Production (ZAP) : CMS, Vague, test, intégration (assemblage manuel).

À chaque client d'AFT est associée une ligne d'intégration (assemblage) portant son nom et qui est autonome en termes de lignes de production et personnel de travail.

Le layout du site AFT est présenté dans la figure 1.4.

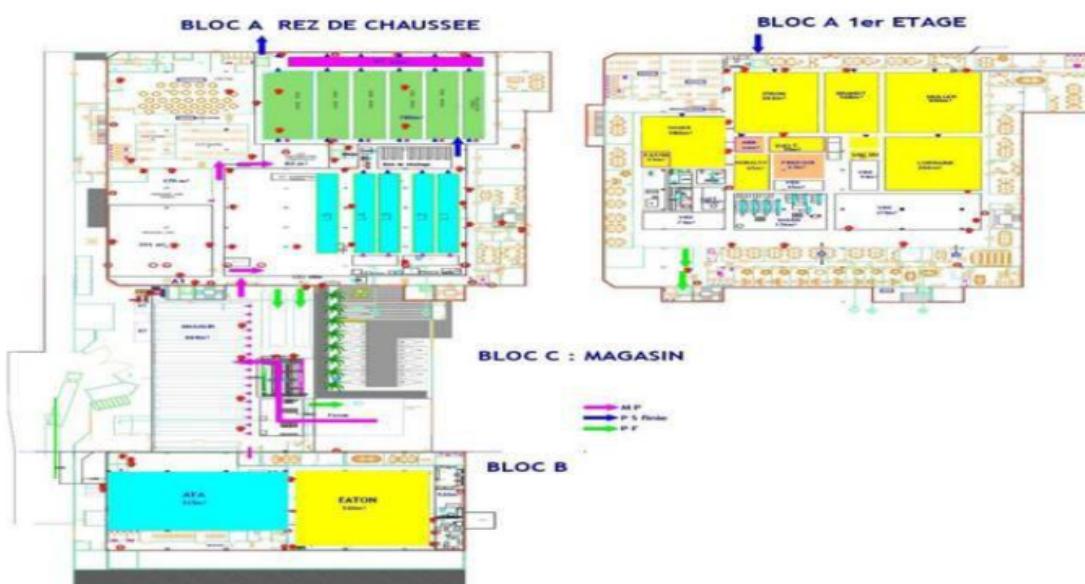


FIGURE 1.4 – Plan du site Asteel Flash

- **Atelier CMS (Composants Montés en Surface)** : C'est un atelier composé de 4 lignes de production en utilisant la technologie CMS. Cette technologie permet de braser les micro-ondes électriques sur la surface d'une carte (comme un microprocesseur).
- **Préparation** : C'est un atelier pour discuter de la préparation des cartes. Lors de cet atelier, on assure le découpage des pattes, égrappage des flancs ou masquage des flancs.
- **Insertion manuelle** : Pour les circuits imprimés qui utilisent des composants traditionnels, ils doivent être insérés manuellement par l'opérateur.
- **Brassage à la Vague** : Une seule opération est nécessaire pour fixer le composant sur la carte. Après positionnement des composants, la carte électronique glissera sur la surface du bain en alliage plastique afin de remplir la carte d'étain solide avant d'assembler les composants. A la sortie de l'opération, l'opérateur contrôle le cordon de soudure de l'os et effectue des ajustements si nécessaire.
- **Test Institut (ICT)** : Il s'agit de vérifier la structure de la carte et son adéquation avec les schémas électriques, les directions et la valeur de certains contributeurs. Le test est effectué pendant le processus de mise en tension et sa fonction ne peut pas être vérifiée. C'est le canal de la carte électronique destiné à être intégré dans la carte électronique produit complet.
- **Test fonctionnel (FCT)** : Le cœur de cette étape est que le produit passe par le banc de test fonctionnel pour vérifier si sa fonction est opérationnelle.
- **ZAP Intégration** : Ce sont des espaces autonomes conçus pour intégrer des cartes et tester leurs fonctions. Ils sont organisés par les clients : chaque client est associé à une ou plusieurs lignes d'intégration. Ce sont les opérations d'insertion des vis (câbles, dissipateurs ...) dans la boîte de la carte. Après intégration, les cartes sont testées (test FCT) puis elles sont passées au contrôle qualité final.
- **Recette qualité** : Le contrôle de la qualité des produits finis est effectué par échantillonnage. Le contrôleur vérifie si le produit répond aux exigences.

1.2.6 Les clients référentiels d'Asteelflash

Les principaux clients d'Asteelflash sont les suivants :



HAGER : Cinquième plus grande société d'appareils électriques en Europe fabriquant une large gamme d'appareils domestiques y compris les machines à laver, les réfrigérateurs et les fours.



Itron : Leader mondial de solutions technologiques, Itron permet aux distributeurs d'eau et d'énergie de mesurer, analyser et maîtriser leurs ressources. Itron fabrique des compteurs d'électricité, de gaz, d'eau et d'énergie thermique, ainsi que des systèmes de communication, des logiciels et des services associés.



DJO : C'est un fournisseur leader mondial des appareils orthopédiques avec une large gamme de produits de haute qualité, utilisés pour la réhabilitation, la gestion de la douleur et la thérapie physique.



Sagemcom : C'est un groupe français leader européen sur le marché des terminaux communicants à haute valeur ajoutée (décideurs, box Internet, compteurs électriques).

1.2.7 Segmentation du marché

L'activité d'AsteelFlash est principalement orientée vers les marchés mentionnés. Parmi les produits fabriqués par l'entreprise, on peut notamment citer :

- Cartes thermostats (Groupe MULLEUR)
- Cartes de commandes (FAGOR, BRANDT)
- Cartes minuteries (HAGER)
- Pupitre d'affichage électroménager pour BSH
- Compteur à gaz ITALGAZ
- Compteur à eau ITRON

1.2.8 Les classes cibles des produits

L'activité de l'entreprise vise essentiellement les classes de produits présentés ci-dessous :

- **Classe 2** : produits de qualité inférieure à ceux de la qualité de la classe 3. par exemple : cartes électroménagères, les minuteries, etc.
- **Classe 3** : produits de grande qualité. Les exigences client par rapport à ces produits sont très élevées, touchent directement la vie humaine. exemple : automobiles (produits Zoe), cartes électroniques à usage médical, etc

la figure 1.5 présente Les classes cibles des produits chez AsteelFlash :

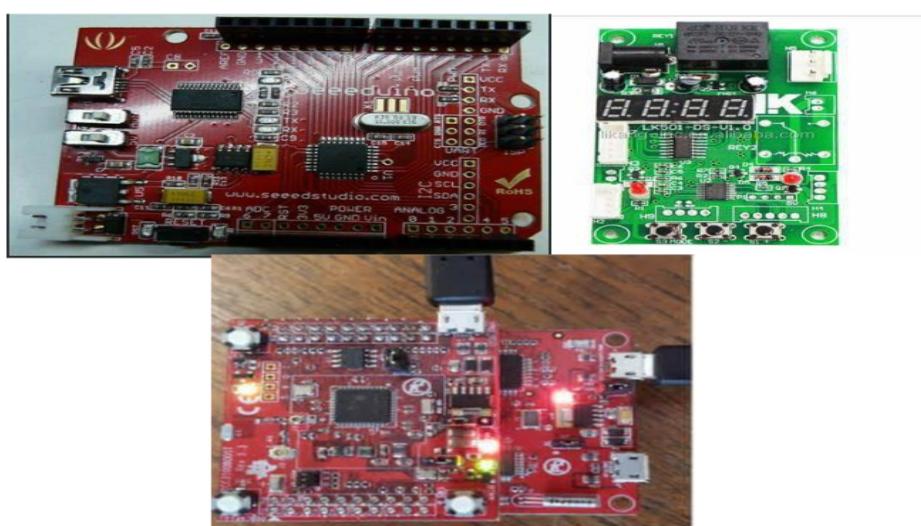


FIGURE 1.5 – Les classes cibles des produits chez AsteelFlash

1.2.9 Le concept de commutation modulaire

1.2.9.1 Les systèmes de commutation modulaire

Dans le domaine des tests de produits, l'efficacité et la précision sont primordiales. Pour atteindre ces objectifs, notre entreprise a essayé de développer un système de commutation modulaire sophistiqué, une solution complète qui intègre de manière transparente divers composants pour faciliter une évaluation rigoureuse des produits. L'architecture unique de ce système, caractérisée par sa modularité et sa flexibilité, permet un contrôle et une acquisition de données précis, permettant aux utilisateurs de mener des procédures de test approfondies et fiables.

Les systèmes de commutation modulaire permettent de gérer la commutation de signaux élec-

triques ou électroniques tout en offrant une grande flexibilité et configurabilité pour s'adapter à divers besoins applicatifs.

Composants clés :

- **Modules de commutation** : Les éléments de base du système, disponibles dans différentes technologies comme les relais, les transistors, les optocoupleurs et les commutateurs analogiques.
- **Châssis ou carte mère** : Offre une structure pour accueillir les modules de commutation et fournit des connexions électriques et de communication.
- **Interface de contrôle** : Permet à l'utilisateur de configurer et de contrôler le système de commutation, pouvant être une interface physique (boutons, écran) ou logicielle (PC, smartphone).

Applications :

- **Automatisation industrielle** : Contrôle de machines et de processus.
- **Domotique** : Commande de l'éclairage, des appareils électroménagers et des systèmes de sécurité.
- **Télécommunications** : Routage de signaux et gestion de réseaux.
- **Instrumentation** : Routage de signaux et gestion de réseaux.
- **Automatisation industrielle** : Acquisition de données et contrôle de systèmes de test.
- **Et plus encore** : Les systèmes de commutation modulaires peuvent être utilisés dans une large gamme d'applications où la commutation de signaux électriques ou électroniques est nécessaire.

1.2.9.2 Les différents systèmes de commutation modulaires

■ les relais

Les relais constituent l'option la plus simple pour la commutation modulaire. Ils sont économiques, robustes et faciles à utiliser. Le tableau 1.2 présente les avantages et inconvénients d'un relais :

TABLE 1.2 – avantages et inconvénients d'un relais

Avantages	Inconvénients
Simplicité et coût abordable	Vitesse de commutation limitée
Isolation électrique	Consommation d'énergie plus élevée
Large plage de tensions et de courants	Durée de vie limitée (relais électromécaniques)

■ Transistors et MOSFETs

Offrent une commutation plus rapide et une consommation d'énergie moindre que les relais. le tableau 1.3 présente les avantages et inconvénients d'un transistor :

TABLE 1.3 – les avantages et inconvénients d'un transistor

Avantages	Inconvénients
Vitesse de commutation élevée	Conception plus complexe
Faible consommation d'énergie	Sensibilité aux surtensions et aux ESD
Taille compacte	

■ Commutateurs analogiques

Offrent une commutation précise et linéaire de signaux analogiques. Le tableau 1.4 présente les avantages et inconvénients d'un Commutateur analogique :

TABLE 1.4 – avantages et inconvénients d'un Commutateur analogique

Avantages	Inconvénients
Commutation précise et linéaire	Coût plus élevé que les transistors et les relais
Faible distorsion du signal	Consommation d'énergie plus élevée
Large plage de tensions	

■ Systèmes de commutation programmables

Offrent une grande flexibilité et configurabilité via des logiciels. Le tableau 1.5 présente les avantages et inconvénients d'un Système de commutation programmable :

TABLE 1.5 – avantages et inconvénients d'un Système de commutation programmable

Avantages	Inconvénients
Flexibilité et configurabilité élevées	Coût plus élevé
Possibilité de créer des séquences de commutation complexes	Complexité de programmation
Intégration avec d'autres fonctions de contrôle	

Le choix d'un système de commutation modulaire dépend de plusieurs facteurs :

- **Tension et courant commutés** : Déterminent la taille et le type de commutateur requis.
- **Vitesse de commutation** : Détermine la technologie de commutation optimale (relais, transistors, etc.).
- **Isolation électrique** : Nécessaire pour certains cas pour protéger les circuits et les utilisateurs.
- **Coût et complexité** : Définissent le budget et les compétences nécessaires pour le développement.

Voici quelques exemples de systèmes de commutation modulaires pour tester les cartes électroniques :

1. Agilent Technologies

- **Série Agilent i3070** : Cette série de testeurs de circuits imprimés modulaires offre une grande flexibilité et une évolutivité pour tester une large gamme des cartes électroniques. La figure 1.6 présente la série Agilent i3070 :



FIGURE 1.6 – Série Agilent i3070

- **Série Agilent iX7000** : Cette série de testeurs de circuits imprimés modulaires est conçue pour les applications haute performance et offre une précision et une efficacité élevées.

2. Teradyne

- **Série Teradyne UltraFLEX** : Cette série de testeurs de circuits imprimés modulaires est conçue pour les applications de production et offre un débit élevé et une grande fiabilité. La figure 1.7 présente

sente la série Teradyne UltraFLEX :



FIGURE 1.7 – Série Teradyne UltraFLEX

- **Série Teradyne Magnum** : Cette série de testeurs de circuits imprimés modulaires est conçue pour les applications de test de pointe et offre une précision et une flexibilité élevées. La figure 1.8 présente la Série Teradyne Magnum :



FIGURE 1.8 – Série Teradyne Magnum

3. Advantest

- **Série Advantest V93000** : Cette série de testeurs de circuits imprimés modulaires est conçue pour les applications grand public et automobiles et offre un rapport qualité-prix élevé.

- **Série Advantest T5800** : Cette série de testeurs de circuits imprimés modulaires est conçue

pour les applications de test de pointe et offre une précision et une flexibilité élevées. La figure 1.9 présente la série Advantest :



FIGURE 1.9 – Advantest

4. Keysight Technologies

- **Série Keysight iX5000** : Cette série de testeurs de circuits imprimés modulaires est conçue pour les applications de communication et de défense et offre une précision et une efficacité élevées.

- **Série Keysight PXIe** : Cette série de testeurs de circuits imprimés modulaires est conçue pour les applications de test automatisées et offre une grande flexibilité et une évolutivité. la figure 1.10 présente la série Keysight :



FIGURE 1.10 – Keysight Technologies

Il existe un large choix de systèmes de commutation modulaires pour tester les cartes électroniques. Le choix du système le plus adapté à vos besoins dépendra de plusieurs facteurs, tels que le type de cartes électroniques que vous testez, le budget dont vous disposez et les fonctionnalités dont vous avez besoin.

1.3 Problématique

Les systèmes de commutation modulaires constituent un élément essentiel des bancs de tests et d'essais des cartes électroniques. Ils permettent de réaliser les différentes connexions nécessaires,

d'effectuer des mesures des grandeurs électriques et de connecter les divers simulateurs ou moyens nécessaires avec le produit en test.

Ce paragraphe présente les problématiques actuelles des systèmes de commutation traditionnels et les objectifs du projet de développement d'un système de commutation modulaire flexible et polyvalent.

1. Manque de flexibilité et de modularité

- Les systèmes de commutation traditionnels sont souvent rigides et ne s'adaptent pas facilement aux besoins spécifiques de chaque test.
- Il est difficile d'ajouter ou de modifier des modules de commutation sans modifier l'ensemble du système.
- Cela peut restreindre la capacité à tester divers types de cartes électroniques et à réaliser une variété de tests.

2. Coût élevé

- Les systèmes de commutation traditionnels peuvent être coûteux, en particulier pour les systèmes modulaires avec un grand nombre de modules.
- Le coût d'achat et de maintenance de ces systèmes peut être un frein pour les petites entreprises et les laboratoires de recherche.

3. Complexité d'utilisation

- Les systèmes de commutation traditionnels peuvent être complexes à configurer et à utiliser, ce qui nécessite une formation et une expertise spécifiques.
- Cela peut limiter l'utilisation de ces systèmes par les techniciens et les ingénieurs non spécialisés.

4. Manque de connectivité et d'intégration

- Les systèmes de commutation traditionnels peuvent ne pas être facilement connectés à d'autres instruments de test et à des systèmes de contrôle automatisés.
- Cela peut limiter la capacité à automatiser les tests et à collecter des données de test complètes.

1.3.1 Objectifs du projet

- Concevoir et développer un système de commutation modulaire flexible et polyvalent pour répondre aux besoins de nombreux environnements de test.
- Réduire le coût du système en utilisant des composants standard et des techniques de conception modulaire.
- Simplifier l'utilisation du système en utilisant une interface utilisateur intuitive et une documentation complète.
- Améliorer la connectivité et l'intégration du système avec d'autres instruments de test et des systèmes de contrôle automatisés.

En résumé, le projet vise à développer un système de commutation modulaire qui répond aux besoins des utilisateurs en termes de flexibilité, de coût, de facilité d'utilisation, de connectivité et d'intégration. En plus des objectifs mentionnés, voici quelques autres aspects importants à prendre en compte pour la réussite du projet :

- Fiabilité et robustesse du système pour garantir une utilisation durable dans des environnements de test exigeants.
- Facilité de maintenance et de réparation pour minimiser les temps d'arrêt et les coûts de maintenance.
- Respect des normes de sécurité en vigueur pour garantir la sécurité des utilisateurs et des équipements.
- Compatibilité avec les logiciels de test existants pour faciliter l'intégration dans les environnements de test existants.

En prenant en compte tous ces aspects, le projet de système de commutation modulaire a le potentiel de révolutionner le domaine des bancs de tests et d'essais des cartes électroniques.

1.3.2 Description générale du système

Le système de commutation modulaire fonctionne en envoyant des commandes à l'aide d'un driver LabVIEW, avec l'intégration de deux cartes STM32. La première carte STM32 agit comme

une unité de commande, tandis que la seconde est dédiée aux actionneurs.

La figure 1.11 présente de façon générale notre système :

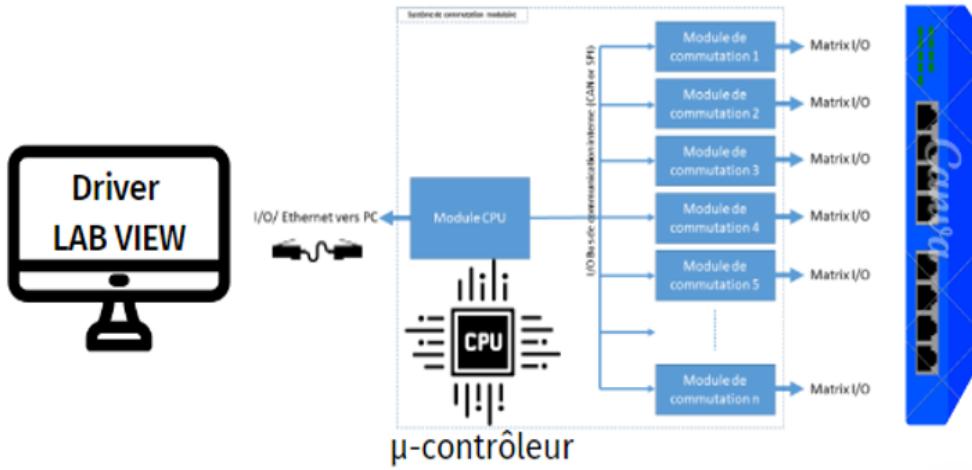


FIGURE 1.11 – Description générale du système

Notre système de commutation modulaire est conçu pour offrir une solution flexible et fiable pour les tests de produits électroniques. Il se compose de plusieurs éléments clés qui travaillent en synergie pour assurer un processus de test efficace et précis.

Ce schéma représente de façon générale notre système :

— Pilote LabVIEW

Le pilote LabVIEW agit comme une interface graphique conviviale, permettant une communication et un contrôle intuitifs des instruments de mesure. Cette interface interactive simplifie l'utilisation du système, permettant aux utilisateurs de configurer et d'exécuter facilement les procédures de test.

— Carte pilote

Au cœur du système se trouve la carte pilote, alimentée par un microcontrôleur STM32F407VGT6. Elle sert d'intermédiaire entre le pilote LabVIEW et la carte Mux, traduisant les commandes reçues de l'interface LabVIEW en instructions concrètes.

— Carte Mux

La carte Mux, également basée sur un microcontrôleur STM32F407VGT6, joue un rôle crucial dans le routage des signaux et le contrôle des relais en fonction des instructions reçues. Elle assure une commutation précise entre les appareils connectés, facilitant ainsi un test efficace des produits.

— **Produit sous test (PUT)**

Le produit sous test représente l'appareil ou le composant électronique qui subit une évaluation rigoureuse pour vérifier sa fonctionnalité et ses performances.

— **Instruments de mesure**

Les instruments de mesure, tels que les oscilloscopes, les multimètres et les alimentations électriques, font partie intégrante du processus de test. Ils fournissent des mesures précises de divers paramètres électriques, permettant une évaluation complète des performances du produit.

1.3.3 Méthodologies de gestion de projets

Une fois le projet présenté, il devient nécessaire de déterminer la méthode à adopter pour atteindre l'objectif fixé : c'est ce que l'on appelle la méthodologie. Le choix d'une méthodologie appropriée est une étape clé dans la réussite de ce projet. Elle est en effet essentielle pour assurer un développement efficace, garantir un bon déroulement des différentes phases, et obtenir un résultat de qualité. Un processus de développement définit une série d'étapes qui nous guide à chaque phase de la réalisation du projet, tout en prenant en compte les besoins de l'utilisateur. Ainsi, pour organiser notre travail de manière optimale et atteindre les objectifs dans les délais impartis, il est crucial de sélectionner la méthodologie la mieux adaptée à la nature et aux exigences spécifiques de notre projet.

1.3.3.1 Étude Comparative

Dans cette partie, nous procéderons à une analyse comparative des diverses approches de développement qui existent. Face à la diversité des méthodologies, notre étude se focalisera sur une comparaison des processus les plus répandus aujourd'hui, à savoir l'eXtreme Programming (XP), Scrum et le Cycle en V. Le tableau 1.6 ci-dessous présente une analyse comparative des méthodologies disponibles.

TABLE 1.6 – Analyse comparative des méthodologies disponibles

Méthodologie	Description	Forces	Faiblesses
XP	Collection de bonnes pratiques en matière de développement (travail en équipes, transfert de compétences, etc...)	- Approche itérative -Établit de manière claire les canaux de communication entre les divers acteurs du projet, englobant les livrables, les plannings,les prototypes, et autres aspects pertinents. -Fournit des modèles documents et des modèles adaptés aux projets types	Les étapes antérieures et postérieures au développement ne sont pas prises en compte : capture des besoins, support, gestion du changement, etc.
Scrum	Se base sur le découpage d'un projet en "sprints"	- Laisse les développeurs travailler en toute liberté. - Chaque itération est dédiée à un objectif spécifique et conduit à une fonctionnalité testée.	Dépendance à la communication et à la collaboration entre les membres de l'équipe
Cycle en V	Approche séquentielle avec des phases distinctes	- Planification rigoureuse - Documentation complète	Difficile d'effectuer des modifications en cours de projet

Après avoir effectué une analyse comparative des différents processus de développement, nous avons pu tirer les conclusions suivantes :

- Le processus XP met moins l'accent sur la capture des besoins fonctionnels et techniques, ainsi que sur la phase de conception, tout en priorisant fortement la phase de développement. En raison de cette approche, il a été jugé moins adapté à notre projet et est donc exclu.
- Le processus Scrum nécessite une équipe de développement d'au moins trois personnes et impose la création d'un prototype à la fin de chaque sprint. En raison de ces exigences, il a été jugé inadapté à notre projet et est donc exclu.
- Le processus en V organise les phases de manière séquentielle, permettant d'accomplir chaque étape (spécification, conception, développement, test, déploiement) avant de passer à la suivante. Cette approche garantit une validation à chaque phase, assurant ainsi une progression contrôlée et structurée du projet.

