



Rapport de Stage Ouvrier

Génie Electrique, Electronique et Télécommunications

Conception de systèmes électroniques :

Mesureur de distances et DéTECTEUR d'incendie

Auteurs:

Fatima KITCH

Adam EL MEZIANE

Encadrant:

Mr. Ahmed Salim LACHK

Table des matières

Table des matières	1
Remerciements	3
Résumé	4
Liste des Sigles	5
Liste des figures	6
Introduction	7
Chapitre 1 Présentation de l'organisme	8
1 Forges de Bazas	9
1.1 Présentation	9
1.2 Historique	10
1.3 Missions et Activités	11
1.4 Valeurs	12
1.5 Organigramme	13
2 Secteur de la manutention	14
2.1 Importance de la manutention industrielle	14
2.2 Principaux clients (Toyota, Sany Group, BT)	15
2.3 Enjeux logistiques des entrepôts et chantiers	16
3 Solutions proposées par Forges de Bazas	17
3.1 Vente et location d'équipements	17
3.2 Gamme de chariots et lifts	18
Chapitre 2 Déroulement de Stage	19
1 Mission du stage	20
2 Planification du projet	21
3 Interactions avec l'équipe de Forges de Bazas	22
Chapitre 3 Conception des Systèmes	23
1 Etude de besoins	24
1.1 Spécifications techniques	24
1.2 Applications entrepôt	25
2 Outil utilisé : KiCad	27
2.1 Comparaison des outils	27
2.2 Présentation de KiCad	28
3 Conception des circuits imprimés (PCB)	30

3.1	Mesureur de distances.....	30
3.2	Détecteur d'incendie	49
4	Considérations sur la Réalisation du Projet	55
4.1	Contraintes de Connaissances et d'Expérience.....	55
4.2	Analyse des Coûts et de la Faisabilité.....	55
4.3	<i>Décision Finale sur la Réalisation du Projet</i>	57
	Chapitre 4 Conclusion.....	58
1	Résultats au regard des objectifs.....	59
2	Difficultés rencontrées	60
3	Bilan et apports du stage	61
4	Perspectives et recommandations	62
	Bibliographie.....	63

Remerciements

Nous tenons à remercier :

- **Mr. Ahmed Salim LACHKAR** notre encadrant à Forges de Bazas, pour ses conseils, sa confiance pendant cette aventure, son encadrement de haut niveau, et l'intérêt particulier qu'il a porté à notre travail malgré ses préoccupations.
- **Mme Khadija SOLDI** pour son soutien et support ainsi que sa flexibilité durant notre projet, ses conseils étaient d'un grand aide durant cette nouvelle expérience.
- **Mr ABDEL'ALI RIFAI** ainsi que **Mme Mouna BENBRAHIM** sans qui ce stage n'aurait pas pu prendre lieu, leur recommandation nous ont ouvert les portes de ce projet qui a réellement haussé notre niveau dans le domaine.
- **Nos chers professeurs** pour leurs enseignements dont on a ressenti toutes l'applications en électroniques et en gestion de projet durant ce stage.

Résumé

Ce rapport résulte d'un stage d'observation d'une durée d'un mois à l'entreprise Forges de Bazas à Médiouna. L'objectif de ce stage était de nous familiariser avec le milieu professionnel et d'explorer le domaine de la conception électronique à travers la réalisation de projets dans le contexte d'amélioration de formation à l'entreprise.

Abstract

This report documents a one-month observational internship in the company Forges de Bazas in the city of Médiouna. The objective consisting in a familiarization with the professional environment and exploring the domain of electronic design through the realization of projects in the context of improving the training at the company.