1.3.3.2 Le Modèle Cycle en V

Le modèle Cycle en V est une méthodologie de gestion de projet utilisée principalement dans le développement de systèmes et de logiciels. Il s'agit d'une extension du modèle en cascade, qui met l'accent sur une approche séquentielle où chaque phase de développement doit être terminée avant de passer à la suivante. Le cycle en V est caractérisé par sa structure en forme de "V", où la partie descendante représente les phases de spécification et de conception, tandis que la partie ascendante correspond aux phases de tests et de validation. La figure suivante illustre ces différentes activités [11].

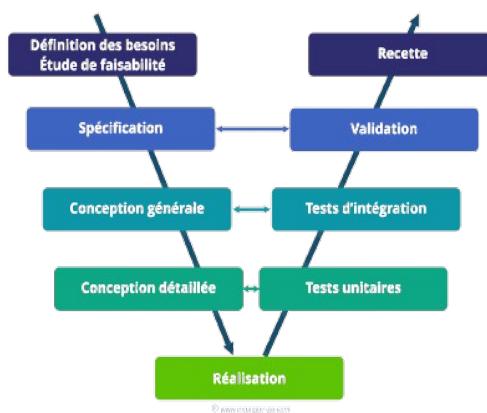


FIGURE 1.12 – Le Modèle Cycle en V

Le Modèle en V est l'une des premières méthodes de développement de projet, composé d'un cycle de sept étapes :

- **Spécifications des exigences** : recueil et analyse des besoins fonctionnels et non fonctionnels du système. Des spécifications détaillées pour chaque composant sont établies, préparant le terrain pour la conception détaillée à venir.
- **Conception globale** : Définition de l'architecture du système, décomposition en sous-systèmes.
- **Conception détaillée** : Élaboration des spécifications détaillées pour chaque composant du système.
- **Développement** : Traduction des conceptions en code source et intégration des composants.
- **Tests unitaires** : Vérification du bon fonctionnement des composants individuels.
- **Tests d'intégration** : Validation des interactions entre les composants du système.
- **Tests système** : vérification du système dans son ensemble, pour assurer qu'il répond aux exi-

gences initiales.

- **Validation finale :** Test final pour confirmer que le système est conforme aux attentes et prêt pour le déploiement.

1.3.3.3 Les étapes de la planification

Les étapes de la planification sont essentielles pour garantir le bon déroulement d'un projet. Elles permettent de structurer les activités, d'établir un calendrier et de définir les ressources nécessaires. Deux de ces étapes importantes sont :

- **Le découpage en tâches (WBS Work Breakdown Structure) :** la structure hiérarchique des tâches du projet.
- **L'ordonnancement des tâches :** 'élaboration d'un plan d'action permettant de déterminer les séquences possibles entre l'exécution des tâches.

Le tableau 1.7 suivant représente la répartition des différentes tâches, leurs durées ainsi que les ressources employées à leurs réalisations.

TABLE 1.7 – Ordonnancement des tâches

Tâches	Tâches antérieures	Durée (semaines)
A- Rédaction du rapport	B	12
B- Phase recherche et documentation	-	2
C- Etude théorique et choix techniques des Composants	B	3
D- Phase d'analyse et conception de l'architecture du système	C	2
E- Brochage et schéma électronique	C,D	2
F- Test de fonctionnement des composants	E	1
G- Intégration des composants	F	1
H- Développement et vérification du Software	G	9
I- Optimisation et prototypage	H	1
J- Conception électronique	J	4
K- Conception d'une Application Mobile	K	8

La planification temporelle est une étape avant-projet qui non seulement permet de délimiter le périmètre du projet mais aussi de prévoir le déroulement des activités tout au long de la période de stage.

1.4 CONCLUSION

Ce premier chapitre a présenté le cadre général de ce projet de fin d'études. Nous avons d'abord introduit l'entreprise d'accueil, puis nous nous sommes penchés sur le domaine de la commutation électronique. Par la suite, nous avons identifié la problématique, les objectifs, ainsi que le cahier des charges. De plus, l'état de l'art du projet a été défini.

Le deuxième chapitre sera consacré à la spécification des besoins et à l'analyse fonctionnelle du système, ainsi qu'à la conception d'un système de commutation modulaire.

Spécification de besoins et analyse fonctionnelle du système

2.1 Introduction

La phase initiale d'un projet, connue sous le nom de spécification des besoins, est essentielle en tant que point de départ. Il est crucial de comprendre en profondeur les différents besoins liés au projet pour assurer l'atteinte des objectifs fixés. Dans ce chapitre, nous examinerons le processus de spécification des besoins, en analysant à la fois les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles. Cela implique l'identification des acteurs clés et l'utilisation d'outils tels que les diagrammes de cas d'utilisation, l'analyse dynamique SART, et les diagrammes de classe. Cette étape est fondamentale pour établir des bases solides afin de répondre de manière optimale à tous les besoins du système.

2.2 Identification des acteurs

Ce chapitre commence par la définition des acteurs susceptibles d'interagir avec le système de commutation modulaire. Une analyse de l'interaction directe avec ce système nous a permis d'identifier les différents acteurs. D'une part, nous avons l'acteur principal, qui est l'utilisateur, capable d'interagir avec le système pour activer ses fonctionnalités, comme l'envoi de commandes via une interface graphique. D'autre part, nous avons l'acteur clé, qui est le produit en cours de test. En définissant ces acteurs, nous pouvons mieux appréhender les différents rôles et niveaux d'autorisation au sein du système de commutation modulaire.

2.3 Analyse des besoins

2.3.1 Besoins fonctionnels

Le besoin fonctionnel principal de notre projet est de concevoir et développer un système de commutation modulaire, flexible et polyvalent, capable de répondre aux divers besoins des

environnements de test. Notre objectif est de permettre aux techniciens de piloter la station de commutation via une interface graphique intuitive et de visualiser les résultats des tests en temps réel. Pour atteindre cet objectif, il sera essentiel de mettre en place des technologies de commande appropriées, de collecter et traiter les données reçues, d'assurer la précision des commutations, et de fournir des résultats clairs et concis.

2.3.1.1 Diagramme bête à cornes

Ce graphique sert de guide pour réaliser une analyse fonctionnelle du besoin. À cet effet, cette méthode propose des outils permettant une représentation graphique du besoin, en répondant aux trois questions clés définies par le graphique "bête à cornes" :

- À qui rend-il service ?
- Sur quoi agit-il ?
- Dans quel but ?

La figure 2.1 illustre le graphe bête à cornes adapté à notre système :

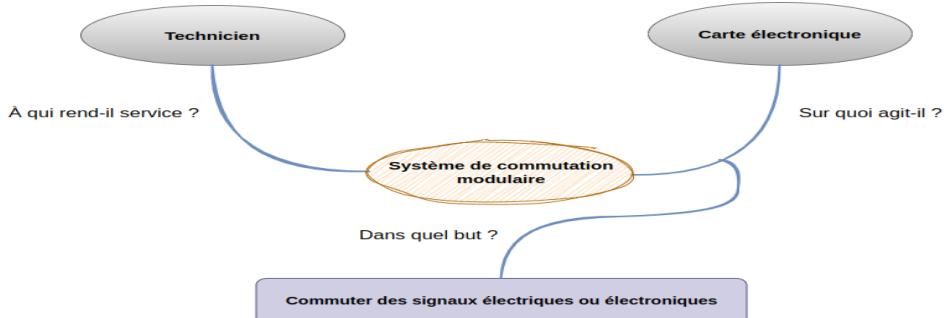


FIGURE 2.1 – Diagramme bête à cornes

2.3.1.2 Diagramme pieuvre

L'élaboration d'un diagramme de pieuvre a pour objectif principal d'analyser toutes les caractéristiques, ainsi que les points forts et faibles d'un produit ou d'un service, dans le but d'améliorer sa qualité. En examinant les relations entre le produit et son environnement, il devient possible d'ajuster le produit pour mieux répondre aux attentes des clients, augmentant ainsi leur satisfaction.

Le diagramme de pieuvre, également connu sous le nom de graphe des interactions, représente La

relation entre un produit ou un service et son environnement est représentée par un outil d'analyse utilisé dans le cadre de la méthode APTE (Application aux Techniques d'Entreprise). Ce diagramme permet d'identifier les fonctions de service d'un produit, en distinguant les fonctions essentielles de celles qui sont secondaires, ainsi que leurs interactions avec le milieu extérieur.

Employé dans le cadre de l'analyse fonctionnelle, qui a pour objectif de créer ou d'améliorer un produit, il permet de comprendre toutes les caractéristiques de l'objet et d'identifier les éléments limitants. Le diagramme de pieuvre constitue donc un excellent outil de représentation graphique pour cette analyse, rendant une partie du cahier des charges plus visuelle et accessible.

La figure 2.2 présente le diagramme de pieuvre de système de commutation modulaire :

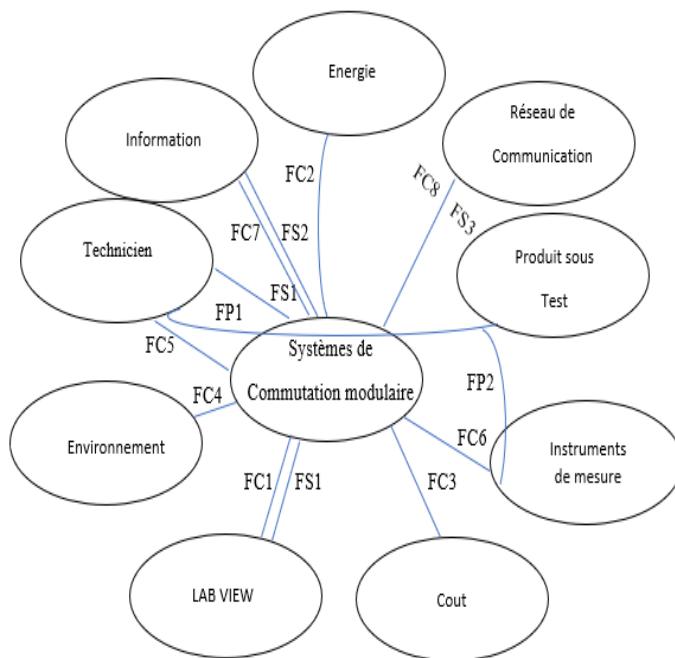


FIGURE 2.2 – diagramme de pieuvre

À partir du diagramme de pieuvre, nous élaborons le tableau des fonctions pieuvre, en détaillant chaque fonction principale, désignée par FP (dans notre cas FP1 et FP2), ainsi que les fonctions de service, notées FS (allant de FS1 à FS4), et les fonctions contraintes, identifiées par FC (de FC1 à FC6 dans notre cas).

2.3.2 Fonctions principales, de contraintes et de service

Le tableau 2.1 récapitule les principales fonctions de contraintes et de services offertes par le système de commutation modulaire.

TABLE 2.1 – Fonctions principales, de contraintes et de services

Numéro de Fonctions	Fonctions principales
FP1	Permettre aux techniciens de faire les tests nécessaires
FP2	Permettre aux techniciens de visualiser les résultats
Numéro de Fonctions	Fonctions de services
FS1	Permettre à l'utilisateur de commander le système de commutation en utilisant une interface conviviale.
FS2	Traitemet et analyse des données pour obtenir des informations utiles
FS3	Transmission des données
Numéro de Fonctions	Fonctions contraintes
FC1	Fournir une interface graphique pour envoyer des commandes.
FC2	Envoyer les informations via le protocole de communication ETHER-NET.
FC3	Assurer l'achemeinement du commutation .
FC4	La faible consommation d'énergie pour tous matériels électronique utilisé .
FC5	Avoir une autonomie d'énergie .
FC6	Faciliter l'interprétation des résultats
FC7	Traiter les données via un microcontrôleur.

2.3.3 Caractérisation des Fonctions de Service

Une fonction de service représente l'action attendue d'un produit (ou réalisée par celui-ci) pour satisfaire un élément du besoin d'un utilisateur spécifique. Il est souvent nécessaire d'avoir plusieurs fonctions de service pour répondre de manière complète à un besoin. Le tableau 2.2 résume les caractéristiques des fonctions de service.

TABLE 2.2 – les caractéristiques des fonctions de service.

N° de Fonction	La fonction	Les critères	Niveau	Tolérance	Les notes
FS1	Permettre à l'utilisateur de commander le système de commutation en utilisant une interface conviviale.	Type de la Communication	Avec fil	-	Ethernet
		Débit De transmission	10Mbs .. 100Mbs	-	Sans obstacles
		Le type d'interface de pilotage	-	-	Interface graphique
FS2	Traitement et analyse des données pour obtenir des informations utiles	Rapidité	Elevé	< 1 ns	-
		Acquisition et intégration des données	Elevé	-	-
		Tolérance aux erreurs	Moyenne	± 5%	-
FS3	Transmission des données	Fiabilité de transmission	Elevé	-	-
		Synchronisation des données	Essentiel	-	-

2.3.4 Caractérisation des Fonctions de Contrainte

Ce sont des limitations ou des exigences imposées au produit pour répondre à des contraintes spécifiques. Elles définissent les conditions à respecter en matière de performances, de sécurité,

d'environnement, etc., afin de garantir un produit de qualité et conforme aux normes requises. Le tableau 2.3 présente les caractéristiques des fonctions de contrainte.

TABLE 2.3 – les caractéristiques des fonctions de contrainte

N° de Fonction	La fonction	Les critères		Niveau	Tolérance	Les notes
FC1	Fournir une interface graphique pour envoyer des commandes.	-Visibilité -Simplicité d'utilisation -Clarté		-	-	-
FC2	Envoyer les informations via le protocole de communication Ethernet	Débit de transmission		-	-	
FC3	Assurer L'acheminement du commutation	Fiabilité des relais		Fiable	-	-
FC4	La faible consommation d'énergie pour tous matériels électroniques utilisé.	Processeur	Type	ARM	-	-
			Fréquence	Cortex-M0+ 32MHZ	-	-
		Mémoire RAM	Type	SRAM	-	-
			Taille max	20 Ko	-	-
		Relais	Type	DPDT	-	-
			-	24V DC 4A	-	-
FC5	Avoir une autonomie d'énergie.	L'autonomie en temps		500 cycles de vie	±2 cycles	-
FC6	Faciliter l'interprétation des résultats.	Visualisation efficace.		-	-	
FC7	La solution doit être utilisable dans n'importe quelles situations.	Longévité		-	-	

2.3.5 Besoin Fonctionnel Technique

Une étude de besoins techniques consiste à définir les exigences relatives à chaque fonction du système.

2.3.5.1 Fonctions de service

Le tableau 2.4 présente les exigences des fonctions de service.

TABLE 2.4 – les exigences des fonctions de services

FS1 :Permettre à l'utilisateur de commander le système de commutation en utilisant une interface conviviale	
FT1	Conception et développement de l'interface utilisateur
FT2	Interface utilisateur conviviale
FS2 :Traitement et analyse des données pour obtenir des informations utiles	
FT3	Réception des données
FT4	Traitement des données
FT5	Piloter la matrice des relais
FS3 :Transmission des données	
FT6	Communication avec Ethernet
FT7	Transmission sécurisée
FT8	Gestion des erreurs de transmission

2.3.6 Diagrammes SysML

SysML est un langage dérivé de l'UML. Il prend en charge la spécification, l'analyse, la conception, la vérification et la validation des systèmes qui comprennent le matériel, les logiciels, les données, le personnel, les procédures.

Il permet de :

- Formaliser les exigences fonctionnelles, ainsi que les contraintes non fonctionnelles.
- Définir la structure du système.
- Caractériser le comportement du système.
- Définir les paramètres des systèmes ainsi que les contraintes sur et entre ces paramètres.
- Vérifier la cohérence globale de cette modélisation.

2.3.6.1 Diagramme de cas d'utilisation (uc)

Son rôle : Il représente les fonctionnalités (en particulier la fonction globale) ou les services attendus par le système du point de vue de l'acteur.

Sa représentation graphique : Les cas d'utilisation sont placés dans des ovales et exprimés par un verbe à l'infinitif suivi de complément(s).

La figure 2.3 représente le diagramme de cas d'utilisation :

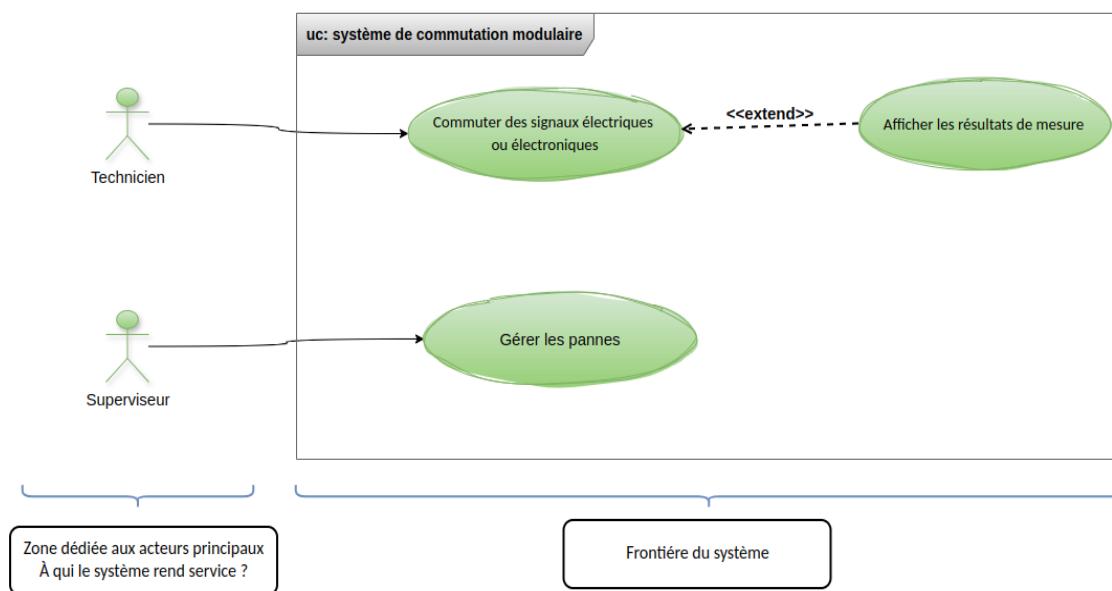


FIGURE 2.3 – Diagramme de cas d'utilisation

Les relations au sein du diagramme des cas d'utilisation

- « **include** » **Lien d'inclusion** : Le cas d'utilisation de base incorpore obligatoirement celui placé à l'extrémité de la flèche.
- « **extend** » **Lien d'extension** : Le cas d'utilisation de base peut (option) incorporer celui placé à l'origine de la flèche.
- **Liens de spécialisation/généralisation** : Ils relient des cas d'utilisation descendants qui héritent de la description d'un cas d'utilisation supérieur (parent commun).

2.3.6.2 Diagramme de séquence

Ce diagramme est dynamique, Il représente l'échange de messages entre le système et des acteurs de manière chronologique en précisant d'éventuelles contraintes de temps.

La lecture du diagramme illustré dans la figure 2.4 se fait de haut en bas.

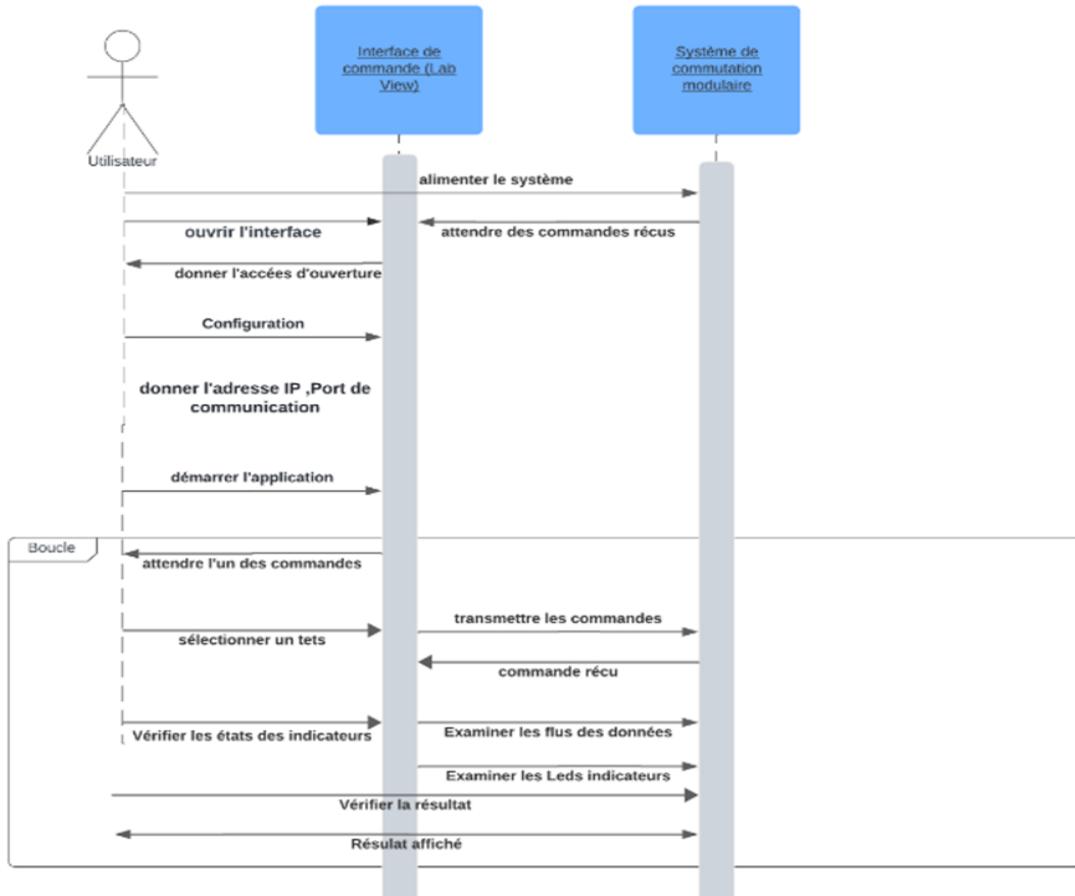


FIGURE 2.4 – Diagramme de séquence

2.3.6.3 Diagramme des blocs internes (ibd)

C'est un diagramme statique :

Son rôle : Il permet de définir comment l'information, l'énergie et la matière circulent à travers l'objet. Il sert également à introduire la notion fondamentale de port qui correspond à un point (d'entrée ou de sortie entre les blocs) d'interaction avec l'extérieur du bloc.

Sa représentation graphique : Le diagramme de blocs internes est rattaché à un bloc issu du diagramme de définition de blocs, le cadre du diagramme représentant la frontière d'un bloc. Les connecteurs (traits) entre les ports indiquent soit les associations soit les flux de matière, d'énergie

et d'information (MEI) entre les différents blocs. La représentation graphique des ports est un carré placé sur le contour du bloc. La figure 2.5 présente Le diagramme de blocs internes pour ce système .