Mots Clés :

Manutention – Electronique – Mesure de distance – Alarme Incendie – Conception Assisté par Ordinateur

Liste des Sigles

AH276 Référence du capteur à effet Hall

BP Bouton-Poussoir

CAO Conception Assistée par Ordinateur

CMOS Complementary Metal-Oxide Semiconductor

CTN Thermistance à Coefficient de Température Négatif

DRC Design Rule Check (Vérification des Règles de Conception)

FDB Forges de Bazas

IC Integrated Circuit (Circuit Intégré)

ILS Interrupteur à Lames Souple

IPC Institute for Printed Circuits (Normes pour les circuits imprimés)

IP Interrupteur de Programmation

KiCad Logiciel de Conception de Circuits Électroniques

PCB Printed Circuit Board (Circuit Imprimé)

RV Résistance Variable (Potentiomètre)

U1, U2, etc. Désignation des circuits intégrés dans les schémas

Liste des figures

Figure 1 : Logo de Forges de Bazas	9
Figure 2 : M. Jean-Luc Martinet, Président-Directeur Général AIXOR.....	10
Figure 3: Organigramme fourni par l'encadrant.....	13
Figure 4: Quelques clients de FDB	15
Figure 5: Bureaux locaux à l'enrepôt de Mediouna	20
Figure 6: Large entrepôt où le mesureur de distance peut être utilisé	25
Figure 7: Accumulateur hydraulique, bras d'engin à température nominale	26
Figure 8: Menu principal du logiciel KiCad	29
Figure 9: Schéma original du circuit.....	30
Figure 10: Alimentation	37
Figure 11: Circuit Capteur et lissage du signal	37
Figure 12: AH276 dans l'éditeur de symbole	38
Figure 13: Circuit d'oscillateur commandé.....	38
Figure 14: Circuit compteur programmé.....	39
Figure 15: Circuit compteurs distance totale	39
Figure 16: Circuit de comptage et décodage	40
Figure 17: Circuit de décodage	41
Figure 18: Circuit d'affichage	41
Figure 19: Afficheur vue 3D	41
Figure 20: Détection d'erreur sans diodes à la sortie.....	42
Figure 21: Plus d'erreur une fois les diodes rajoutées	42
Figure 22: Vue PCB avec les connections "net" en bleu.....	43
Figure 23: Pistes bleue et rouge s'intersectant sur le schéma, car elles sont sur des couches différentes	44
Figure 24: Via (en jaune) permettant la connection de pistes sur des couches différentes.....	45
Figure 25: Erreur de routage avec pins non connectés	46
Figure 26: Plus d'erreur une fois la connection faite.....	46
Figure 27: Menu des propriétés d'ajout de zone	47
Figure 28: Remplissage de la zone créée	48
Figure 29: Routage PCB final et vue 3D.....	48
Figure 30: Circuit base et alimentation	51
Figure 31: Circuit Thermistance	51
Figure 32: Circuit Buzzer	52
Figure 33: Liste des composants pour le mesureur de distances.....	55
Figure 34: Liste des composants pour le détecteur d'incendie	56
Figure 35: Contact mail avec un responsable JLPCB	57

Introduction

Le stage d'observation représente une étape cruciale dans la formation d'un futur ingénieur, permettant de découvrir l'environnement professionnel tout en appliquant les connaissances théoriques acquises. Ce rapport détaille le travail effectué durant un mois au sein de l'entreprise *Forges de Bazas*, située à Médiouna. L'objectif principal de ce stage était de nous familiariser avec le domaine de la conception électronique en contribuant à des projets liés à l'amélioration des processus internes de l'entreprise.

Tout au long de cette période, nous avons eu l'opportunité de nous immerger dans le secteur de la manutention industrielle, en particulier dans les solutions technologiques proposées par *Forges de Bazas* pour optimiser l'efficacité des entrepôts et chantiers. Notre mission a notamment consisté en la conception de systèmes de mesure de distance et de détection d'incendie, répondant aux besoins spécifiques du secteur.

Ce rapport est structuré de la manière suivante :

- **Une première partie consacrée à la présentation** de l'entreprise d'accueil et de ses activités.
- **Une seconde partie décrivant le déroulement du stage** et les projets menés.
- Enfin, **la troisième partie se focalise sur la conception** des systèmes électroniques développés, avant de conclure par une évaluation des résultats obtenus et des perspectives futures.

Chapitre 1

Présentation de l'organisme

Résumé. Ce chapitre démontre l'organisation de l'entreprise Forges de Bazas et ses principaux enjeux.