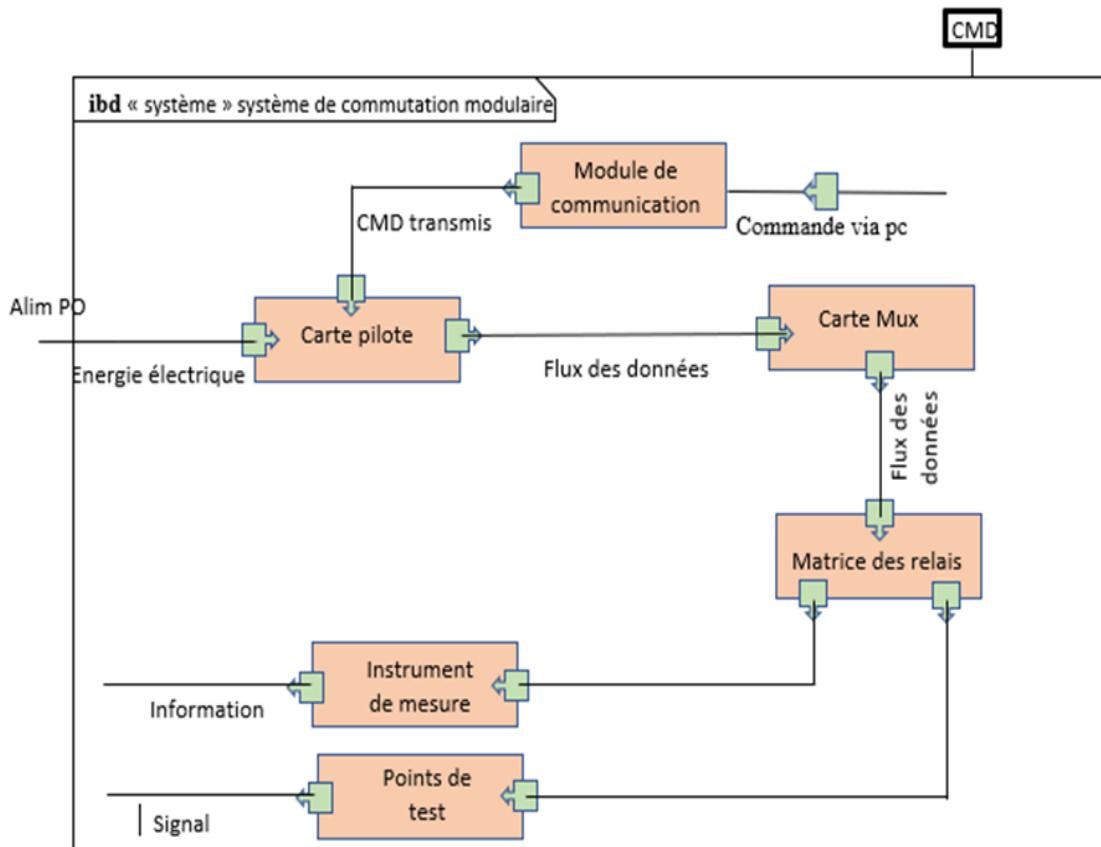


FIGURE 2.5 – Diagramme des blocs internes

2.4 Conception du système

2.4.1 Modélisation dynamique

2.4.1.1 Analyse S.A.R.T

La méthode S.A.R.T est une représentation graphique et textuelle qui facilite l'analyse fonctionnelle du système en temps réel. En d'autres termes, elle décrit le processus de chaque tâche en la décomposant en sous-tâches et en précisant tous les échanges qui peuvent intervenir avec le système modélisé.

2.4.1.2 Diagramme de contexte général

Le DCG (Diagramme de Contexte Global) permet de clarifier uniquement les relations du système avec son environnement extérieur. En d'autres termes, il présente les liaisons avec les éléments qui influencent le système ou qui interagissent avec celui-ci. La figure 2.6 présente le diagramme de contexte général :

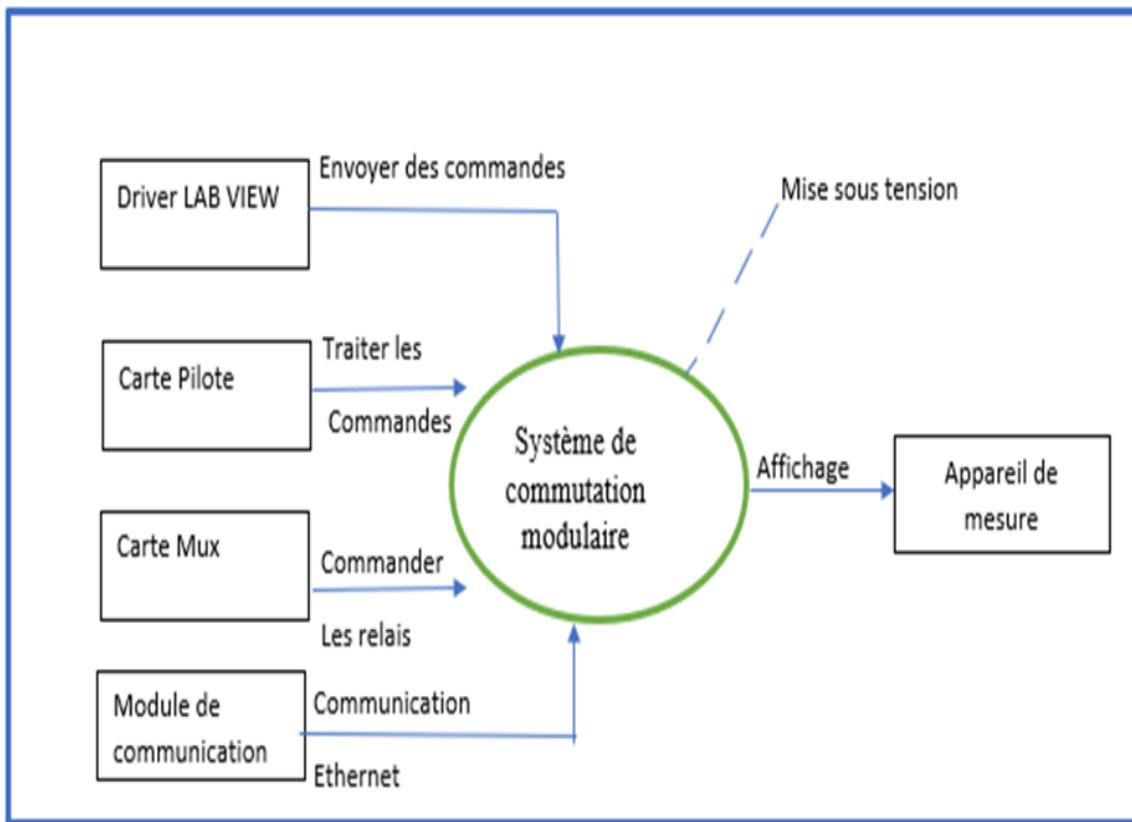


FIGURE 2.6 – Diagramme de contexte général

La mise sous tension du système permet son alimentation, et l'opération de commutation débute suite à une action sur l'interface graphique, lors de l'appui sur l'un des tests. Les bords d'entrée du système représentent les cartes de commande, qui assurent le traitement et le transfert des données.

La décomposition fonctionnelle générique vise à définir les fonctions de service attendues en se basant sur les prestations caractérisées. Dans le cadre de notre système, nous avons utilisé cette méthode pour décomposer le système en différentes fonctions, comme illustré dans la figure 2.7 :

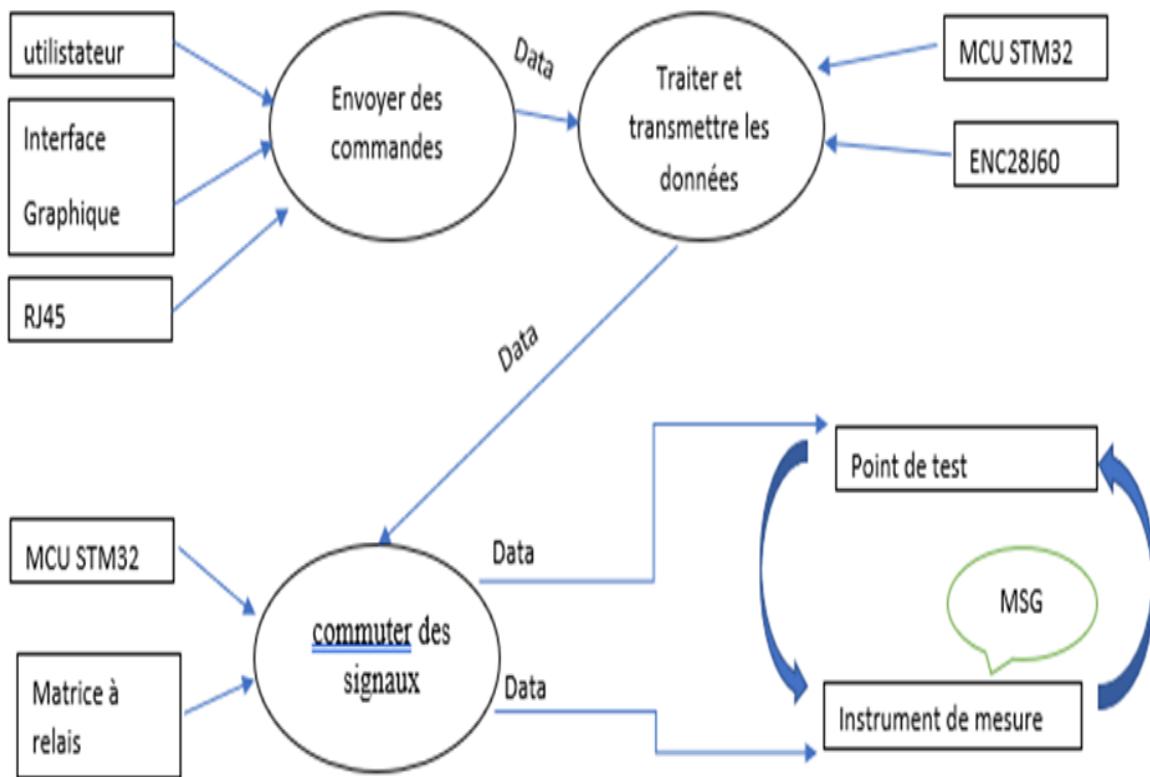


FIGURE 2.7 – Diagramme fonctionnel générique

La première fonction, « envoyer des commandes », permet à l'utilisateur de sélectionner le test qu'il souhaite effectuer. Ces données sont déterminées via l'interface graphique, qui inclut un champ de sélection permettant de choisir une des commandes disponibles dans la « check box ». La deuxième tâche concerne la réception, le traitement et la transmission des données. Cette tâche est réalisée par la carte pilote équipée d'un MCU STM32F407VGT6, qui traite les données reçues avant de les transmettre pour un traitement supplémentaire. La troisième tâche consiste à commuter les signaux en fonction des commandes reçues, activant les relais selon les instructions. Enfin, la quatrième tâche concerne l'affichage des résultats obtenus.

2.4.1.3 Diagramme de classe

Le diagramme de classe pour le système de commutation modulaire comprend trois classes principales Comme le montre la figure 2.8

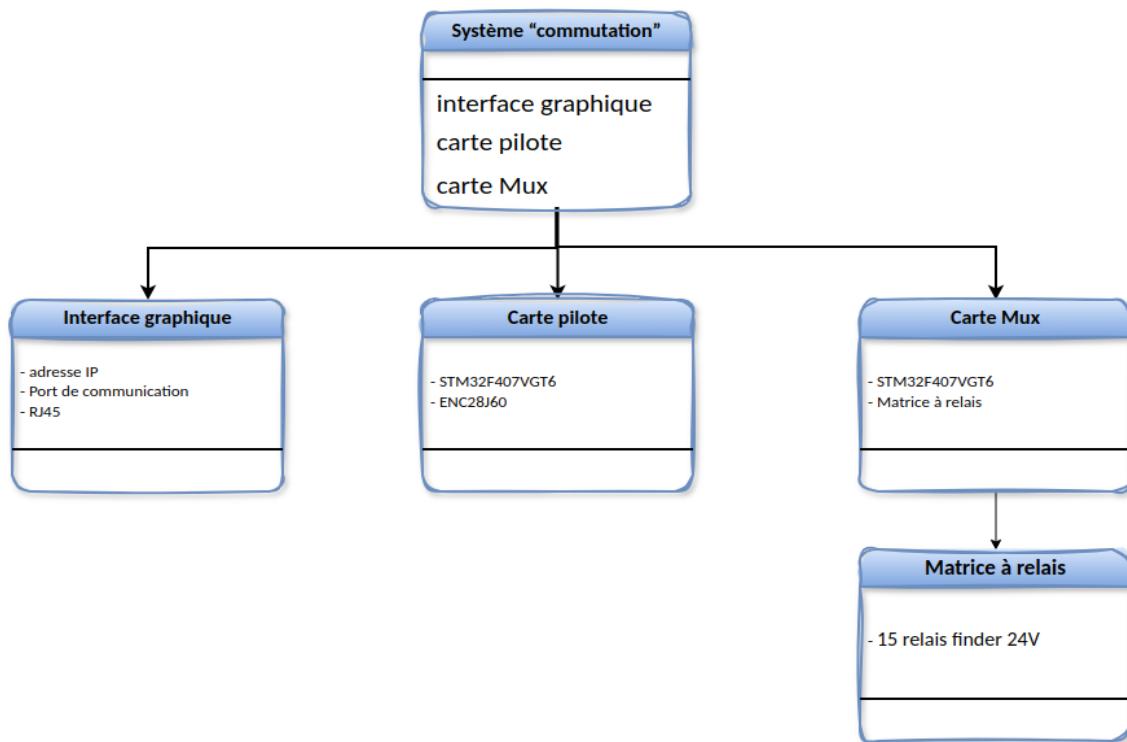


FIGURE 2.8 – Diagramme de classe

2.5 Conclusion

En conclusion, la phase de spécification des besoins est essentielle au succès d'un projet. Elle requiert une compréhension approfondie des besoins, qu'ils soient fonctionnels ou non, ainsi que l'utilisation d'outils de modélisation pour visualiser les interactions clés. En identifiant précisément les acteurs et leurs besoins, nous créons une base solide qui garantira que le système répondra efficacement à toutes les exigences, assurant ainsi le succès global du projet.

Etude Matérielle et informatique

3.1 Introduction

Ce troisième chapitre est consacré à la présentation des besoins associés aux environnements matériel et logiciel. Nous commencerons par décrire l'architecture du système, en abordant la technologie de communication ainsi que le choix des logiciels et des plateformes indispensables pour assurer le bon fonctionnement de la solution proposée. Nous examinerons également les besoins liés à l'environnement matériel en identifiant les équipements nécessaires pour soutenir efficacement notre projet.

3.2 Architecture du système

Le schéma en bloc est une représentation graphique qui facilite la compréhension d'un système complexe en mettant en évidence ses composants principaux et leurs interrelations. La figure 3.1 présente un schéma en blocs de l'architecture globale du système.

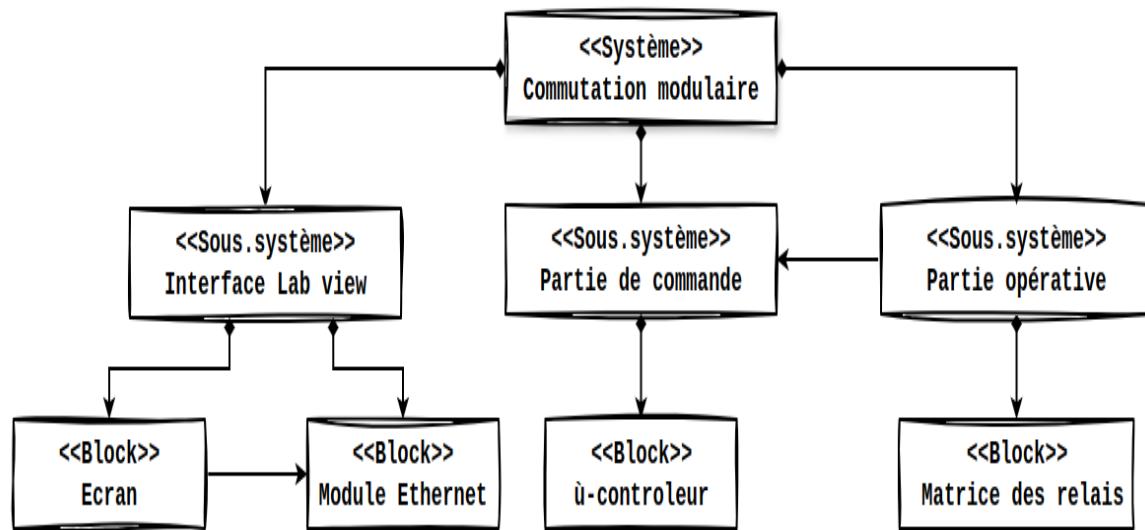


FIGURE 3.1 – architecture de système de commutation modulaire

3.3 Étude Matérielle

3.3.1 Étude des cartes de développement

Pour concevoir notre système de commutation, nous avons effectué une analyse approfondie des microcontrôleurs disponibles sur le marché afin de choisir celui qui correspond le mieux à nos besoins spécifiques. Les critères de sélection incluaient la consommation d'énergie, les capacités de connectivité, la performance et le coût. Le tableau 3.1 présente un résumé de ces critères

TABLE 3.1 – Comparaison des Caractéristiques Techniques des Microcontrôleurs

Caractéristiques	ESP32	Raspberry Pi4	STM 32f407VGT6
Architecture	Xtensa dual core	ARM Cortex-A	ARM Cortex-M4
Fréquence	160 à 240 MHz	Jusqu'à 1,5 GHz	Jusqu'à 170 MHz
Mémoire flash	4 Mo	Carte SD	1Mo
RAM	520 Ko	Jusqu'à 8 Go	640 Ko
Prix	45 TND	100 TND	35TND
Interfaces	GPIO I2C ADC SPI Wi-Fi DAC UART Bluetooth	UART I2C SPI HDMI USB Ethernet GPIO	- 2 Port USB 2.0 - 3 interfaces CAN - 3 interfaces SPI - 4 interfaces série asynchrone - 2 interfaces I2C - interface SDIO - interface Ethernet
Nombres des broches E/S	38 broches (E/S,PWM,RTC, I2C,SPI, ADC)	40 broches (HDMI,audio,USB, appareil photo et LCD, Entrée/Sortie...)	100 broches E/S 17 broches ADC 2 DAC

Spécifications	ESP32	Raspberry Pi4	STM 32f407VGT6
Performance	Excellent performance en calculs embarqués et E/S	Excellent performance générale, adaptée aux tâches lourdes.	Excellent optimisée pour une faible consommation d'énergie
Consommation d'énergie	Dépend de l'utilisation	Environ 2,5 W	Faible consommation d'énergie

3.3.1.1 Pourquoi le µ-stm32 ?

En termes de temps de réponse, les microcontrôleurs STM32 sont généralement très compétitifs par rapport à d'autres microcontrôleurs sur le marché. Cependant, la comparaison précisée dépend de plusieurs facteurs, notamment la fréquence d'horloge du microcontrôleur, son architecture interne, et la configuration spécifique de la tâche ou de l'application à laquelle il est destiné. Cette figure ci-dessous représente l'architecture interne de STM32F407VGT6 :

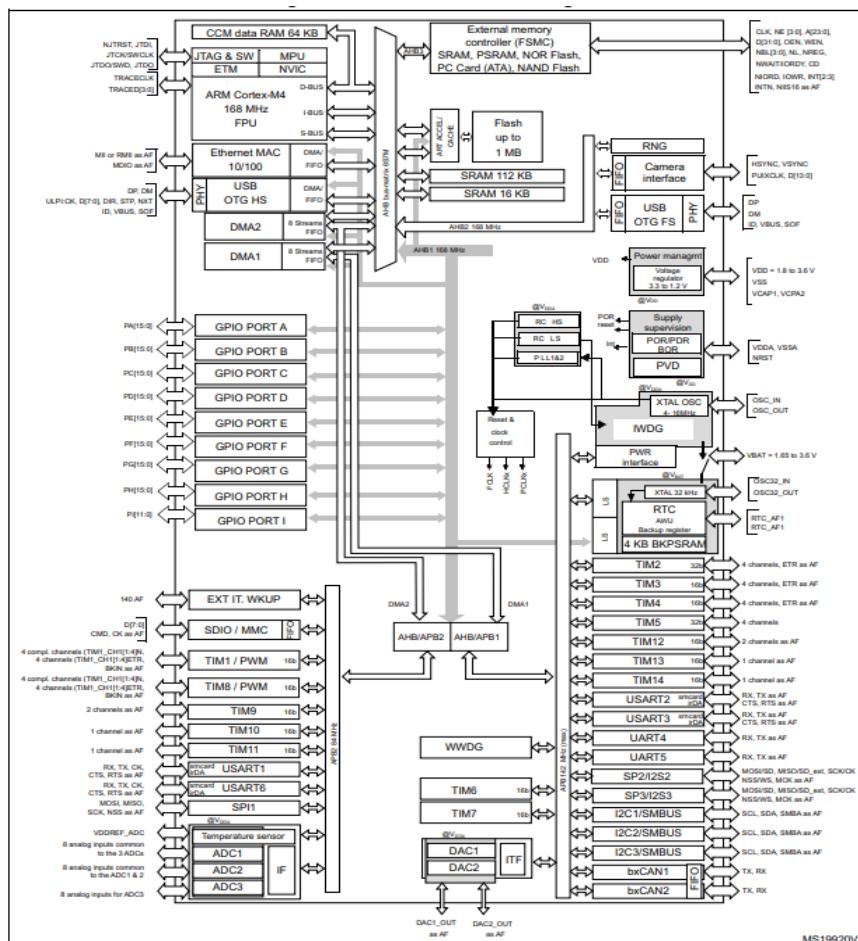


FIGURE 3.2 – architecture interne de STM32F407VGT6

3.3.1.2 Architecture interne d'un stm32f407vgt6

Le STM32F407VGT6 dispose d'une architecture interne complexe qui comprend plusieurs blocs fonctionnels interconnectés. Voici un aperçu simplifié de l'architecture :

- **Noyau Cortex-M4** : Le cœur du microcontrôleur, responsable de l'exécution des instructions.
- **Unité de gestion de la mémoire (MMU)** : Gère l'adressage et la protection de la mémoire
- **Bus d'instructions et de données** : Transportent les instructions et les données entre le cœur et les autres blocs.
- **Périphériques** : Accèdent aux ressources matérielles externes et internes.
- **Contrôleur d'interruption** : Gère les interruptions provenant des périphériques et d'autres sources.
- **Contrôleur DMA** : Transfère efficacement les données entre la mémoire et les périphériques.
- **Debug et Trace** : Fournit des fonctionnalités pour le débogage et le traçage du programme.

le tableau 3.2 fournit une comparaison générale entre les microcontrôleurs STM32 et d'autres microcontrôleurs en termes de temps de réponse, en mettant en évidence les principales caractéristiques et différences entre les deux catégories de dispositifs.