1 Forges de Bazas

1.1 Présentation

Forges de Bazas [1] est une entreprise marocaine leader dans le domaine de la manutention industrielle, fondée en 1950 par Francis Fenwick. Elle s'est rapidement imposée comme un acteur clé sur le marché marocain grâce à son expertise en équipements de levage et de construction, notamment les chariots élévateurs. Depuis plus de 30 ans, l'entreprise bénéficie de l'exclusivité en tant qu'importateur officiel des chariots élévateurs Toyota Forklift, ce qui lui confère une réputation solide en termes de qualité et de fiabilité.

En 2009, l'acquisition par le Groupe Aixor a permis à Forges de Bazas de renforcer sa position sur le marché marocain. Cette expansion a été poursuivie avec l'ajout de la marque SANY en 2019, spécialisée dans les engins de construction, élargissant ainsi leur portefeuille de produits. En 2020, Upline Group, une entité de la Banque Populaire du Maroc, a acquis Forges de Bazas, avec l'ambition de développer les activités de l'entreprise.

Forges de Bazas continue d'innover en fournissant des solutions adaptées aux besoins spécifiques de ses clients, notamment dans les secteurs de la logistique, des entrepôts, et des chantiers de construction. L'entreprise met également en avant son engagement social, comme l'illustrent ses actions lors du séisme de 2023, où elle a fait don d'équipements essentiels pour faciliter l'accès aux zones sinistrées.



Figure 1 : Logo de Forges de Bazas

1.2 Historique

Forges de Bazas [1] a été fondée en 1950 par Francis Fenwick, avec pour ambition de devenir la filiale marocaine de la marque leader dans la manutention industrielle. Dès ses débuts, l'entreprise s'est imposée comme le premier importateur de chariots élévateurs au Maroc. En collaborant étroitement avec Toyota, Forges de Bazas a réussi à s'établir comme l'importateur officiel et exclusif de Toyota Forklift depuis plus de 30 ans, gagnant une réputation inébranlable de sérieux et de professionnalisme.

Au fil des décennies, l'entreprise a su maintenir des standards de qualité élevés, ce qui lui a permis de devenir une référence dans le secteur de la manutention pour de nombreux professionnels au Maroc. En 2009, le Groupe Aixor, sous la direction de son président Jean-Luc Martinet, a pris le contrôle de Forges de Bazas. Ce rachat avait pour objectif de redonner à l'entreprise les moyens nécessaires pour reconquérir la position dominante qu'elle occupait auparavant sur le marché marocain, tout en promouvant des valeurs fortes telles que l'éthique, l'innovation, et la responsabilité sociale et environnementale.