TABLE 3.2 – Comparaison entre STM32 et d'autres microcontrôleurs

Critère	STM32	Autres microcontrôleurs
Architecture	Cortex-M4 ou Cortex-M7	Variée (par exemple, AVR, PIC, ARM Cortex)
Fréquence d'horloge	Jusqu'à plusieurs centaines de MHz	Variable, souvent moins élevée
Temps de réponse	Généralement rapide	Variable, dépend de l'architecture et de la configuration spécifique
Capacités de traitement	Bonne capacité de traitement à virgule flottante et de traitement en temps réel	Variables, dépendent de l'architecture et des fonctionnalités spécifiques du microcontrôleur
Intégration de périphériques	Intégration étendue de périphériques et d'interfaces, ce qui peut réduire les temps d'accès aux ressources matérielles	Variables, dépendent des fonctionnalités spécifiques du microcontrôleur
Support logiciel	Large écosystème de développement avec un soutien complet de la part de STMicroelectronics	Variables, dépendent des fournisseurs de microcontrôleurs et de leur communauté de développement

Il est important de noter que les performances réelles peuvent varier en fonction de la configuration spécifique de chaque microcontrôleur et de l'application dans laquelle il est utilisé. ainsi STM32 sont un excellent choix pour ce projet à cause de ces raisons :

- **Choix de référence de l'entreprise** : Choisir le STM32 comme microcontrôleur pour notre projet s'est avéré être une décision stratégique, en grande partie en raison de sa reconnaissance comme un choix de référence dans l'industrie.
- **Compatibilité LabVIEW** : LabVIEW prend en charge nativement la communication avec des périphériques série comme les cartes STM32 via divers protocoles (UART, SPI, I2C). De plus, des bibliothèques et des exemples tiers ciblent spécifiquement la communication STM32.
- **Support communautaire** : La vaste communauté d'utilisateurs STM32 propose des forums en ligne, des tutoriels et des projets partagés, ce qui facilite la recherche d'aide et le dépannage des problèmes.
- **Écosystème de développement** : STMicroelectronics fournit des outils et des ressources de développement étendus, notamment STM32CubeMX pour la configuration des cartes, des bibliothèques HAL pour l'interaction avec les périphériques, et de nombreux exemples et notes d'application.
- **Flexibilité** : Les cartes STM32 proposent diverses fonctionnalités comme de nombreux timers, broches GPIO et interfaces de communication (SPI, I2C, UART), vous permettant de connecter divers capteurs, actionneurs et modules de communication comme l'Ethernet ou le WiFi.

Dans l'ensemble, les STM32 sont un excellent choix pour notre projet en raison de leur rentabilité, de leur flexibilité, de leur support de développement et de leur compatibilité LabVIEW.

3.3.1.3 Communication Ethernet

Dans le cadre de notre projet, nous nous concentrerons sur l'implémentation d'une connexion Ethernet entre LabVIEW et un microcontrôleur STM32. Cette connexion revêt une importance cruciale pour notre système, car elle permettra une communication bidirectionnelle efficace et en temps réel entre l'interface utilisateur conviviale de LabVIEW et le contrôleur STM32. Dans ce paragraphe introductif, nous explorerons les motivations derrière le choix de cette solution de connectivité, ainsi que les avantages attendus pour notre application. De plus, nous décrirons brièvement les principaux composants de cette architecture et la manière dont ils interagiront pour

assurer le bon fonctionnement de notre système.

Avantages

La communication Ethernet offre plusieurs avantages significatifs pour les systèmes de contrôle et d'acquisition de données :

- **Débit élevé** : L'Ethernet permet des débits de transfert de données élevés, ce qui est essentiel pour les applications nécessitant la transmission rapide de grandes quantités de données, telles que la télémétrie en temps réel, le streaming vidéo, ou le contrôle à distance de dispositifs.
- **Fiabilité** : L'Ethernet est connu pour sa fiabilité. Grâce à des protocoles robustes de contrôle d'erreur et de retransmission automatique des données, il offre une communication stable même dans des environnements sujets à des interférences électromagnétiques ou à des perturbations.
- **Évolutivité** : Les réseaux Ethernet peuvent être facilement étendus pour inclure un grand nombre de dispositifs grâce à des commutateurs et des routeurs Ethernet, offrant ainsi une évolutivité pour les applications nécessitant une infrastructure réseau étendue.
- **Compatibilité** : L'Ethernet est largement utilisé et standardisé, ce qui garantit une compatibilité entre les différents équipements et les différents fabricants. Cela facilite l'intégration de nouveaux dispositifs dans un réseau existant.
- **Facilité de configuration** : Les paramètres de communication Ethernet, tels que les adresses IP, peuvent être configurés facilement à l'aide d'outils logiciels standard. Cela simplifie la mise en place et la gestion des réseaux Ethernet.
- **Sécurité** : Les protocoles de sécurité Ethernet, tels que le protocole SSL/TLS, permettent de sécuriser les communications et de protéger les données sensibles contre les interceptions et les altérations non autorisées.

En résumé, la communication Ethernet offre une combinaison de performances élevées, de fiabilité, de compatibilité et de sécurité, ce qui en fait un choix idéal pour de nombreuses applications de contrôle et d'acquisition de données.

3.3.1.4 Intégration d'un module Ethernet

Un module Ethernet est un petit appareil autonome qui ajoute la connectivité Ethernet à un appareil qui n'en aurait pas normalement. Ils sont souvent utilisés dans les systèmes embarqués, la robotique et l'Internet des objets (IoT). Les modules Ethernet incluent généralement un transceiver de couche physique (PHY), un contrôleur d'accès au support (MAC) et un microcontrôleur.

Avantages des modules Ethernet

- **Connectivité accrue :** Les modules Ethernet permettent aux appareils de se connecter à un réseau local (LAN), ce qui leur donne accès à Internet et aux autres appareils du réseau.
- **Fonctionnalité améliorée :** En se connectant à un réseau, les appareils peuvent être contrôlés à distance, partager des données avec d'autres appareils et recevoir des mises à jour.
- **Développement simplifié :** Les modules Ethernet sont relativement faciles à utiliser et peuvent aider les développeurs à ajouter rapidement la connectivité réseau à leurs projets.

Points à prendre en compte lors du choix d'un module Ethernet :

- **Vitesse :** Les modules Ethernet existent dans une variété de vitesses, notamment 10 Mbps, 100 Mbps et 1 Gbps. La vitesse dont vous avez besoin dépendra de l'application.
- **Interface :** Les modules Ethernet peuvent se connecter à un appareil hôte via une variété d'interfaces, telles que SPI, I2C et UART. L'interface que vous choisissez dépendra des capacités de votre appareil hôte.
- **Facteur de forme :** Les modules Ethernet existent dans une variété de facteurs de forme, notamment DIP, SMT et modules avec connecteurs intégrés. Le facteur de forme que vous choisissez dépendra des contraintes d'espace de votre projet.

Nous avons effectué une comparaison des différentes solutions fonctionnelles avec le STM32F407VGT6.

Le tableau ci-dessous récapitule les principales caractéristiques de chaque solution.

TABLE 3.3 – comparaison entre les modules Ethernet

Module Ethernet	Interface	Description	Vitesse	Avantages	Inconvénients	Prix
LAN8720	SPI	Contrôleur Ethernet économique et simple	10/100 Mbps	Faible coût, faible consommation d'énergie	Performance limitée	Bas
W5500	SPI	Contrôleur Ethernet avec fonctions avancées	10/100 Mbps	Prise en charge de plusieurs sockets, gestion de la mémoire tampon, détection automatique des câbles	Plus complexe à programmer	Moyen
ENC28J60	SPI	Contrôleur Ethernet très économique	10Mbps	Prix très bas, faible consommation d'énergie	Performance limitée, nécessite des composants externes	Bas
RMII/Ethernet PHY	RMII	Interface Ethernet physique pour les microcontrôleurs avec interface RMII	10/100 Mbps	Haute performance, flexibilité	Nécessite un microcontrôleur avec interface RMII, plus complexe à utiliser	Variable

3.3.1.5 Le module Ethernet ENC28J60

Après une étude effectuée, nous constat que l'ENC28J60 est une solution Ethernet économique et facile à intégrer pour les applications embarquées et les systèmes IoT, offrant une connectivité Ethernet fiable et efficace à une large gamme de microcontrôleurs et de dispositifs à faible puissance.

Prise en charge des protocoles réseau

Il prend en charge les protocoles réseau TCP/IP, ce qui lui permet de communiquer avec d'autres périphériques sur un réseau Ethernet standard.

L'interface SPI dans le module ENC28J60

L'interface SPI (Serial Peripheral Interface) dans le module ENC28J60 est un élément crucial qui permet la communication entre le contrôleur Ethernet ENC28J60 et un microcontrôleur hôte. Elle offre un moyen standardisé au microcontrôleur d'échanger des données, des commandes et des signaux de contrôle avec l'ENC28J60, permettant au microcontrôleur de gérer les fonctionnalités réseau Ethernet.

3.3.1.6 Caractéristiques principales de l'interface SPI dans l'ENC28J60

1. **Communication en duplex intégral** : L'interface SPI facilite le transfert de données bidirectionnel, permettant au microcontrôleur d'envoyer des données à l'ENC28J60 et de recevoir des données de celui-ci simultanément.
2. **Transfert de données synchrone** : L'interface SPI synchronise le transfert de données à l'aide d'un signal d'horloge généré par le périphérique maître (généralement le microcontrôleur). Cela garantit un transfert de données fiable et sans erreur.
3. **Interface simple** : L'interface SPI n'utilise que quatre fils : MOSI (Master Out, Slave In), MISO (Master In, Slave Out), SCK (Serial Clock) et SS (Slave Select). Cette simplicité la rend facile à implémenter et à connecter à l'ENC28J60.
4. **Large éventail d'applications** : L'interface SPI est polyvalente et peut être utilisée pour diverses tâches de communication, y compris la configuration de l'ENC28J60, l'envoi et la réception de paquets Ethernet et la surveillance de l'état du réseau.

Pin Name	Description
V _{CC}	Module supply voltage
CLKOUT	Programmable clock output
ENC-WOL	Wake on LAN
RESET	Active low reset input
ENC-INT	Active low interrupt output pin
CS	SPI chip select
MOSI	SPI data input
MISO	SPI data output
SCK	SPI clock
GND	Module ground reference

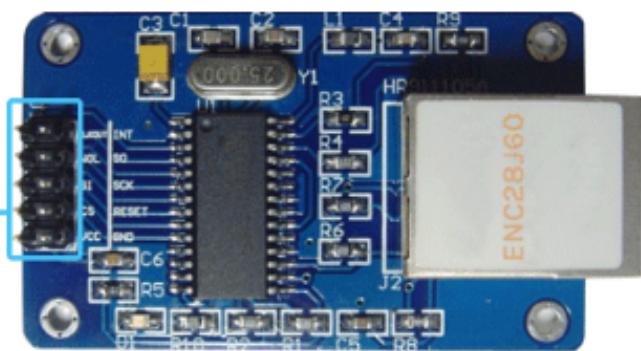


FIGURE 3.3 – Module ENC28J60

La figure suivante représente l'architecture interne de l'ENC28J60 :

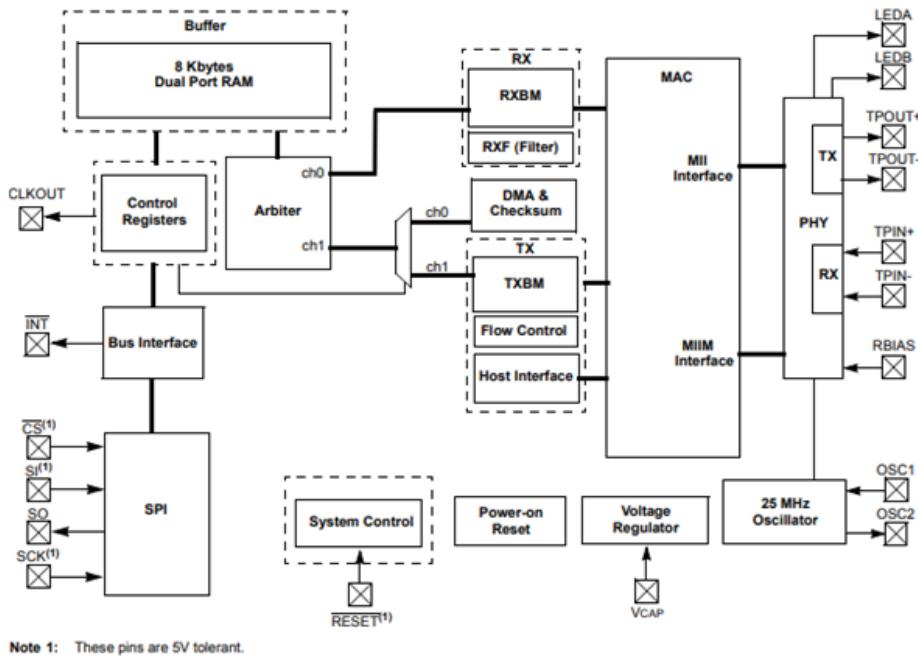


FIGURE 3.4 – l'architecture interne de l'ENC28J60

L'ENC28J60 est composé de sept blocs fonctionnels principaux :

- **Interface SPI :** Elle sert de canal de communication entre le contrôleur hôte et l'ENC28J60.
Registres de contrôle : Ils permettent de contrôler et de superviser l'ENC28J60.
- **Mémoire tampon RAM double port :** Cette mémoire tampon stocke les paquets de données reçus et transmis.
- **Arbitre :** Il gère l'accès à la mémoire tampon RAM lorsque des requêtes sont émises par le DMA, les blocs de transmission et de réception.
- **Interface bus :** Elle interprète les données et les commandes reçues via l'interface SPI.
- **Module MAC (Medium Access Control) :** Il implémente la logique MAC conforme à la norme IEEE 802.3.
- **Module PHY (Physical Layer) :** Il code et décide les données analogiques présentes sur l'interface à paires torsadées.

3.3.2 Etude technologie et choix technique des relais

Les relais sont des composants électriques essentiels dans les systèmes de commutation modulaires, permettant de contrôler le flux de courant entre différents circuits. Ils offrent une isolation

galvanique entre les circuits de commande et les circuits de puissance, assurant ainsi la sécurité et la fiabilité du système. Le choix du type de relais approprié dépend de plusieurs facteurs, tels que la charge à commuter, la tension et le courant de commutation, la vitesse de commutation, la taille et le coût.



FIGURE 3.5 – Relais

Le choix du type de relais dans un système de commutation modulaire dépend de plusieurs facteurs, tels que les exigences de test spécifiques, les caractéristiques du signal, la vitesse de commutation et les capacités de gestion de la puissance. Voici une ventilation des types de relais appropriés pour différents scénarios de test :

Commutation à usage général

- **Relais électromagnétiques** : Ces relais offrent un équilibre entre l'abordabilité, la fiabilité et la polyvalence, ce qui les rend adaptés aux tâches de commutation à usage général dans le test de cartes électroniques. Ils peuvent gérer une large gamme de types de signaux, y compris les signaux CC, CA et analogiques.

Commutation à grande vitesse

- **Relais statiques (SSR)** : Les SSR offrent des vitesses de commutation plus rapides que les relais électromagnétiques, ce qui les rend adaptés aux applications nécessitant une commutation rapide des signaux. Ils sont particulièrement utiles pour tester les circuits haute fréquence et les signaux à impulsions.

Commutation de signaux de bas niveau

- **Relais à lames** : Les relais à lames sont connus pour leur faible résistance de contact et leur faible génération de bruit, ce qui les rend idéaux pour la commutation de signaux de bas

niveau sensibles. Ils sont souvent utilisés pour tester des circuits analogiques de précision et des composants électroniques délicats.

Commutation haute puissance :

- **Relais de puissance :** Les relais de puissance sont conçus pour gérer des courants et des tensions élevés, ce qui les rend adaptés à la commutation de circuits de puissance dans les cartes électroniques. Ils sont couramment utilisés pour tester les alimentations électriques, les contrôleurs de moteur et autres composants haute puissance.

Ce tableau 3.4 compare les différentes solutions alternatives pour des relais DPDT 24V, en mettant en évidence leurs descriptions et avantages respectifs.

TABLE 3.4 – les différentes solutions alternatives pour des relais DPDT 24V

Solution	Description	Avantages
Relais Omron G2R-2 24V DC	Relais électromécanique DPDT, avec une capacité de commutation élevée et une isolation renforcée.	Fiabilité, large gamme d'applications industrielles.
Relais Panasonic TX2-24V	Relais DPDT miniature, idéal pour les applications à espace restreint.	Faible consommation d'énergie, compacte, performances élevées.
Relais Finder 55.32.9.024.0040	Relais DPDT avec une capacité de commutation de 10 A, adapté aux applications industrielles.	Fiabilité, longue durée de vie, supporte de fortes charges.

Après des études et des recherches approfondies, nous avons choisi d'utiliser des relais de type DPDT de type Finder pour faire la conception de notre système de commutation modulaire. Ce type de relais possède deux lignes d'entrée et deux lignes de sortie, ce qui garantit une commutation efficace entre les points de test ayant deux broches (V+ et V-) ainsi que pour les instruments de mesure nécessitant deux connexions (VCC et GND). Voici quelques justifications pour le choix d'un relais DPDT (Double Pole Double Throw) de 24V pour la conception d'un système de commutation modulaire. Ce tableau 3.5 représente les différentes caractéristiques d'un relais DPDT modèle Finder.

TABLE 3.5 – les différentes caractéristiques d'un relais DPDT modèle Finder

Caractéristique	Détail
Modèle	Finder 55.32.9.024.0040
Type de relais	DPDT (Double Pole Double Throw)
Tension de la bobine	24V DC
Capacité de commutation	10A / 250V AC
Consommation de puissance	0.9W
Résistance de la bobine	640
Nombre de contacts	2 Change-over (SPDT)
Durée de vie mécanique	10 opérations
Durée de vie électrique	10 opérations à pleine charge
Température de fonctionnement	-40°C à +70°C
Dimensions	29 x 12.7 x 15.7 mm
Montage	Traversant sur PCB
Isolation bobine-contact	4kV
Matériau des contacts	Argent-nickel

3.3.2.1 Avantages d'utilisation d'un Relais DPDT

- Flexibilité dans la commutation :** Un relais DPDT permet de contrôler deux circuits indépendants avec un seul relais, ce qui est idéal pour un système de commutation modulaire nécessitant une gestion simultanée de plusieurs canaux ou signaux.
- Compatibilité avec l'alimentation :** Le choix d'un relais de 24V est souvent compatible avec les systèmes industriels standards, facilitant l'intégration dans des environnements où cette tension est couramment utilisée pour l'alimentation des composants de contrôle.
- Capacité de gestion des charges :** Un relais DPDT est capable de supporter des charges plus importantes que les relais SPDT (Single Pole Double Throw), ce qui est essentiel pour des applications où des courants plus élevés doivent être commutés.

4. **Séparation physique des circuits :** La conception DPDT permet une isolation physique entre les deux circuits commutés, réduisant le risque d'interférences ou de court-circuit, ce qui est crucial dans des environnements sensibles ou pour la sécurité.
5. **Robustesse et durabilité :** Les relais DPDT sont généralement conçus pour une utilisation intensive, offrant une longue durée de vie et une fiabilité accrue, ce qui est nécessaire pour un système qui pourrait être sollicité fréquemment.
6. **Simplicité de commande :** L'utilisation d'un relais 24V DPDT est souvent simple à commander avec des microcontrôleurs ou des systèmes de commande de faible puissance, ce qui facilite son intégration dans un système de contrôle existant, tel qu'une carte STM32.

3.4 Choix des composants électroniques

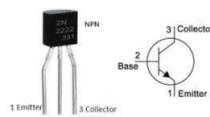
3.4.1 Choix du Transistor

Dans la conception de notre système de commutation modulaire, les diodes et les transistors jouent un rôle essentiel pour assurer le contrôle fiable des relais 24V. Les transistors, souvent de type MOSFET ou BJT, sont utilisés comme interrupteurs électroniques pour commander l'activation des relais. Lorsqu'un signal de commande est envoyé au transistor depuis le microcontrôleur STM32, le transistor bascule et permet au courant de circuler vers le relais, activant ainsi la commutation souhaitée. Le tableau 3.6 présente les critères de sélection d'un transistor :

TABLE 3.6 – Critères de sélection d'un transistor

Critère de Sélection	Description
Type de Transistor	Choix entre MOSFET et BJT en fonction des besoins en vitesse de commutation et en courant.
Tension de Drain-Source (Vds) ou Collecteur-Émetteur (Vce)	Doit être supérieure à la tension de commutation du relais (au moins 24V).
Courant de Drain (Id) ou Collecteur (Ic)	Doit être capable de gérer le courant nécessaire pour activer le relais (généralement entre 10mA et 100mA).
Tension de Seuil (Vgs(th)) pour MOSFET ou Gain (hFE) pour BJT	Pour un MOSFET, la tension de seuil doit être compatible avec la tension de commande de la STM32 (3.3V ou 5V). Pour un BJT, le gain doit permettre de saturer le transistor avec le courant disponible du microcontrôleur.
Résistance à l'état passant (Rds(on)) pour MOSFET	Devrait être faible pour minimiser les pertes de puissance lors de la commutation.
Vitesse de commutation	Important pour des applications nécessitant des temps de réponse rapides.
Dissipation de puissance (Pd)	Doit être adaptée à la dissipation thermique prévue dans le système, pour éviter la surchauffe.
Protection interne (diode de roue libre intégrée)	Certains transistors intègrent une diode de roue libre, utile pour protéger contre les surtensions.
Conditionnement (Package)	Doit correspondre à l'espace disponible sur la carte PCB et à la méthode de montage souhaitée (SMD ou through-hole).

Le transistor 2N2222 est un bon choix pour commander des relais 24V dans votre système de commutation modulaire. Il s'agit d'un transistor NPN de faible puissance, capable de supporter des courants jusqu'à 800 mA, ce qui est généralement suffisant pour piloter un relais. Il est également bien adapté aux applications de commutation en raison de sa vitesse de commutation rapide et de sa faible tension de saturation, ce qui minimise les pertes de puissance lors de la commutation. La figure 3.6 présente le modèle du transistor 2N2222 :

**FIGURE 3.6 – 2N2222**

3.4.2 Choix de la Diode de protection

Pour protéger un relais commandé par un transistor 2N2222, nous pouvons utiliser la diode 1N4007.

Pourquoi la 1N4007 ?

- **Compatibilité :** La 1N4007 est une diode standard qui peut gérer des courants allant jusqu'à 1A et supporter des tensions inverses jusqu'à 1000 V, ce qui est largement suffisant pour la plupart des relais 24V.
- **Protection :** Elle protège efficacement le transistor en évitant les surtensions causées par l'inductance du relais lors de sa désactivation (effet de "flyback").



FIGURE 3.7 – 1N4007

C'est une solution robuste et fiable pour la protection de votre circuit de commutation.

3.4.3 Chaine fonctionnelle globale du système

Après avoir fait le choix des solutions, nous avons choisi de présenter la chaîne fonctionnelle générale du système. Cette chaîne, présentée dans la figure xx, permet d'avoir une vue d'ensemble sur les fonctions d'un système et sur les flux d'énergie, d'information ou de matière d'œuvre.

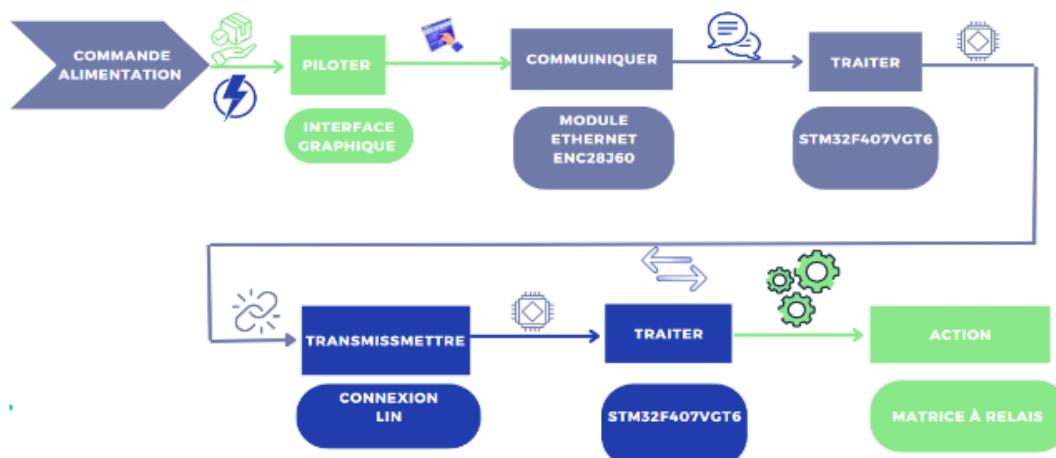


FIGURE 3.8 – Chaîne fonctionnelle globale du système

3.4.4 Étude informatique

3.4.4.1 Étude des logiciels de développement

Il est crucial de bien choisir l'environnement de développement lorsqu'on travaille sur un projet électronique. Pour le STM32F407VGT6, il existe plusieurs logiciels qui peuvent faciliter le processus de développement. Nous avons préparé un tableau comparatif des différents environnements de développement recommandés pour le STM32F407VGT6

Le tableau 3.7 illustre Les différents environnements de développement recommandés pour le STM32 :

TABLE 3.7 – Les différents environnements de développement recommandés pour le STM32

Fonctionnalité	STM32CubeMX	Keil µVision5	System Workbench for STM32	CooCox CoIDE	GCC
Type	Outil de configuration graphique	IDE	IDE	IDE	Compilateur
Expérience du développeur	Débutant	Intermédiaire à avancé	Intermédiaire à avancé	Débutant à intermédiaire	Avancé
Fonctionnalités clés	Initialisation et génération de code périphérique automatiques, interface graphique facile à utiliser	Éditeur, débogueur et compilateur puissant, prise en charge étendue d'ARM	IDE basé sur Eclipse avec plugins spécifiques STM32, prise en charge multiplateforme	IDE léger et portable, interface simple	Compilateur open source, contrôle précis du code
Avantages	Simplifie la configuration et le développement, idéal pour les débutants	Ensemble de fonctionnalités complet, contrôle précis	Prise en charge multiplateforme, débogage avancé	Facile à utiliser, portable	Flexible et puissant
Inconvénients	Moins de flexibilité et de contrôle par rapport aux IDE	Courbe d'apprentissage abrupte	Nécessite l'installation d'Eclipse	Fonctionnalités avancées limitées	Interface de ligne de commande
Idéal pour	Débutants et amateurs	Développeurs expérimentés	Développement multiplateforme	Prototypage rapide et projets embarqués	Développeurs expérimentés avec expertise en ligne de commande

Après avoir étudié les Environnement de développement tels que STM32cubeMX, keil μ Vision et GCC, Nous avons décidé d'opter l'environnement STM32cube MX pour plusieurs raison interface graphique facile à comprendre, préconfigurassions, et un débogage avancé pour faciliter le développement.

3.4.5 STM32CubeMX

STM32CubeMX est un outil de configuration graphique puissant développé par STMicroelectronics pour simplifier le développement d'applications embarquées avec les microcontrôleurs STM32. Il offre une interface intuitive et des fonctionnalités avancées qui permettent aux développeurs de tous niveaux d'initialiser et de configurer rapidement les périphériques STM32, de générer du code C optimisé et de tester leurs applications. la figure 3.9 présente le logo de cet outil de configuration .



FIGURE 3.9 – STM32CubeMX logo

3.4.6 keil μ Vision

Keil μ Vision est un environnement de développement intégré (IDE) complet et puissant développé par Arm pour la programmation de microcontrôleurs basés sur l'architecture ARM. Il est largement utilisé dans l'industrie pour le développement d'applications embarquées en raison de sa large gamme de fonctionnalités, de sa fiabilité et de s. Larise en charge étendue des microcontrôleurs ARM.La figure 3.10 présente le logo de cet environnement de développement .



FIGURE 3.10 – keil μ vision logo

Nous avons choisi Keil µVision comme compilateur et environnement de développement intégré (IDE) pour ce projet.

3.4.6.1 Logiciel de programmation graphique

Nous avons sélectionné le logiciel LabVIEW pour transmettre les données vers notre carte-commande. la figure 3.11 présente le logo de logiciel Lab VIEW .



FIGURE 3.11 – Lab VIEW logo

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un langage de programmation graphique et un environnement de développement pour la conception de systèmes, développé par National Instruments.

LabVIEW utilise un langage de programmation graphique, ce qui signifie que les programmes sont créés en connectant des icônes qui représentent différentes opérations. Cela rend LabVIEW facile à apprendre et à utiliser, même pour les personnes qui ne sont pas expérimentées en programmation.

3.5 Conclusion

Ce chapitre met en évidence l'architecture du système, la sélection avisée de logiciels et de plates-formes, ainsi que l'identification précise des besoins matériels sont des éléments clés pour assurer le fonctionnement optimal de notre solution. L'alignement harmonieux entre ces aspects garantit la base d'un projet solide et performant.

Conception du système de commutation modulaire

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter en premier lieu, l'étude de la partie informatique qui concerne l'interface graphique en examinant le choix de mode de communication. En deuxième lieu, nous allons aborder la partie électronique de notre projet. Cela englobe l'analyse des composants électroniques, la conception des circuits nécessaires pour alimenter, contrôler et interagir avec les différentes fonctionnalités du système de commutation modulaire.

4.2 Conception d'interface utilisateur

La conception d'une interface graphique est souvent appelée UI design (User Interface Design) ou conception d'interface utilisateur. Cela englobe la création et l'organisation des éléments visuels et interactifs d'une interface utilisateur, tels que les boutons, les menus, les icônes, et les champs de saisie, afin de permettre une interaction efficace et intuitive avec l'utilisateur.

4.2.1 Notion serveur – client

Comme indiqué dans les paragraphes précédents, nous avons choisi d'utiliser le mode de communication TCP. Ce mode repose sur l'interaction entre deux entités : un serveur et un client.

Serveur : Un serveur est un programme ou un dispositif qui écoute les demandes de connexion provenant des clients sur un réseau. Il accepte les connexions, traite les requêtes, et renvoie les réponses appropriées. Dans le contexte TCP, le serveur établit une connexion stable et fiable avec le client pour échanger des données.

Client : Un client est un programme ou un dispositif qui initie une connexion avec un serveur pour envoyer des requêtes et recevoir des réponses. Dans le mode TCP, le client établit une connexion avec le serveur en utilisant l'adresse IP et le port du serveur, et il communique de manière fiable en

assurant la livraison des données dans l'ordre correct. Dans notre système, l'interface LabVIEW joue le rôle d'un client.

4.2.2 Structure du Projet

L'application est structurée de manière à séparer clairement les différentes fonctionnalités. La racine du projet contient les configurations principales et les dépendances, tandis que le champ de sélection ,le champ de saisie pour l'adresse IP et le port de communication ainsi le code source de l'application, incluant les composants.

pour bien décrire le fonctionnement de notre interface nous avons construit le diagramme suivant :

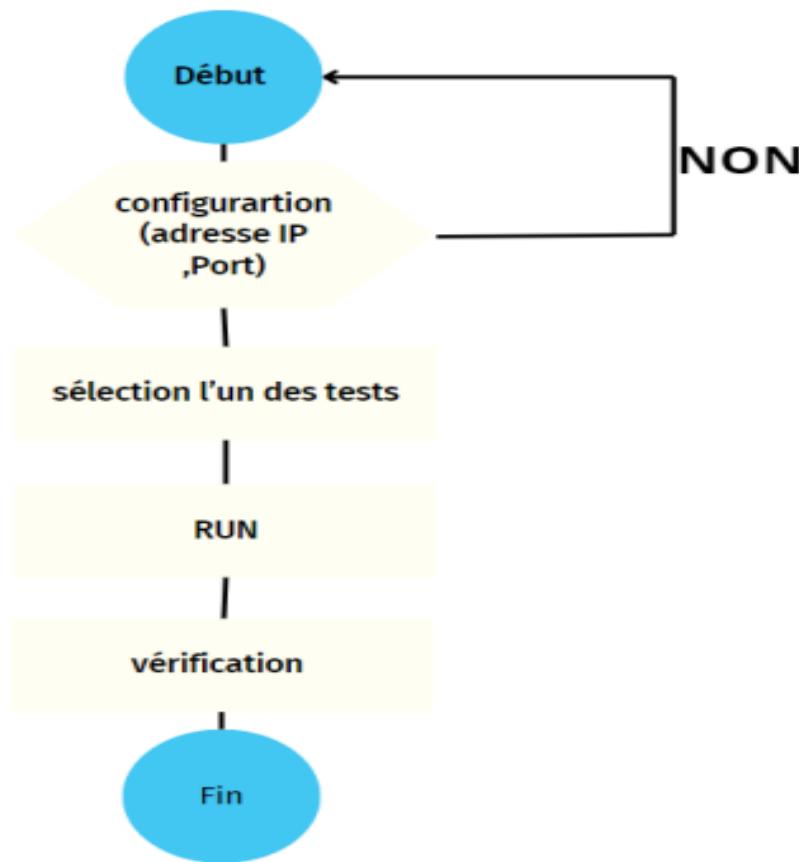


FIGURE 4.1 – Organigramme de l'interface

4.2.2.1 Description de l'interface

Front Panel

Dans LabVIEW, le Front Panel est l'interface graphique où les utilisateurs interagissent avec le programme. Il permet de créer des boutons, des cadrans, des graphiques, et autres éléments visuels

pour contrôler et visualiser les données en temps réel.

Block Diagram

Le **Diagramme de Bloc** (ou **Block Diagram**) est la zone où l'on programme la logique du code en connectant des fonctions et des structures à l'aide de fils. Tandis que le Front Panel est axé sur l'interface utilisateur, le Diagramme de Bloc est dédié à la logique de traitement des données et aux opérations internes du programme. Les deux panneaux travaillent ensemble pour créer des applications interactives et fonctionnelles.[10]

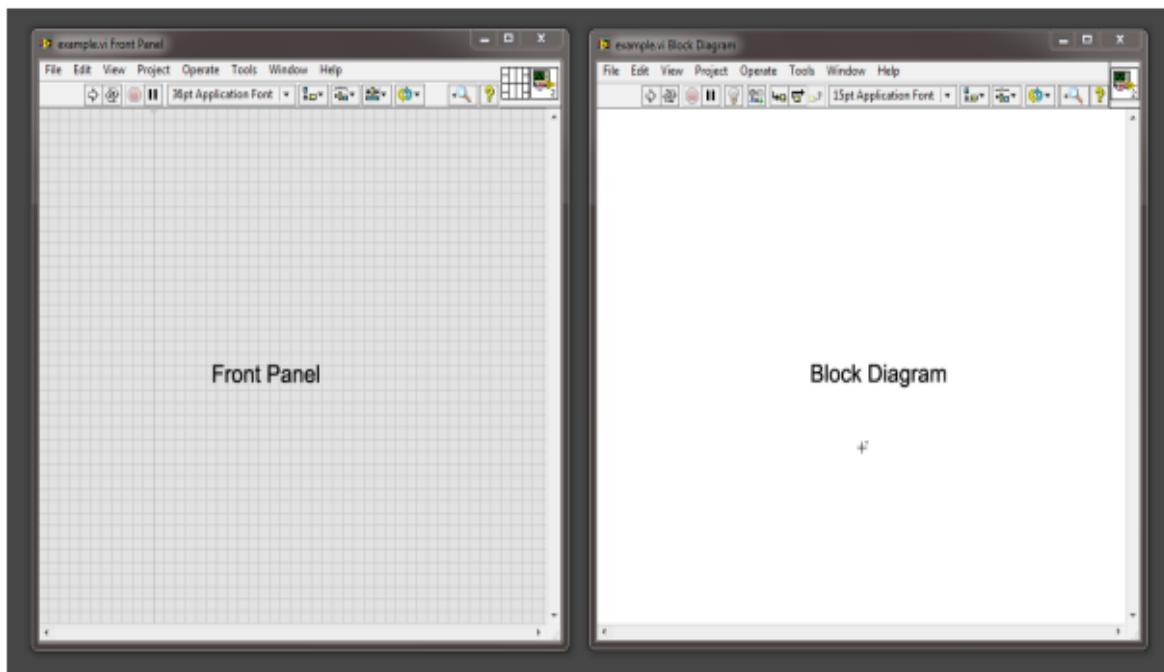


FIGURE 4.2 – front panel et diagramme de block

- Champ de sélection (check box) :

Nous avons conçu ce champ pour offrir à l'utilisateur un espace vaste et pratique afin de sélectionner le type de test souhaité.La figure 4.3 présente cette description

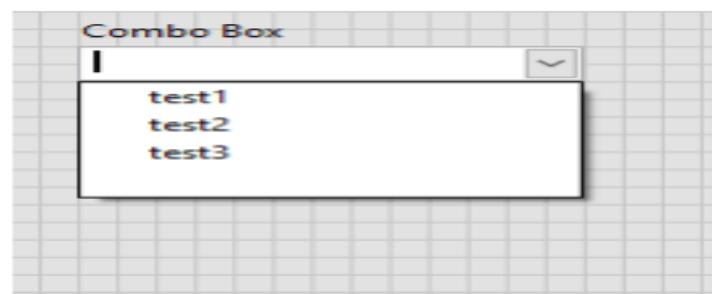


FIGURE 4.3 – Champ de sélection

Les tests représentent des lignes de commande pour les voies de commutation des relais. Par exemple, le Test 1 correspond à la voie de sortie numéro 1.

— Le configuration Mode client

Pour assurer que cette interface fonctionne en mode client nous avons ajoutée deux champs de configuration :

Adresse IP : L'adresse IP du client TCP est celle de la machine qui initie la connexion au serveur. Cette adresse est utilisée par le serveur pour savoir d'où provient la connexion et pour répondre au client.

Port de communication : Le port de communication, dans le contexte du mode TCP, est un numéro utilisé pour identifier de manière unique un processus ou un service spécifique sur un appareil.

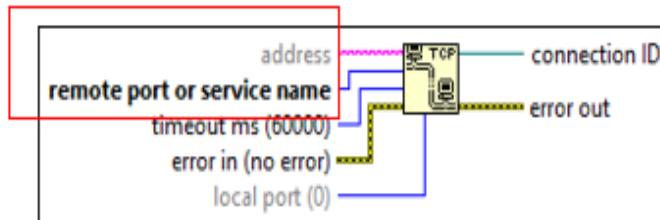


FIGURE 4.4 – TCP Open Connection Function

TCP open connection

En LabVIEW, la fonction "TCP Open Connection" est utilisée pour établir une connexion TCP/IP entre un client et un serveur. Cette fonction permet de créer une communication réseau, où un client peut se connecter à un serveur via une adresse IP et un numéro de port spécifié.[10] **TCP write Function**

La fonction TCP Write dans LabVIEW est utilisée pour envoyer des données à un serveur via une connexion TCP établie. Lorsque vous utilisez cette fonction, vous spécifiez la connexion TCP établie ainsi que les données que vous souhaitez transmettre.[10]

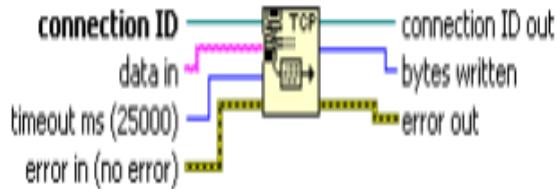


FIGURE 4.5 – TCP write Function

Pour garantir une communication fluide entre les deux périphériques (l’interface utilisateur et la carte pilote), il est essentiel de passer par une étape cruciale : vérifier la connectivité réseau entre les deux dispositifs. Cette vérification permet de s’assurer que les deux périphériques peuvent échanger des données sans problème, en confirmant qu’ils sont correctement connectés au réseau et capables de se communiquer efficacement.

4.2.3 Partie Développement

Pour contrôler les deux microcontrôleurs de notre système, nous avons utilisé :

STM32CubeMX : STM32CubeMX simplifie la configuration matérielle et logicielle pour les développeurs, rendant plus rapide la mise en route de projets sur STM32.

Keil µVision : est un environnement de développement intégré (IDE) complet, principalement utilisé pour la programmation de microcontrôleurs basés sur l’architecture ARM, tels que les STM32.[5]

Langage C : est un langage universel, il est le langage programmation le plus standard pour les micro-ordinateurs puisque est caractérisé par sa modularité, sa portabilité, et son extensibilité Vue de configuration stm32 cube Mix

Dans cette phase, nous avons défini toutes les entrées et sorties, configuré l’horloge ainsi que les protocoles de communication.

ces deux figures représentent cette configuration :

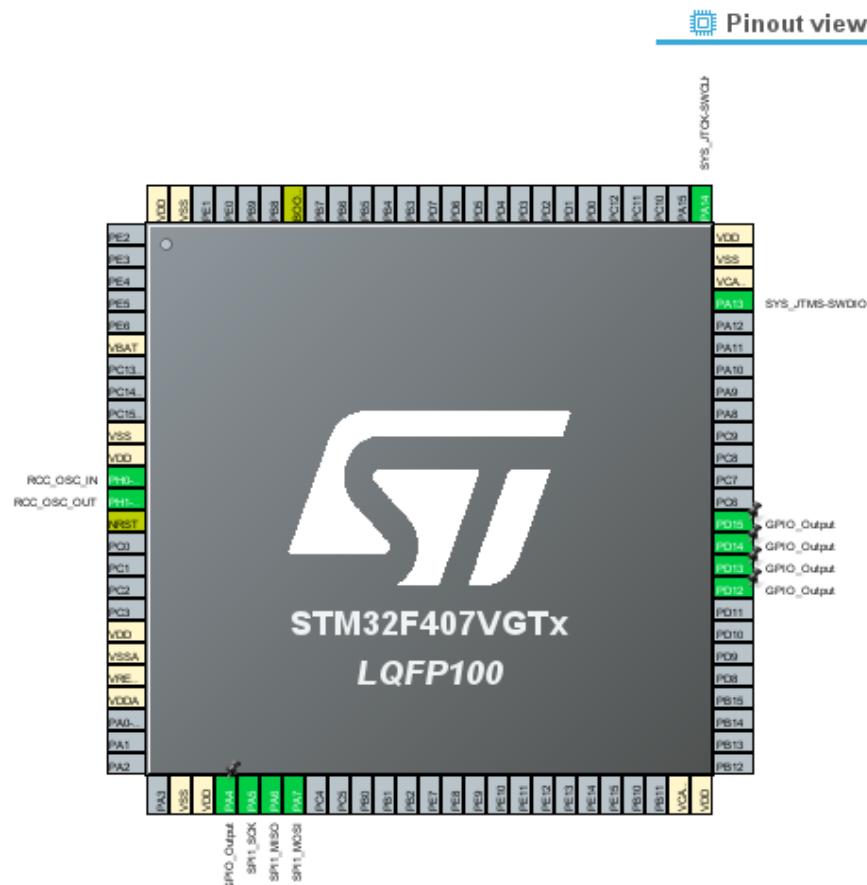


FIGURE 4.6 – configuration des Pins

4.2.4 Conception électrique

4.2.4.1 Caractéristiques électriques des composants

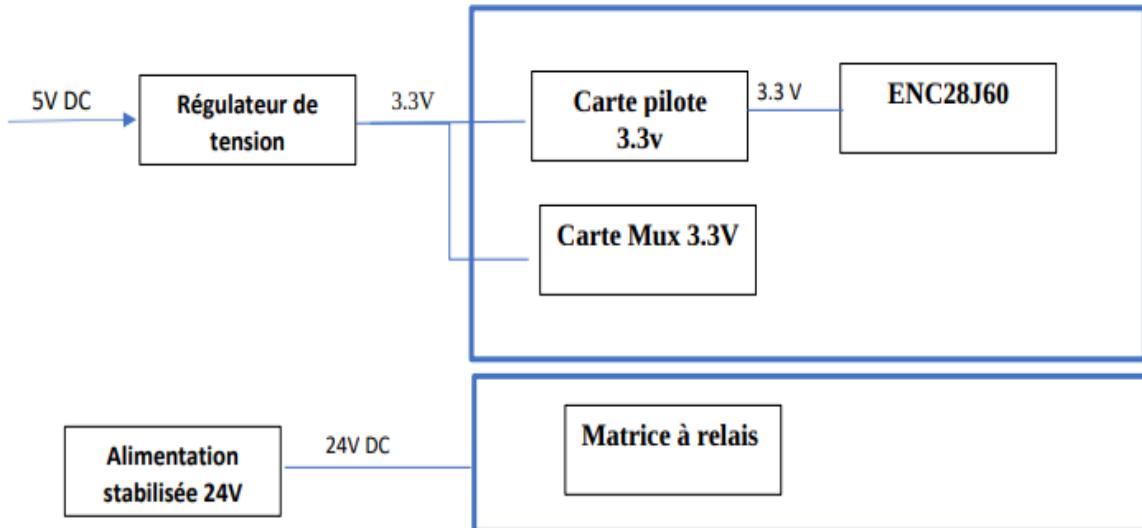
Le tableau 4.1 permet d'abord d'identifier d'une manière exhaustive les composants du système et de quantifier leur consommation en termes de tension et de courant. En plus , il offre l'opportunité de choisir l'alimentation appropriée selon la consommation électrique totale du système, garantissant ainsi une alimentation adéquate et fiable pour tous les composants. Il permet également de dimensionner et faire le choix des différents convertisseurs de tensions qui vont pourvoir fournir la puissance nécessaire pour alimenter les composants.

TABLE 4.1 – Étude électrique des composants

Composants	Courant nominal (A)	Tension (V)	Puissance (W)
STM32F407VGT6 (x2)	0.120A	3.3 V	0.396 W (par STM32)
ENC28J60	0.180A	3.3 V	0.594 W
Relais Finder 24V (x15)	0.020 A (par relais)	24 V	0.48 W (par relais)
Transistor	0.005 A	3.3 V	0.0165 W
Diode	0.002 A -	0.7 V	0.0007 W

4.2.4.2 Alimentation des composants

La figure 4.7 présente la source d'alimentation des composants. Nous avons utilisé une source d'alimentation externe 5V pour alimenter régulateur qu'il nous fournit une tension de 3.3V pour alimenter les deux microcontrôleurs STM32 et le module Ethernet ENC28J60. Les relais, quant à eux, sont alimentés indépendamment par une source d'alimentation externe de 24V.

**FIGURE 4.7 – Source d'alimentation des composants**

4.2.4.3 Schéma Synoptique

Ce schéma synoptique présenté dans la figure 4.8 illustre le protocole de communication entre les différents composants, y compris STM32 et les autres modules connectés. Il détaille les protocoles utilisés pour assurer une interaction fluide et efficace entre chaque élément du système.