*Figure 2 : M. Jean-Luc
Martinet, Président-
Directeur Général AIXOR*

1.3 Missions et Activités

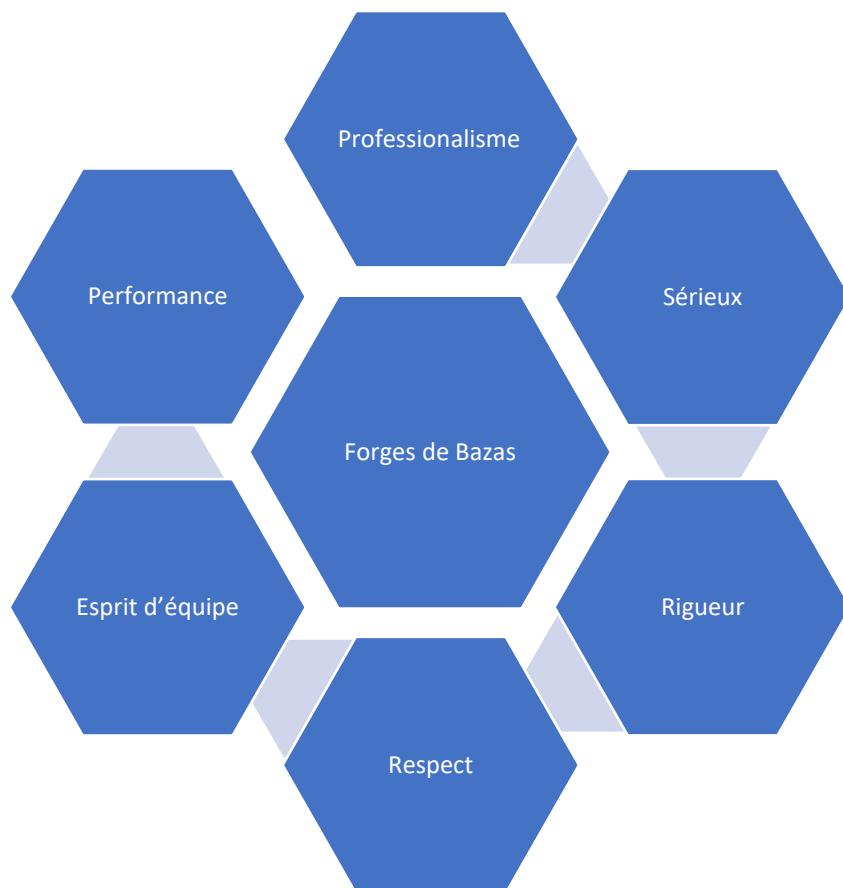
Missions :

Forges de Bazas [1] a pour mission de fournir aux entreprises marocaines des solutions innovantes et fiables dans le domaine de la manutention industrielle. L'entreprise se concentre sur l'amélioration de la productivité et de l'efficacité logistique de ses clients en leur offrant des équipements de levage et des solutions adaptées à leurs besoins spécifiques. Son objectif est de garantir un service de qualité supérieure tout en optimisant le rapport qualité/prix.

Activités :

Les activités principales de Forges de Bazas se concentrent sur la vente, la location et l'entretien d'équipements de manutention. En tant qu'importateur exclusif de **Toyota Forklift** et **SANY**, l'entreprise propose une large gamme de chariots éléveurs et d'engins de construction. Elle assure également un service après-vente performant, comprenant la maintenance et la réparation des équipements, afin de garantir une longue durée de vie à ses produits. Ces activités sont complétées par des solutions personnalisées pour répondre aux exigences logistiques des clients, notamment dans les entrepôts et les chantiers industriels.