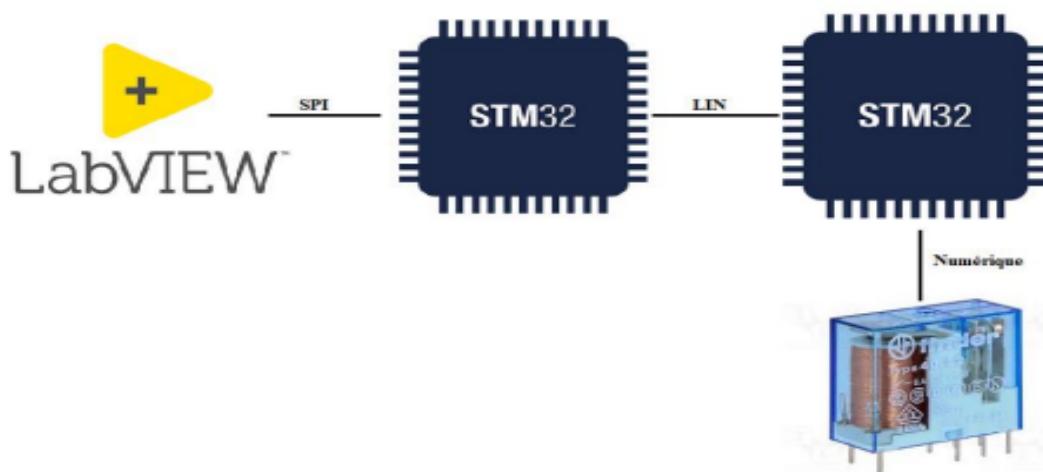


FIGURE 4.8 – Schéma synoptique

4.2.5 Schémas électriques

Notre système de commutation modulaire est constitué des éléments suivants :

4.2.6 Carte pilote

Comme mentionné dans les paragraphes précédents, notre carte pilote est composée de deux composants principaux : le MCU STM32F407VGT6 et le module Ethernet ENC28J60. Dans cette section, nous allons examiner le câblage entre ces deux composants ainsi que les différents blocs nécessaires pour assurer le bon fonctionnement de la carte pilote.

4.2.6.1 Block oscillateur

Le bloc oscillateur dans le STM32 est essentiel pour générer les horloges nécessaires au fonctionnement du microcontrôleur. Il permet de synchroniser les opérations internes du MCU ainsi que les communications avec les périphériques externes, comme le module Ethernet ENC28J60.

L'oscillateur peut être configuré pour utiliser une source d'horloge interne ou externe, offrant ainsi une flexibilité en termes de précision et de consommation d'énergie.

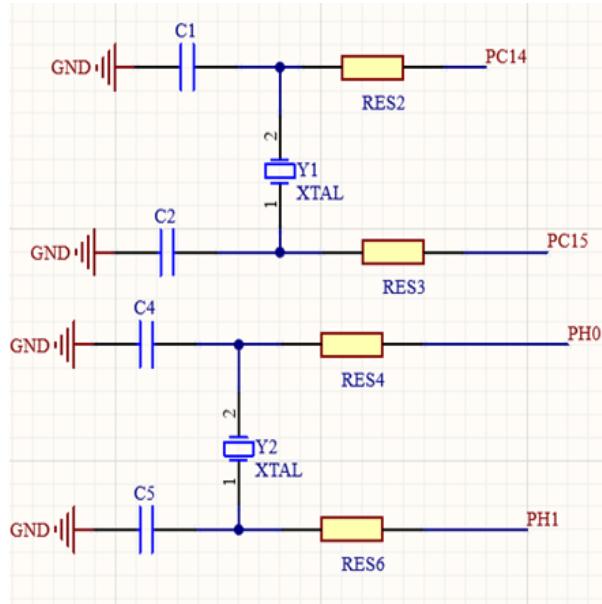


FIGURE 4.9 – Block oscillateur

4.2.6.2 Block d'alimentation

Le bloc d'alimentation est crucial pour assurer que tous les composants de la carte pilote, y compris le MCU STM32F407VGT6 et le module Ethernet ENC28J60, reçoivent les tensions et courants appropriés pour leur fonctionnement. Ce bloc convertit la tension d'entrée en tension nécessaire pour alimenter chaque composant.

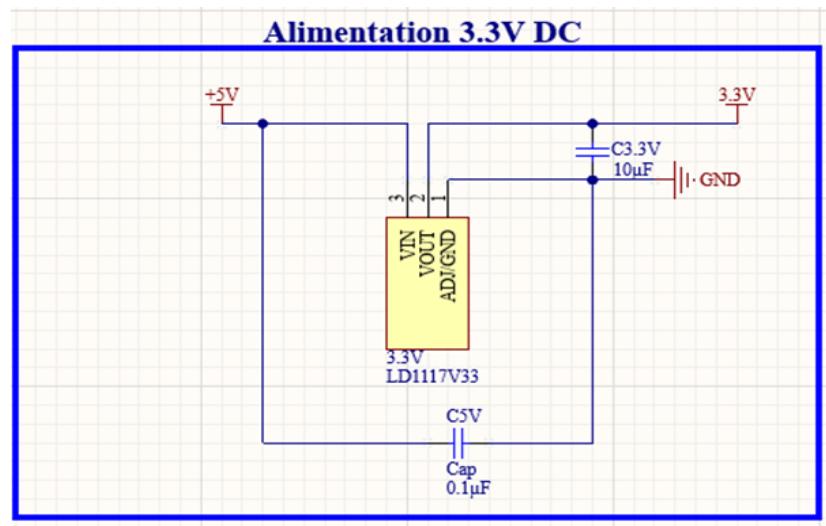


FIGURE 4.10 – Block d'alimentation

4.2.6.3 Block stlink

Le bloc STLink est un module intégré ou externe qui permet de programmer, de déboguer et de tester le microcontrôleur STM32 directement depuis un ordinateur. Il sert d'interface entre le microcontrôleur et l'environnement de développement (IDE) utilisé pour écrire et charger le code sur le MCU.

Ce bloc est essentiel pour le développement et la maintenance du firmware, facilitant l'accès aux registres internes du microcontrôleur, le dépannage en temps réel, et la mise à jour du code.

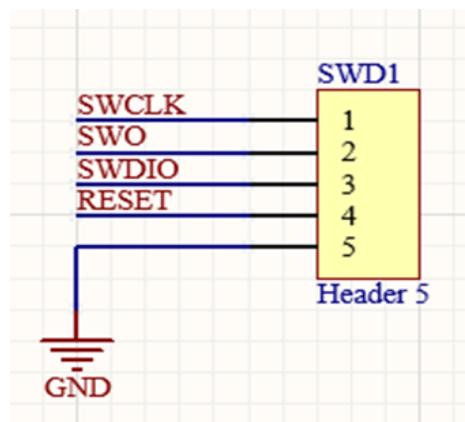


FIGURE 4.11 – Block stlink

4.2.6.4 Module Ethernet ENC28J60

Le choix de l'interface SPI pour relier le STM32 à l'ENC28J60 s'est avéré judicieux en raison de sa simplicité d'implémentation et de sa rapidité. Le schéma électrique détaillé, présenté par les deux figures 4.12 et 4.13 , montrent comment les différentes broches (MOSI, MISO, SCK, CS) ont été connectées pour établir une communication série. Des résistances de pull-up ont été ajoutées sur certaines lignes, conformément aux recommandations du fabricant, afin d'assurer un fonctionnement stable.

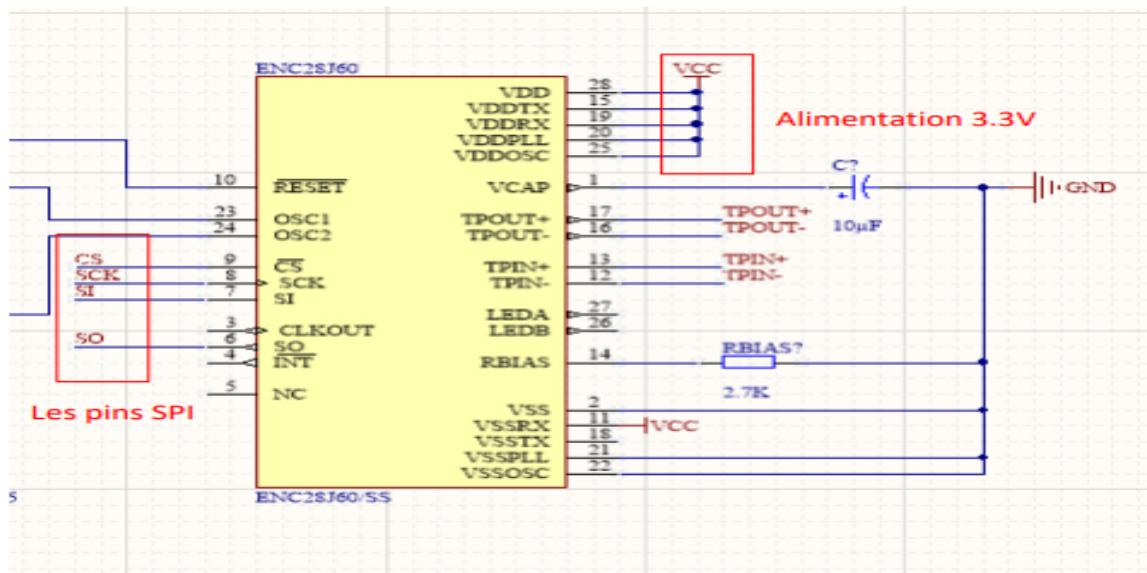


FIGURE 4.12 – Pins SPI part ENC28J60

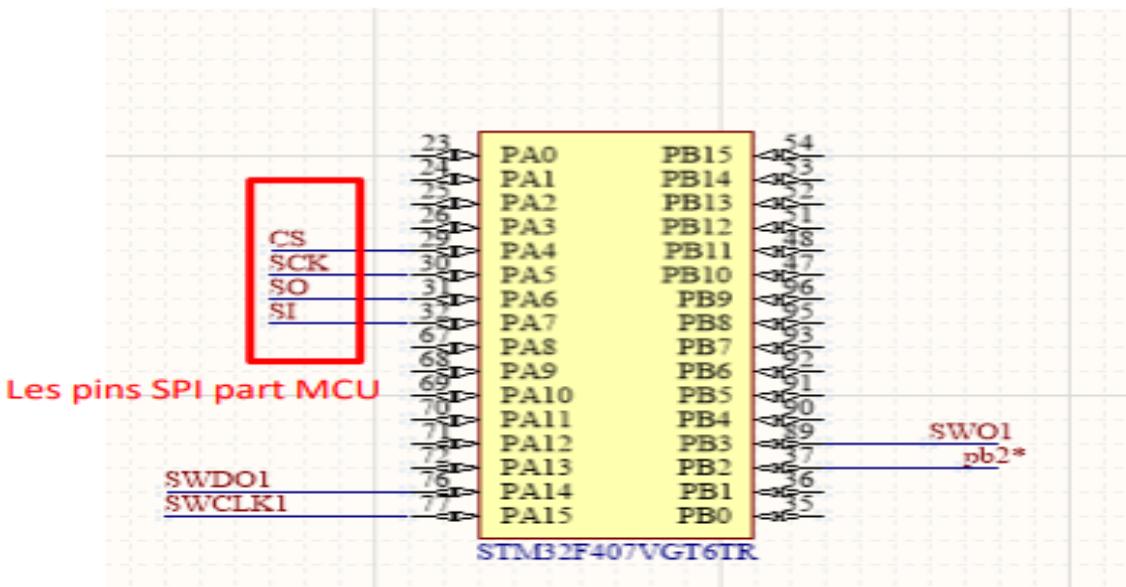


FIGURE 4.13 – pins SPI MCU

Nous avons identifié et configuré les broches SPI du microcontrôleur STM32F407VGT6 en nous référant scrupuleusement à la documentation technique fournie par le fabricant. Nous avons choisi la broche PA4 comme signal de sélection de périphérique (chip select) afin de regrouper les quatre signaux SPI sur un même port GPIO du microcontrôleur STM32

4.2.6.5 Block oscillateur pour ENC28J60

Le bloc oscillateur de l'ENC28J60 est un élément essentiel qui fournit le signal d'horloge nécessaire au fonctionnement du module Ethernet.

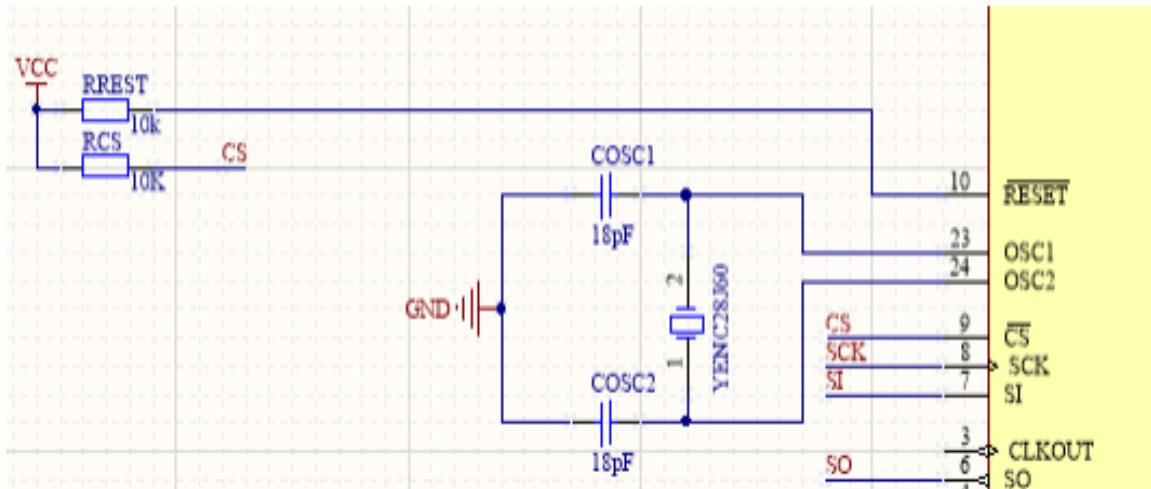


FIGURE 4.14 – Block oscillateur ENC28J60

Le module enc28j60 supporte une fréquence de fonctionnement varie jusqu'à 20MHz
Nous avons configuré le stm32f407vg pour fournir une fréquence de 9 MHz.

Ethernet Controller Features

- IEEE 802.3™ Compatible Ethernet Controller
- Fully Compatible with 10/100/1000Base-T Networks
- Integrated MAC and 10Base-T PHY
- Supports One 10Base-T Port with Automatic Polarity Detection and Correction
- Supports Full and Half-Duplex modes
- Programmable Automatic Retransmit on Collision
- Programmable Padding and CRC Generation
- Programmable Automatic Rejection of Erroneous Packets
- SPI Interface with Clock Speeds Up to 20 MHz

FIGURE 4.15 – Fréquence de fonctionnement pour ENC28J60

4.2.7 Port Ethernet RJ45

Nous avons intégré un port RJ45 pour assurer la connectivité physique du dispositif au réseau Ethernet, facilitant ainsi les échanges de données, le figure ci-dessous représente cette description.

Le port Ethernet se localise dans la face avant du boîtier qui porte notre carte de commutation c'est pour cela Nous avons juste préparer les pins de RJ45 dans un header puis dans la phase finale de finalisation de notre système on a fait le câblage de deux composants.

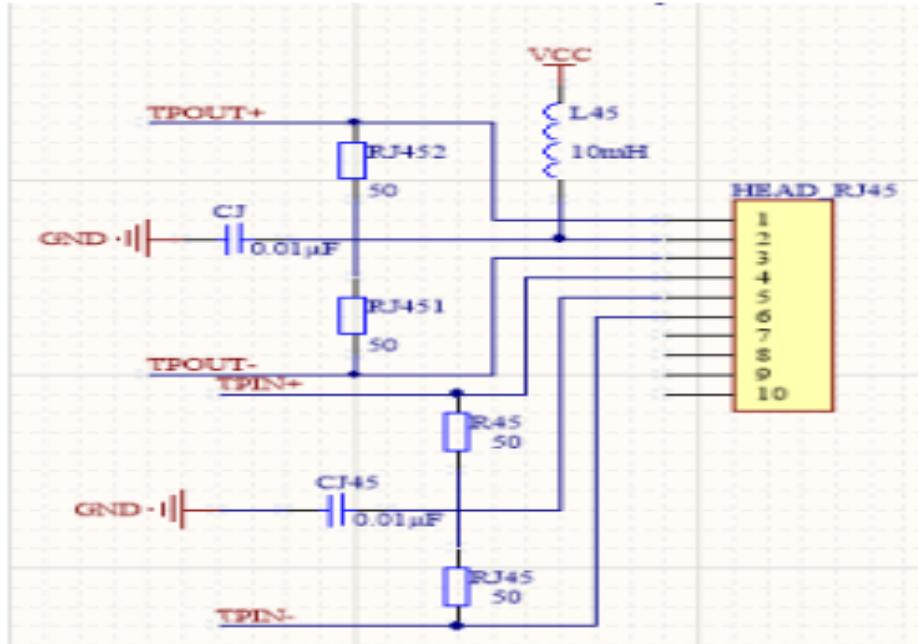


FIGURE 4.16 – port Ethernet RJ45

4.2.7.1 Conception de la carte MUX

la carte MUX se compose d'un MCU STM32F407VGT6 et une matrice des relais qui sert la commutation électrique des signaux. La phase de conception de ce microcontrôleur est la même que le mcu de carte pilote c'est pour cela on va ignorer cette étape , et on passe directement vers la description de conception de matrice a relais.

comme nous avons annoncé dans des paragraphes précédentes nous avons entamés d'utiliser une topologie de commutation série cette figure ci-dessous représente cette topologie

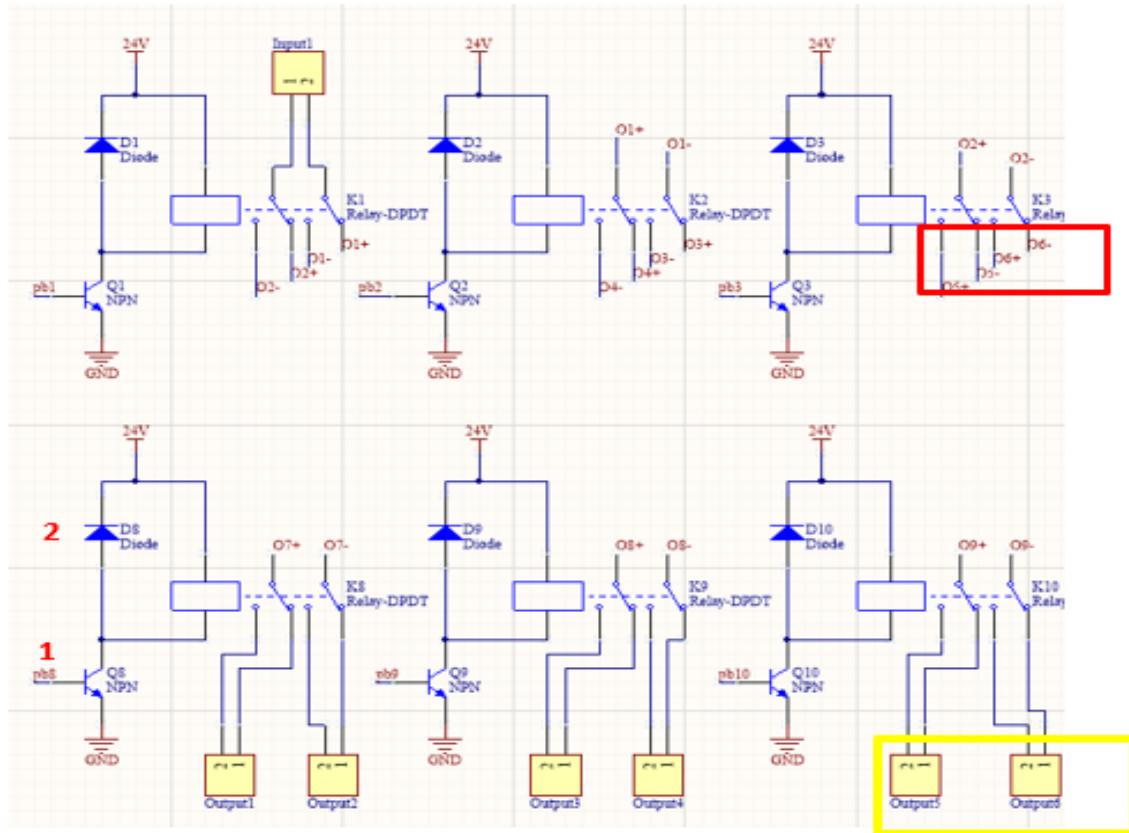


FIGURE 4.17 – Topologie de commutation série

Chaque relais va être câblé avec celle successive en série chaque sortie va être l'entrée de nouveau relais

La commande d'un relais est assuré par des transistors la commande est assurée par la base suivant un signal reçu par l'un des pins de microcontrôleur

L'objectif principal de cette matrice est d'effectuer la commutation entre un point de test et un instrument de mesure. Dans notre topologie, la matrice offre une entrée et 16 sorties. Les cases jaunes représentent les points de connexion pour les entrées et les sorties.

Chaque relais est entouré par un système de protection en se basant sur une diode de roue libre.

4.2.7.2 Protection du système

La diode de roue libre est nécessaire pour protéger contre une surtension lors de l'ouverture d'une charge inductive. Cela est le cas lorsqu'on pilote des relais : la diode de roue libre permet la continuité du courant dans la bobine du relais et évite toute surtension aux bornes du transistor

qui pilote cette bobine.

La diode de roue libre se connecte en parallèle avec une charge inductive pour assurer la continuité du courant électrique dans l'inductance.

Lorsqu'on pilote une inductance par un transistor (qui marche en tout ou rien, comme un interrupteur), du courant passe dedans. Et à l'ouverture du transistor, il faut que le courant puisse continuer à circuler : il faut assurer la continuité du courant.

4.2.7.3 Extensions : Boot , Reset Button ,Wake up User

Dans notre conception, nous avons inséré des extensions importantes pour garantir le bon fonctionnement de système tel que :

BOOT : Le boot mode dans les microcontrôleurs STM32, notamment le STM32F407VGT6, permet de définir à partir de quelle mémoire l'appareil va démarrer après un redémarrage ou un reset. Ces microcontrôleurs offrent plusieurs options de démarrage, et le choix du mode de démarrage se fait via les broches BOOT0 et BOOT1, qui déterminent la source de démarrage[9].

Ce tableau décrit la configuration de ce mode

Boot mode selection pins		Boot mode	Aliasing
Boot 1	Boot 0		
x	0	Main flash memory	Main flash memory is selected as the boot space
0	1	System memory	System memory is selected as the boot space
1	1	Embedded SRAM	Embedded SRAM is selected as the boot space

TABLE 4.2 – Extension Boot

Les broches BOOT1 et BOOT0 sont dessinées comme suit :

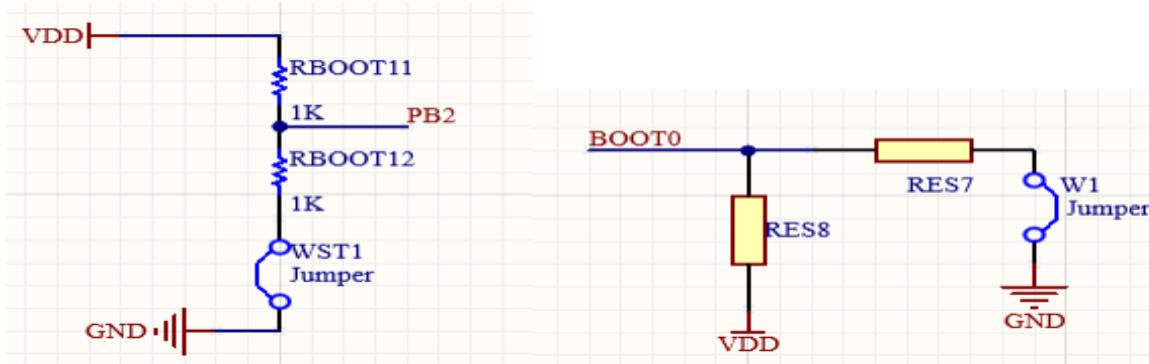


FIGURE 4.18 – Boot1 et Boot0

4.2.7.4 RESET BUTTON :

Le bouton de réinitialisation (RESET) est un bouton physique sur une carte électronique ou un dispositif qui, lorsqu'il est pressé, redémarre immédiatement le microcontrôleur ou le système sans couper l'alimentation. Cela permet de remettre le système dans son état initial, souvent utilisé pour réinitialiser l'exécution d'un programme ou résoudre un dysfonctionnement sans avoir à éteindre complètement l'appareil.

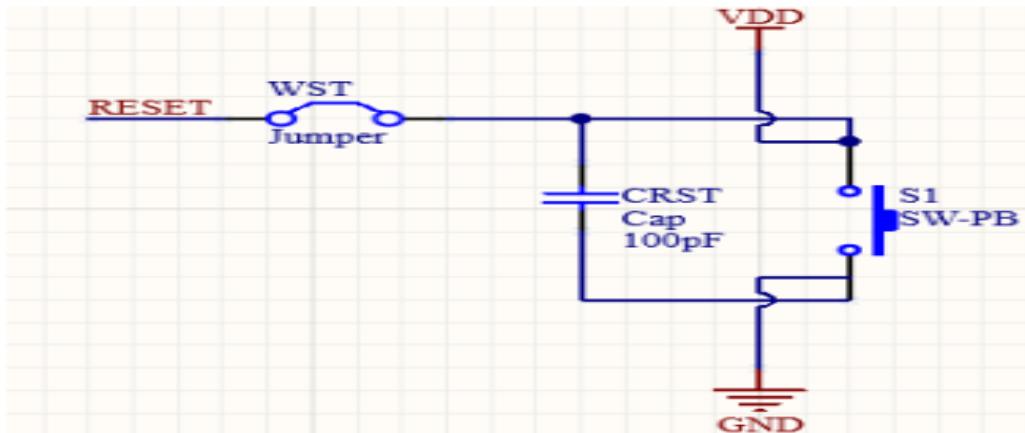


FIGURE 4.19 – Reset Button

Nous avons ajouté un bouton poussoir supplémentaire qui offre la possibilité de l'utiliser dans des applications nécessitant la présence d'un bouton poussoir.

4.2.8 Simulation du système

En 1er lieu on va lancer notre interface LabVIEW pour envoyer les commandes vers notre système de commutation

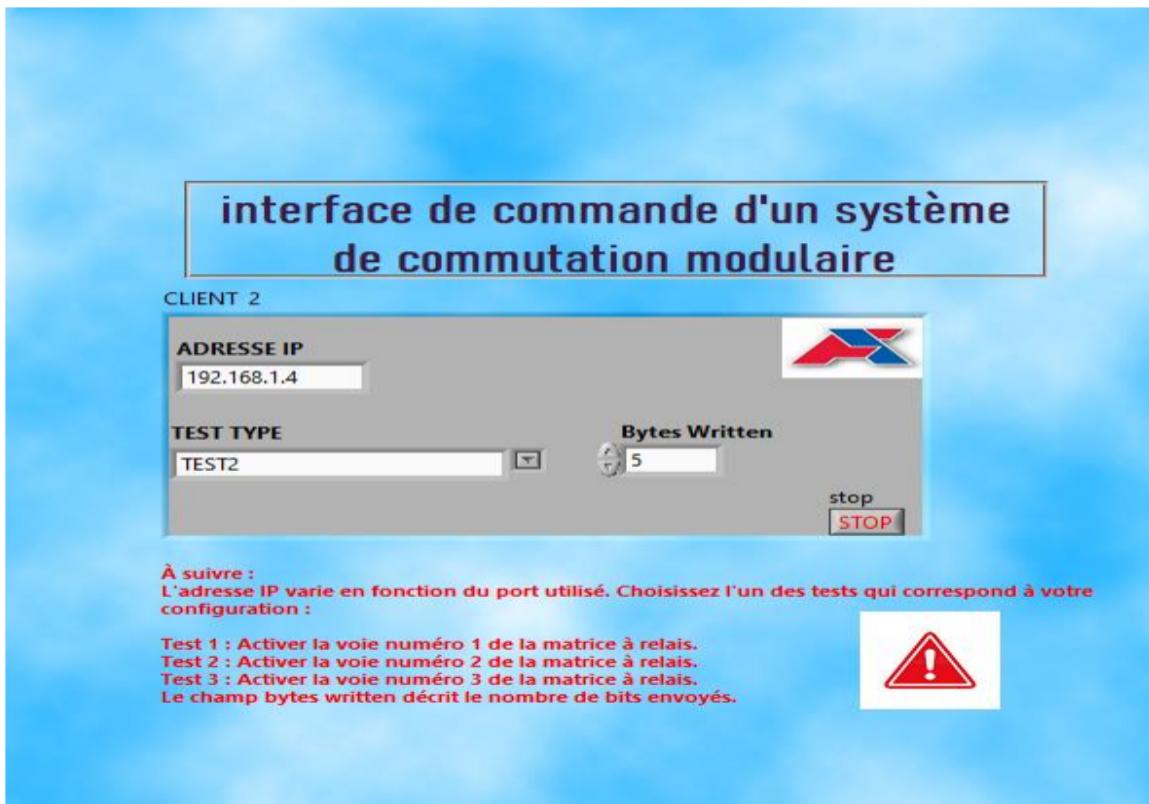


FIGURE 4.20 – vue front panel

Pour lancer l'opération de transmission des données, une étape primordiale doit être réalisée : l'établissement de la connexion entre le PC et le module Ethernet. Cela passe par la validation de l'adresse IP et l'utilisation de la commande ping pour vérifier la communication entre les deux dispositifs. La figure 4.26 montre la réussite de connexion entre les 2 périphériques

```
C:\Users\descart_98>ping 192.168.1.108
Envoi d'une requête 'Ping' 192.168.1.108 avec 32 octets de données :
Réponse de 192.168.1.108 : octets=32 temps<1ms TTL=128

Statistiques Ping pour 192.168.1.108:
    Paquets : envoyés = 4, reçus = 4, perdus = 0 (perte 0%),
    Durée approximative des boucles en millisecondes :
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Moyenne = 0ms
C:\Users\descart_98>
```

FIGURE 4.21 – invite commande

Nous avons utilisé l'application hercules pot vérifier la bonne connexion entre les deux dispositifs.

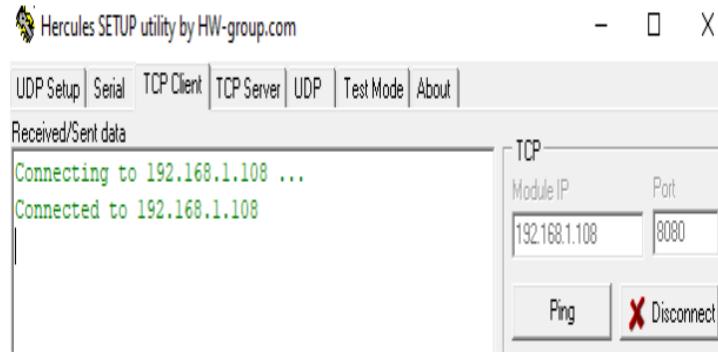
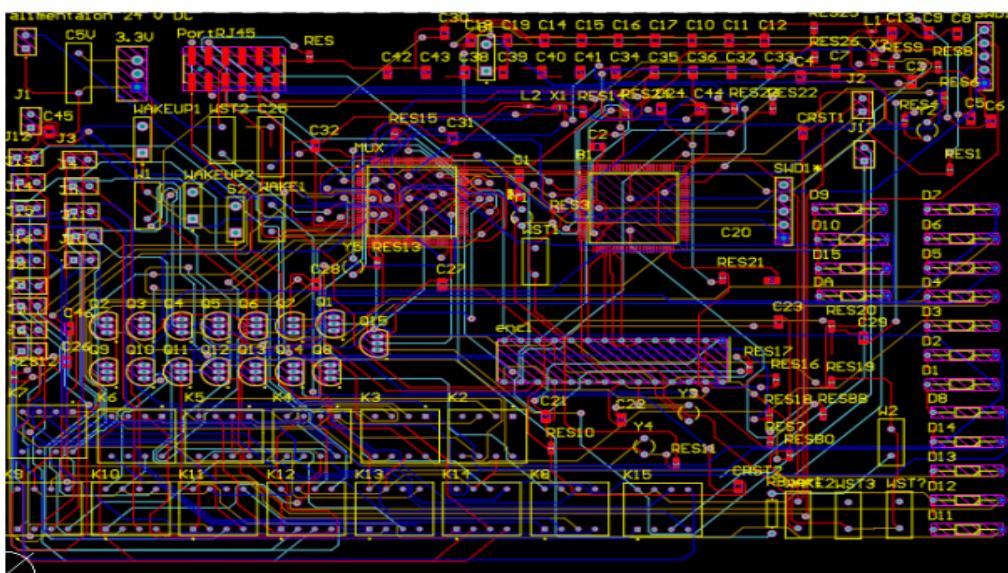


FIGURE 4.22 – Connexion entre les deux dispositifs

Pour vérifier le code développé dans l'environnement de programmation Keil µVision, nous avons simulé notre projet sur la carte de développement STM32 Discovery.

4.2.9 Routage de la carte

La tâche de routage consiste à transférer le schématique de la carte sur un circuit imprimé (PCB) afin de connecter tous les composants. Cette étape permet d'organiser manuellement tous les composants de manière à ce que la conception soit claire et esthétiquement présentable. Nous avons ajusté les configurations des pistes de routage, des trous de perçage et des pastilles pour les adapter aux exigences spécifiques de la carte. La figure 4.25 montre le routage de la carte.



Vue 3D du PCB : Le logiciel Altim designer offre également une vue 3D pour le design de notre circuit imprimé, les figures 4.24 et 4.25 présentent le résultat de la conception

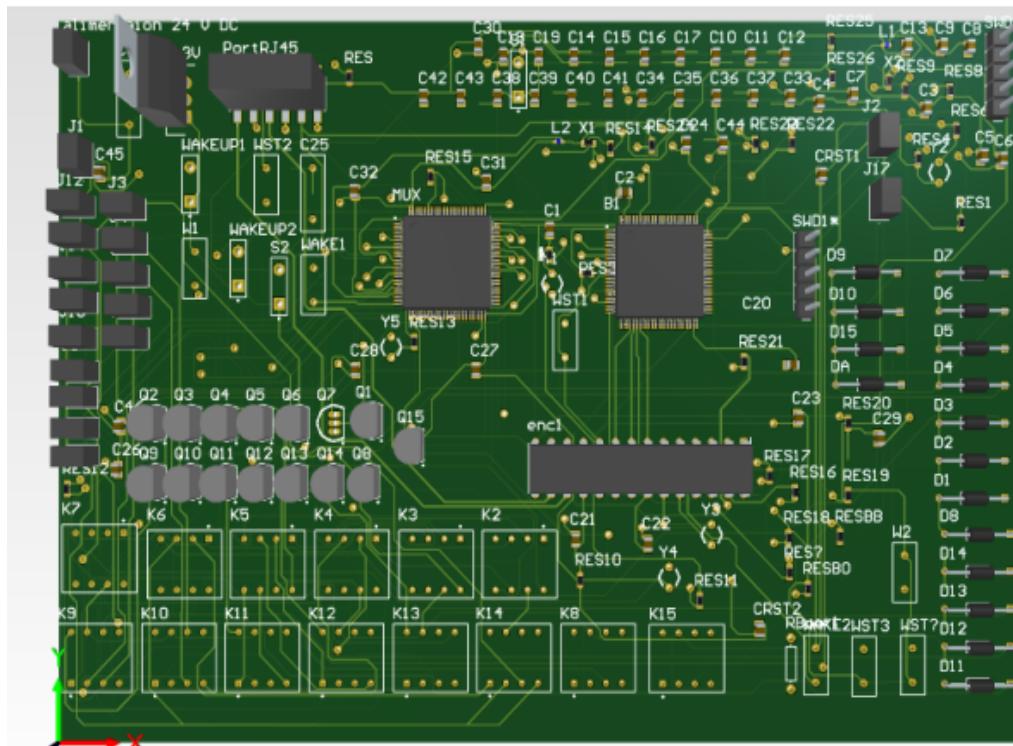


FIGURE 4.24 – Vue 3D de la PCB : Top Layer

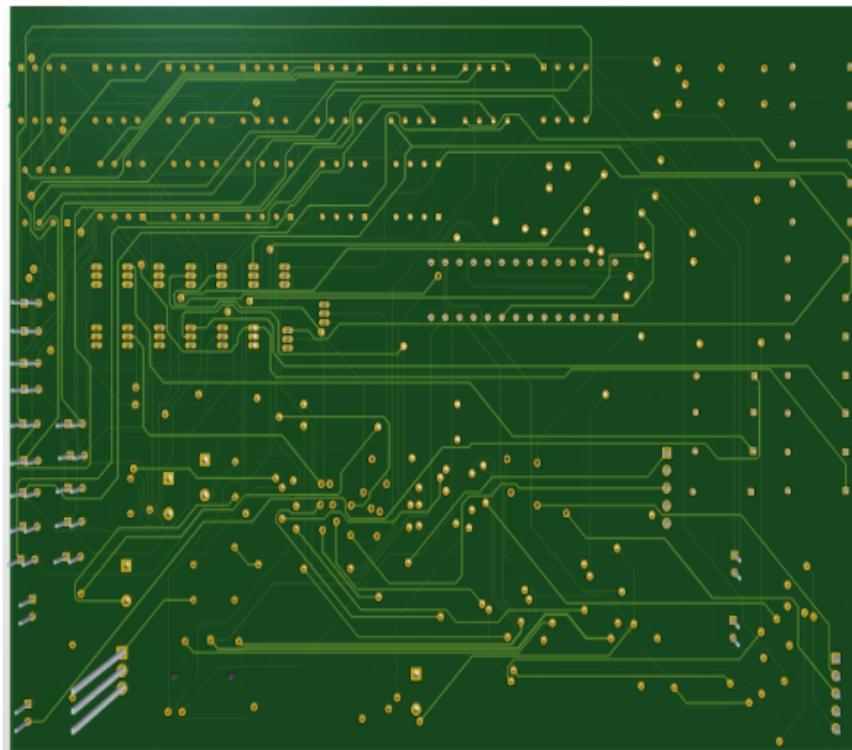


FIGURE 4.25 – Vue 3D de la PCB : Bottom Layer

4.3 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de poser les bases essentielles du projet en abordant à la fois la partie informatique et la partie électronique. Nous avons d'abord détaillé l'interface graphique et les choix de communication, avant de passer à la conception des circuits nécessaires. Ces étapes sont cruciales pour assurer le bon fonctionnement et l'interaction harmonieuse entre les différents éléments du système de commutation modulaire. Cette approche intégrée nous permet de construire un système fiable et performant répondant aux exigences du projet.

CONCLUSION GÉNÉRALE

En conclusion, le développement de notre système de commutation modulaire a permis de concevoir une solution polyvalente et flexible pour la gestion et la commutation de signaux électriques et électroniques. Grâce à une architecture modulaire, le système peut être adapté à différents besoins d'application, offrant des avantages en termes de stabilité, d'efficacité et de facilité la maintenance. L'intégration réussie des aspects matériels et logiciels, notamment la gestion via des interfaces de communication comme TCP et SPI, a permis de créer un système robuste et réactif.

Les perspectives d'amélioration pour ce système incluent plusieurs axes :

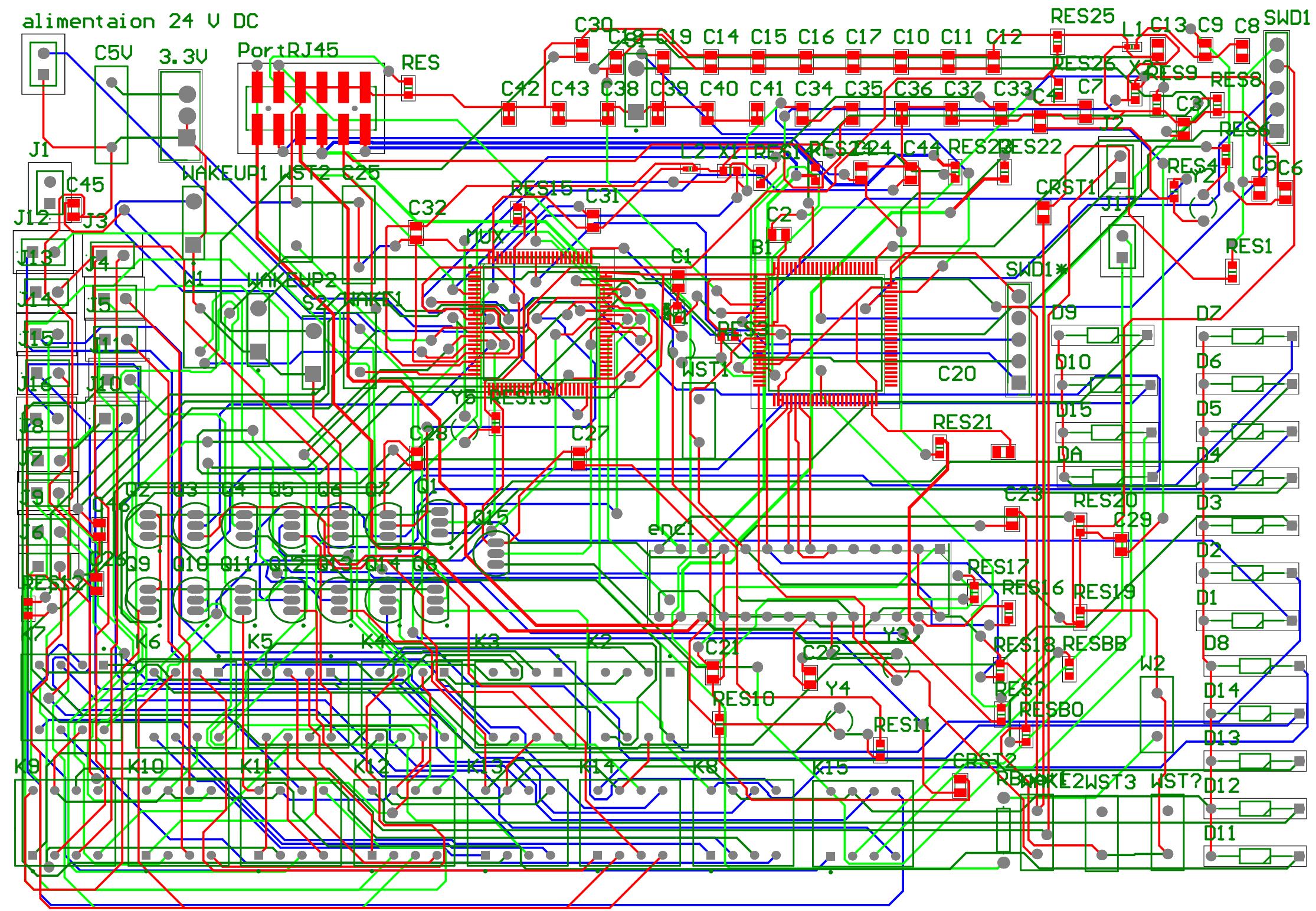
- Optimisation des performances : L'intégration de composants plus rapides ou de technologies avancées pourrait améliorer la réactivité et la capacité de traitement du système.
- Extension des fonctionnalités : Ajouter de nouvelles interfaces de communication ou des modes de commutation plus sophistiqués permettrait d'élargir les champs d'application.
- Automatisation et intelligence : L'incorporation d'algorithmes de contrôle automatisé ou de capacités d'intelligence artificielle pourrait rendre le système plus autonome et adaptable aux environnements dynamiques.
- Fiabilité et sécurité : Le renforcement des mécanismes de sécurité et la redondance dans les circuits critiques pourraient garantir une meilleure fiabilité pour les applications industrielles à haute exigence.

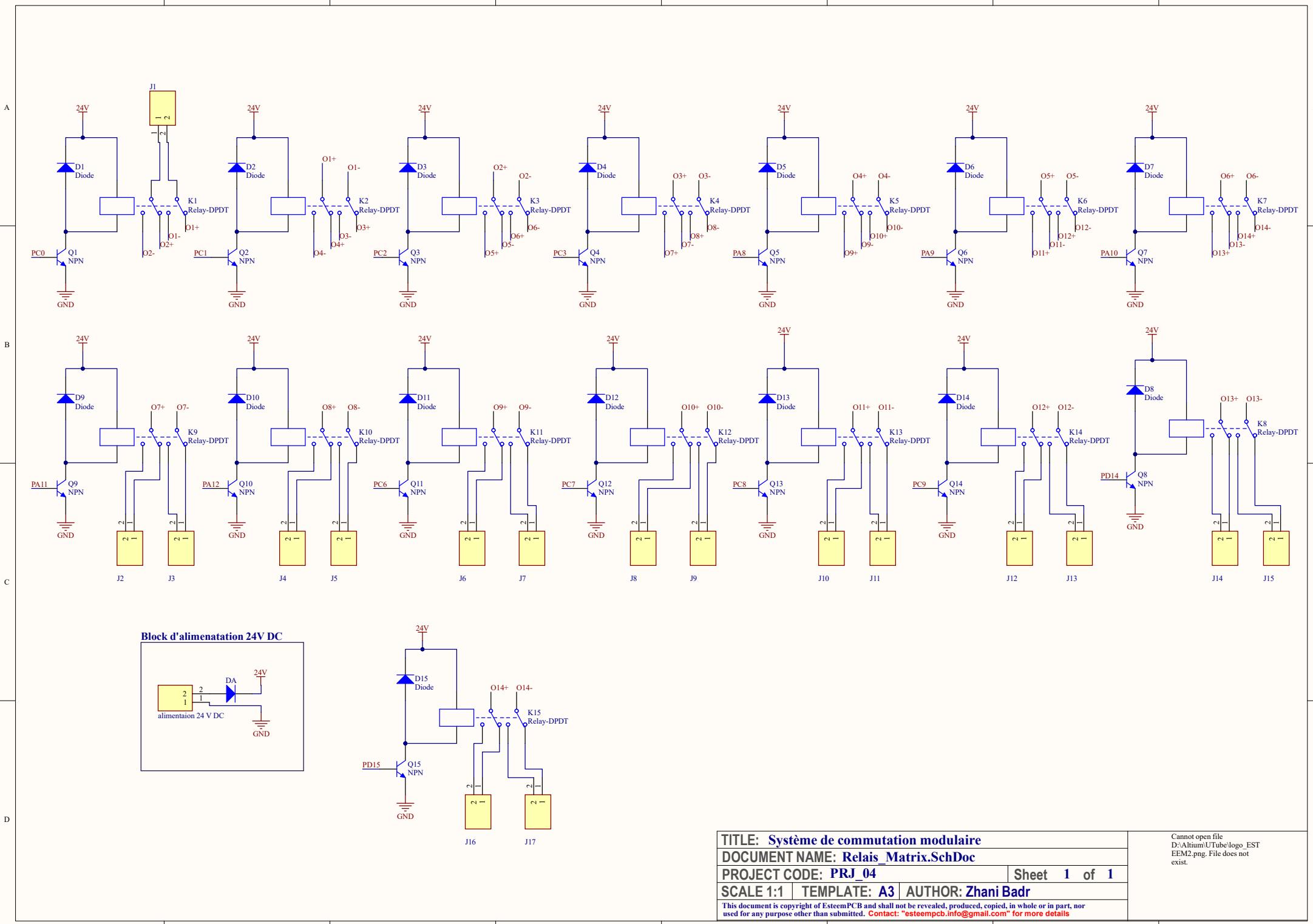
En poursuivant ces développements, notre système de commutation modulaire pourra répondre à des besoins encore plus diversifiés, tout en améliorant ses performances et sa robustesse dans des environnements complexes.