1.4 Valeurs



1.5 Organigramme

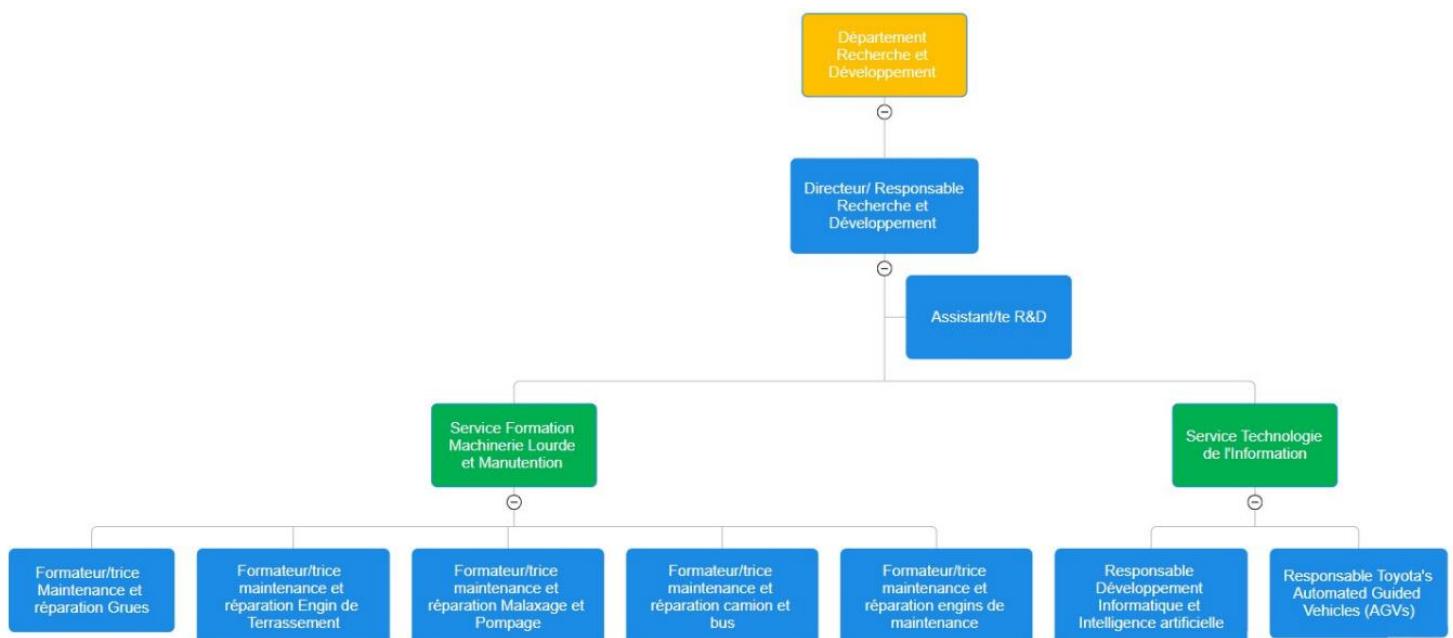


Figure 3: Organigramme fourni par l'encadrant

2 Secteur de la manutention

2.1 Importance de la manutention industrielle

La manutention industrielle joue un rôle crucial dans le bon fonctionnement des entreprises modernes, en particulier celles opérant dans des secteurs tels que la logistique, la production manufacturière, et la construction. Elle est au cœur des processus de stockage, de transport, et de distribution des marchandises, contribuant ainsi à l'efficacité opérationnelle et à la réduction des coûts.

Voici quelques raisons pour lesquelles la manutention industrielle est essentielle :

- **Optimisation des processus logistiques** : Elle permet de gérer efficacement le flux de marchandises dans les entrepôts et sur les chantiers, réduisant ainsi les temps de chargement et de déchargement, tout en limitant les risques d'erreurs ou de détériorations.
- **Réduction des coûts** : Une bonne gestion des équipements de manutention permet d'automatiser certaines tâches lourdes ou répétitives, diminuant les coûts liés à la main-d'œuvre et augmentant la productivité.
- **Sécurité au travail** : L'utilisation de matériels de manutention adaptés, tels que les chariots élévateurs et les palettiseurs, réduit les risques d'accidents pour les employés en éliminant le besoin de manipulation manuelle des charges lourdes.
- **Amélioration de la compétitivité** : Les entreprises qui investissent dans des systèmes de manutention efficaces peuvent mieux répondre à la demande des clients grâce à des délais plus courts et à une gestion optimale des stocks, ce qui leur confère un avantage concurrentiel.

En résumé, la manutention industrielle est un élément fondamental pour assurer la fluidité des opérations et la compétitivité des entreprises, en particulier dans des environnements à forte intensité logistique.

2.2 Principaux clients (Toyota, Sany Group, BT)

Forges de Bazas [1] collabore avec plusieurs entreprises de renom dans les secteurs de la logistique, de la construction, et de l'industrie. Parmi ses principaux clients figurent des acteurs majeurs tels que :

- **Toyota** : Leader mondial dans la fabrication de véhicules et d'équipements industriels, Toyota est un client clé de Forges de Bazas, notamment pour sa gamme de chariots élévateurs. En tant qu'importateur officiel des **Toyota Forklift** au Maroc, Forges de Bazas assure la distribution et la maintenance de ces équipements fiables et performants, répondant aux exigences élevées de Toyota en matière de qualité et de productivité.
- **Sany Group** : Sany est une entreprise chinoise spécialisée dans la production d'équipements de construction. En tant que distributeur exclusif de Sany au Maroc, Forges de Bazas fournit aux entreprises locales des équipements robustes et technologiquement avancés, utilisés dans divers projets d'infrastructure et de construction.
- **BT**: Forges de Bazas collabore également avec **BT**, une entreprise spécialisée dans les équipements de manutention, notamment les chariots élévateurs et les solutions d'entrepôt. Ce partenariat permet à Forges de Bazas d'étendre son offre et de répondre aux besoins logistiques des entreprises, en fournissant des équipements performants et adaptés aux exigences des entrepôts et chantiers industriels.