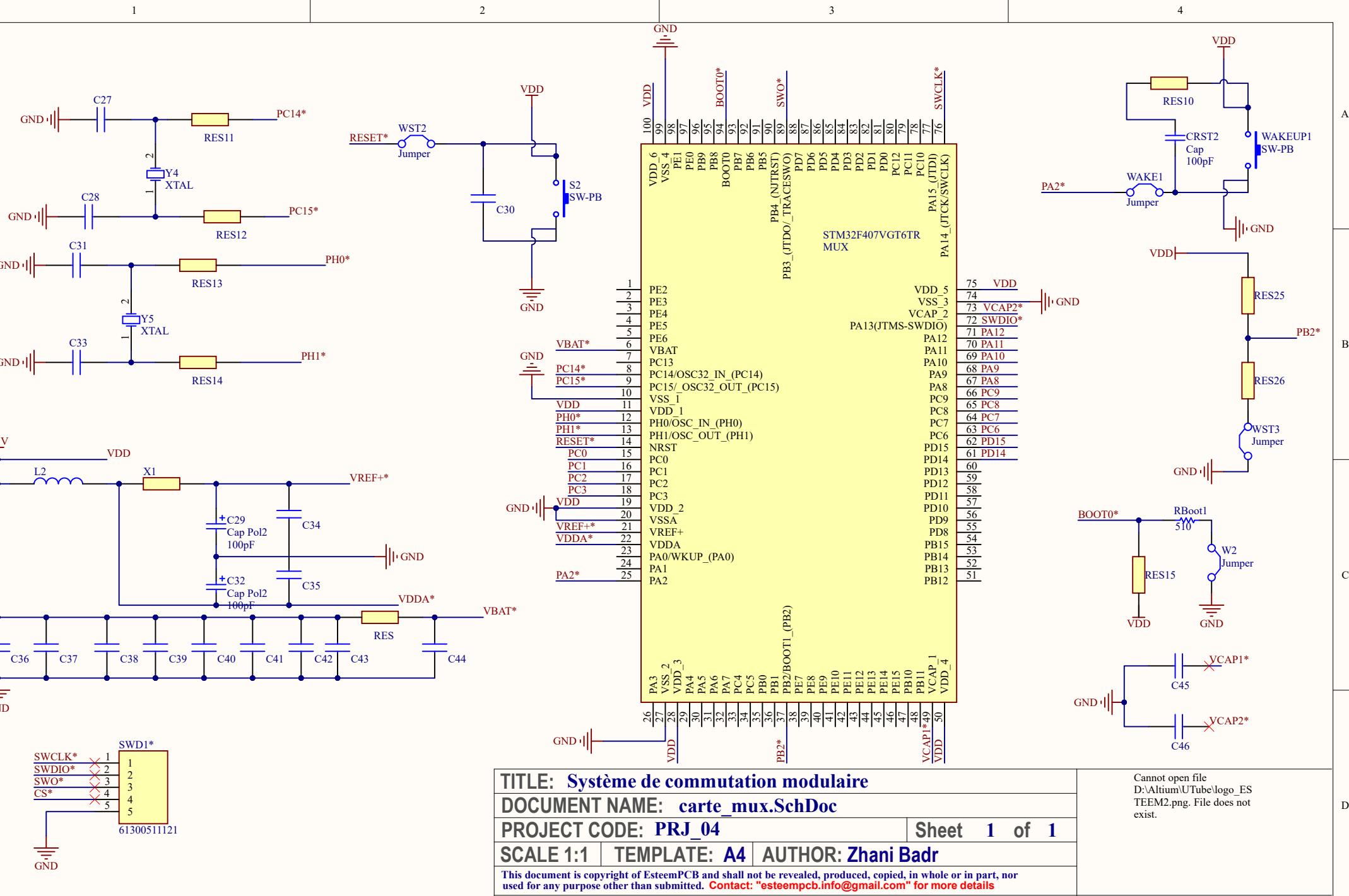
Netographie

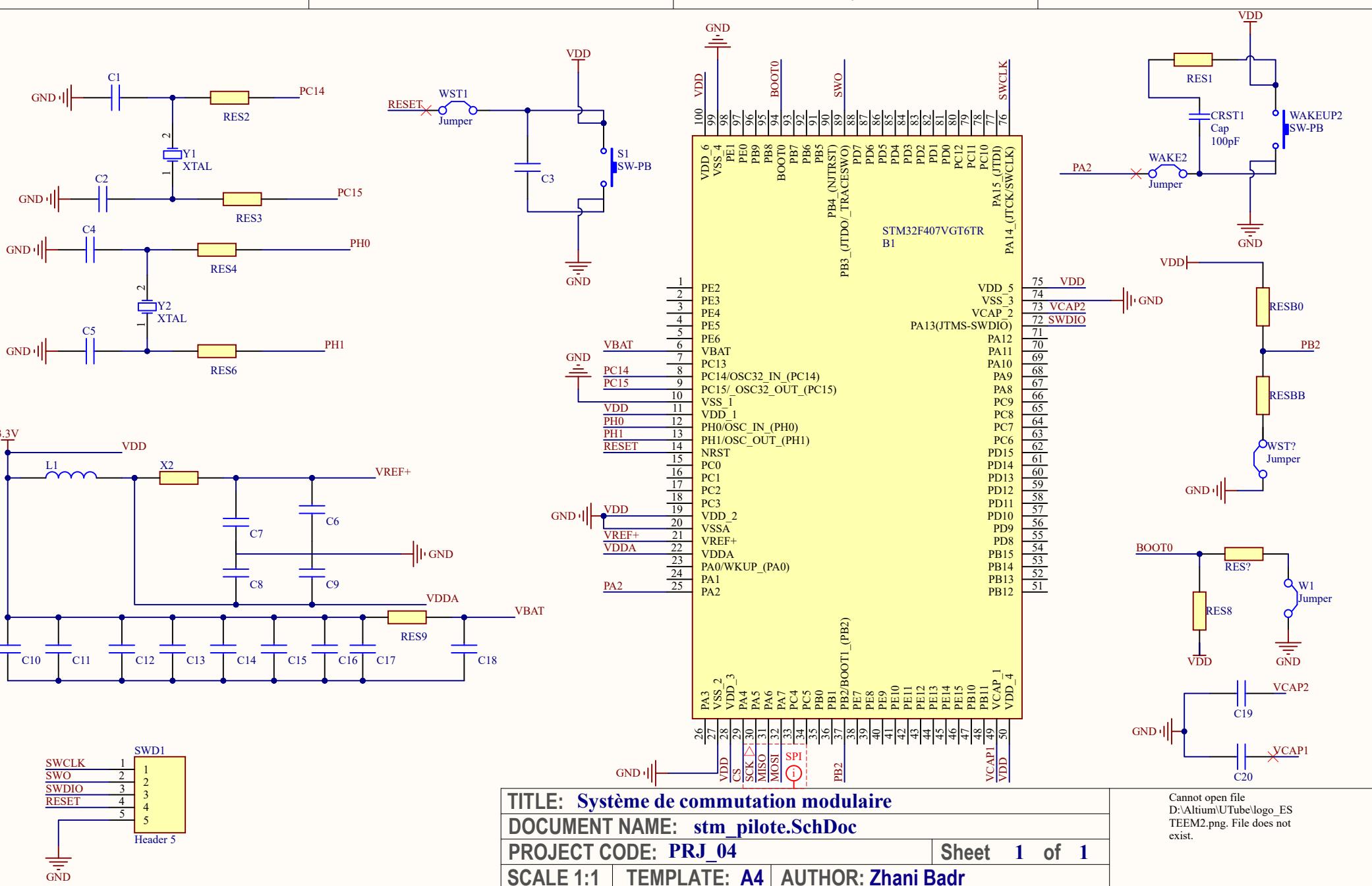
- [1] **Mouser Electronics** <https://eu.mouser.com/> (visité le 05/05/2024)
- [2] **Snap EDA** <https://www.snapeda.com/> (visité le 12/04/2024)
- [3] **Ultra Librarian** <https://www.ultralibrarian.com/> (visité le 14/06/2024)
- [4] **microchip Technology** <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39662c.pdf>
(visité le 15/03/2024)
- [5] **Arm Keil** <https://www.keil.com/> (visité le 05/03/2024)
- [6] **All about circuits** <https://www.allaboutcircuits.com/> (visité le 20/06/2024)
- [7] **circuit digest** <https://circuitdigest.com/> (visité le 25/06/2024)
- [8] **Altium Support** <https://www.altium.com/fr/support> (visité le 07/05/2024)
- [9] **ST community** <https://community.st.com/> (visité le 05/04/2024)
- [10] **National instruments** <https://www.ni.com/en/support/documentation/supplemental/06/basic-tcp-ip-communication-in-labview.html> (visité le 1/04/2024)
- [11] **Wikipedia** https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_en_V (visité le 22/02/2024)

ANNEXES









TITLE: Système de commutation modulaire

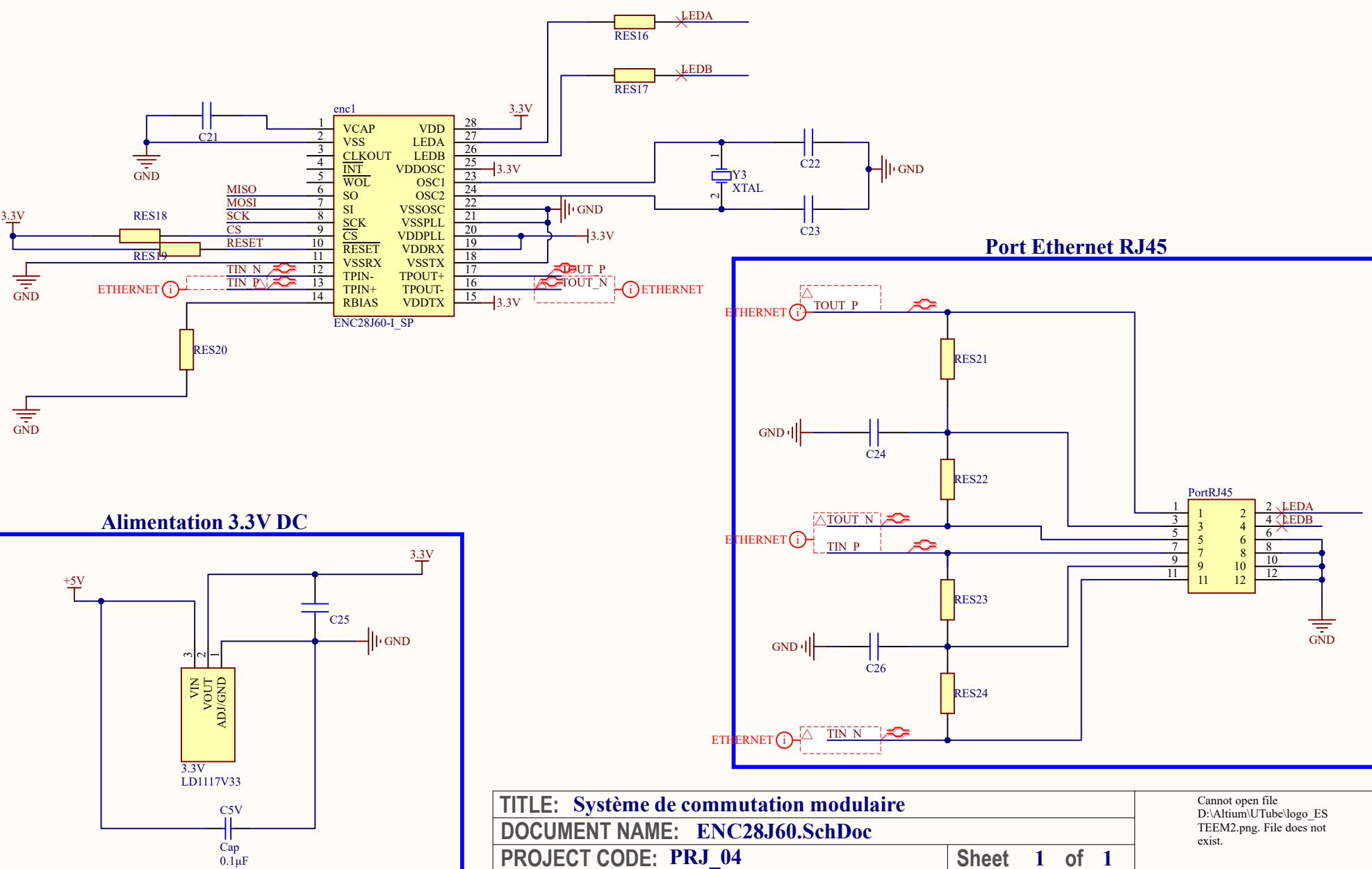
DOCUMENT NAME: stm pilote.SchDoc

PROJECT CODE: PRJ 04

SCALE 1:1 TEMPLATE: A4 AUTHOR: Zhani Badr

This document is copyright of EsteemPCB and shall not be revealed, produced, copied, in whole or in part, nor used for any purpose other than submitted. Contact: "esteempcb.info@gmail.com" for more details

Cannot open file
D:\Altium\UTube\logo_ES
TEEM2.png. File does not
exist.



TITLE: Système de commutation modulaire

DOCUMENT NAME: ENC28J60.SchDoc

PROJECT CODE: PRJ_04

Sheet 1 of 1

SCALE 1:1 **TEMPLATE: A4** **AUTHOR: Zhani Badr**

This document is copyright of EsteemPCB and shall not be revealed, produced, copied, in whole or in part, nor used for any purpose other than submitted. Contact: "esteempcb.info@gmail.com" for more details

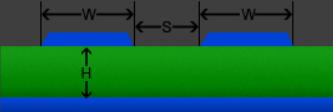
Cannot open file
D:\Altium\UTube\logo_ES
TEEM2.png. File does not
exist.

File Program Function Tools Help | Contact Saturn PCB Design, Inc.

Embedded Resistors Er Effective Fusing Current Mechanical Information Min Conductor Spacing Ohm's Law Padstack Calculator
 PDN Calculator Planar Inductors PPM-XTAL Calculator Thermal Management Via Properties Wavelength Calculator XL-XC Reactance
 Bandwidth & Max Conductor Length Conductor Impedance Conductor Properties Conversion Calculator Differential Pairs / XTALK

Differential Pairs

Conductor Width (W)	Target Zdiff	Differential Protocol
0,24 mm	100 Ohms	Ethernet
Conductor Spacing (S)	+/- Tolerance = 10%	
0,127 mm		
Conductor Height (H)	Target Zdiff Plus	Send to Via Calculator
0,381 mm	112,500 Ohms	Zdifferential
Applied Voltage	Target Zdiff Minus	100,005 Ohms
1 Volts	87,500 Ohms	Zo
Coupled Length	Formula Restrictions:	76,756 Ohms
2,54 mm	0.1 < W/H < 3.0	Zodd
Signal Risetime	0.1 < S/H < 3.0	50,003 Ohms
1 ns		Zeven
		117,824 Ohms
	Kb (Term)	Kb' (Unterm)
	0,2111	0,4041
	dB	dB
	-13,512	-7,870
	NEXT Voltage	NEXT Voltage
	0,0064 V	0,0123 V



Options

Base Copper Weight	Units
9um	Imperial
18um	Metric
35um	
53um	
70um	
88um	
106um	
142um	
178um	
Plating Thickness	
Bare PCB	
18um	
35um	
53um	
70um	
88um	
106um	
Substrate Options	
Material Selection	FR-4 STD
Er	Tg (°C)
4,6	130
Temp Rise (°C)	20
Temp in (°F) = 36,0	
Ambient Temp (°C)	22
Temp in (°F) = 71,6	

Information

Total Copper Thickness 70 um
 W/H = 0,630
 S/H = 0,333
 Lsat = 83,68 mm

SATURN PCB DESIGN, INC Follow Us: Facebook, LinkedIn, YouTube

Print Solve!

Annexe : Détermination de la largeur du conducteur via PCB Tools

20	J9	29	40	N4	50	PA4	I/O	TTa	(5)	SPI1_NSS / SPI3_NSS / USART2_CK / DCMI_HSYNC / OTG_HS_SOF / I2S3_WS / EVENTOUT	ADC12_IN4 /DAC_OUT1
21	G8	30	41	P4	51	PA5	I/O	TTa	(5)	SPI1_SCK / OTG_HS_ULPI_CK / TIM2_CH1_ETR / TIM8_CH1N / EVENTOUT	ADC12_IN5/DAC_OUT2
22	H8	31	42	P3	52	PA6	I/O	FT	(5)	SPI1_MISO / TIM8_BKIN/TIM13_CH1 / DCMI_PIXCLK / TIM3_CH1 / TIM1_BKIN / EVENTOUT	ADC12_IN6
23	J8	32	43	R3	53	PA7	I/O	FT	(5)	SPI1_MOSI / TIM8_CH1N / TIM14_CH1/TIM3_CH2 / ETH_MII_RX_DV / TIM1_CH1N / ETH_RMII_CRS_DV / EVENTOUT	ADC12_IN7

Annexe : Identification des broches SPI à partir de la datasheet du STM32F407VG

Saturn PCB Design, Inc. - PCB Toolkit V8.39 - www.saturnpcb.com

File Program Function Tools Help | Contact Saturn PCB Design, Inc.

Embedded Resistors Er Effective Fusing Current Mechanical Information Min Co
PDN Calculator Planar Inductors PPM-XTAL Calculator Thermal Management Via P
Bandwidth & Max Conductor Length Conductor Impedance Conductor Properties

Conductor Characteristics

Solve For: Amperage (selected) Plane Present?: No (selected)
Conductor Width: 0,24 mm

Parallel Conductors?: No (selected)

Load Current: 4 Amps (highlighted with a red box)

Conductor Length: 25,4 mm

PCB Thickness: 1,5748 mm

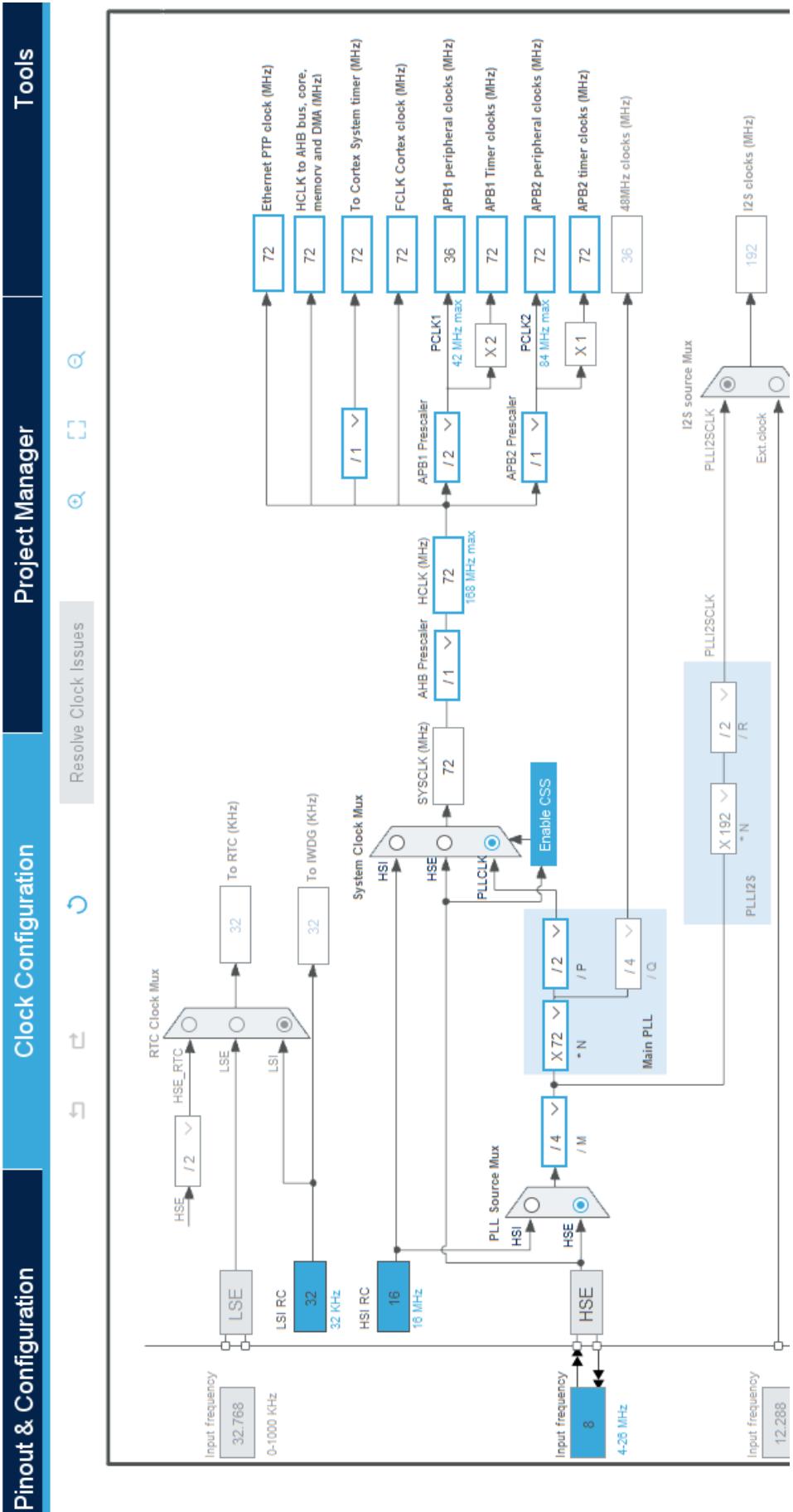
Frequency: 1 MHz DC

IPC-2152 with modifiers mode Etch Factor: 2:1

Skin Depth: 66,00620 um	Power Dissipation: 0,09004 Watts	Conductor DC Resistance: 0,03835 Ohms
Skin Depth Percentage: 100%	Power Dissipation in dBm: 19,5444 dBm	Conductor Cross Section: 0,0143 Sq.mm
Loaded Voltage Drop: 0,1534 Volts	Voltage Drop: 0,0588 Volts	Conductor Current: 1,5323 Amps

 Follow Us

Annexe : Vérification des propriétés du conducteur à l'aide de PCB Tools



Annexe : Configuration Horloge

ANNEXES