Ces collaborations illustrent la capacité de Forges de Bazas à s'associer avec des entreprises de premier plan, consolidant ainsi sa position de leader sur le marché marocain de la manutention industrielle.



Figure 4: Quelques clients de FDB

2.3 Enjeux logistiques des entrepôts et chantiers

La gestion logistique des entrepôts et des chantiers est cruciale pour la performance opérationnelle [2], notamment dans les secteurs de la manutention et de la construction. Parmi les principaux défis, l'optimisation de l'espace est essentielle pour maximiser l'utilisation des zones de stockage tout en assurant une circulation efficace des marchandises. Cela nécessite des équipements adaptés, tels que les chariots élévateurs capables de manœuvrer dans des espaces restreints.

La gestion des flux de marchandises est un autre enjeu majeur, avec des besoins d'efficacité pour les flux entrants et sortants afin de minimiser les retards. Les chantiers, en particulier, exigent une coordination entre la livraison des matériaux et les étapes de construction. La réduction des coûts logistiques est également primordiale, et cela passe par l'automatisation et l'utilisation d'équipements modernes qui réduisent les besoins en main-d'œuvre tout en augmentant la productivité.

La sécurité reste un point central. Les équipements de manutention doivent être conformes aux normes et bien entretenus pour éviter les accidents, avec une formation adéquate pour les opérateurs. Par ailleurs, la durabilité environnementale prend une place de plus en plus importante, avec l'adoption de solutions écologiques telles que des machines électriques ou à faibles émissions.

Enfin, l'intégration technologique et l'automatisation des processus jouent un rôle clé dans la transformation des entrepôts et chantiers modernes. Des solutions automatisées, comme les systèmes de gestion des stocks et les équipements autonomes, permettent d'améliorer la précision et l'efficacité des opérations.

3 Solutions proposées par Forges de Bazas

3.1 Vente et location d'équipements

Forges de Bazas [1] propose des solutions adaptées aux besoins variés de ses clients grâce à une offre complète de **vente** et de **location** d'équipements de manutention. Cette approche permet aux entreprises de bénéficier d'une flexibilité optimale, qu'il s'agisse d'investir dans l'achat d'équipements à long terme ou de répondre à des besoins ponctuels via la location.

- **Vente d'équipements** : Forges de Bazas met à disposition une large gamme de produits, incluant des chariots élévateurs, des équipements d'entrepôt, et des engins de chantier des marques prestigieuses telles que **Toyota Forklift, BT Midland, et Sany**. Ces équipements, réputés pour leur robustesse et leur performance, garantissent une efficacité opérationnelle sur le long terme pour les entreprises.
- **Location d'équipements avec PROXAM** : Via sa filiale spécialisée **PROXAM**, Forges de Bazas propose des solutions flexibles de **location de matériel de manutention**, à la fois en courte et longue durée, offrant ainsi une réponse adaptée aux besoins temporaires ou saisonniers des entreprises.
 - **Location courte durée** : Cette solution permet de faire face à des surcharges de travail ponctuelles ou saisonnières. Forges de Bazas propose une gamme d'équipements récents et performants, disponibles pour une période de location ajustable selon les besoins. Les contrats flexibles permettent de modifier la durée de location à tout moment, tout en bénéficiant d'un parc régulièrement contrôlé par des techniciens certifiés Toyota.
 - **Location longue durée** : Conçue pour offrir une solution durable sans engagements financiers lourds, cette option permet de louer des équipements pour une durée pouvant aller jusqu'à 7 ans. Les coûts mensuels incluent la maintenance, les pièces détachées, et les frais de dépannage, garantissant ainsi une parfaite maîtrise du budget. De plus, il est possible de faire évoluer le contrat en fonction des besoins de l'entreprise, avec la possibilité d'inclure un cariste dans l'accord.

3.2 Gamme de chariots et lifts

Une gamme complète d'équipements de manutention [1] est proposé pour répondre aux divers besoins de ses clients dans les secteurs industriels, logistiques et de la construction. Ces équipements sont conçus pour optimiser l'efficacité des opérations de levage et de transport, tout en assurant une manutention sécurisée et fiable.

Principaux types de chariots et lifts proposés :

Chariots frontaux : Disponibles en versions électriques et thermiques, ces chariots élévateurs sont idéaux pour la manutention de charges lourdes dans les entrepôts et les chantiers.

Matériel de magasinage :

Transpalettes manuels et électriques : Parfaits pour le transport de palettes sur de courtes distances dans les entrepôts.

Gerbeurs électriques : Utilisés pour soulever et empiler des charges, ils offrent une solution efficace pour les espaces confinés.

Chariots à mât rétractable : Conçus pour accéder à des hauteurs élevées tout en conservant une grande stabilité.

Tracteurs industriels : Disponibles en versions à conducteur accompagnant ou porté, ils sont utilisés pour tracter des charges lourdes dans les environnements industriels.

Chariots pour allées étroites : Spécialement conçus pour fonctionner dans des espaces restreints, ils permettent d'optimiser l'espace de stockage dans les entrepôts.

Chariots automatisés : Ces chariots sans conducteur offrent une solution innovante pour l'automatisation des processus de manutention.

Chariots télescopiques et nacelles élévatrices "Genie" : Idéaux pour les travaux en hauteur, ces équipements offrent une grande polyvalence dans les chantiers de construction et de maintenance.

Chariots multidirectionnels : Conçus pour des manœuvres complexes, ces chariots facilitent la manutention dans les espaces restreints et les allées étroites.

Accessoires et solutions complémentaires :

- **Accessoires de manutention** : Une variété d'accessoires pour améliorer la performance et la polyvalence des chariots, incluant des pneus adaptés à différentes conditions et des équipements de pompage pour des besoins spécifiques.

Cette diversité dans les équipements permet à Forges de Bazas de répondre aux exigences de nombreux secteurs, en fournissant des solutions sur mesure, adaptées aux besoins spécifiques de chaque client.

Chapitre 2

Déroulement du stage

Résumé. Ce chapitre explore les différentes étapes du stage au sein de l'entreprise et au cours du projet.

1 Mission du stage

La mission d'un **stage d'observation** est de permettre à l'étudiant de se familiariser avec le monde professionnel en observant les activités, les processus et les responsabilités au sein de l'organisme d'accueil. Il ne s'agit pas seulement d'une observation passive, mais d'une opportunité pour l'étudiant de mettre en pratique les connaissances acquises durant sa formation académique. En apprenant par l'exemple, l'étudiant découvre comment les professionnels appliquent les concepts théoriques dans des situations concrètes. Ce stage constitue ainsi une première expérience pour se préparer à une future carrière dans le domaine d'études choisi, tout en développant des compétences essentielles pour son avenir professionnel.



Figure 5: Bureaux locaux à l'enrepôt de Mediouna

2 Planification du projet

Déroulement du stage d'observation :

Notre stage s'est déroulé de la manière suivante :

- Accueil et présentation de l'entreprise : Le premier jour, nous avons été accueillis par M. Salim Ahmed Lachkar, notre tuteur de stage. Il nous a présenté l'entreprise ainsi que ses principaux services et départements.

- Réunions à distance : Au cours des premières semaines, nous avons eu plusieurs réunions à distance avec Mr Salim Ahmed Lachkar pour discuter des projets sur lesquels nous allions travailler. Ces échanges nous ont permis de bien comprendre les objectifs et les attentes pour chacun des projets.

- Travail sur deux projets :

1. Mesureur de distance : Nous avons commencé à travailler sur un projet de conception d'un mesureur de distance.

2. DéTECTEUR d'incendies : Nous avons travaillé sur le développement d'un détecteur d'incendies.

- Visite de l'entreprise : Finalement, nous avons effectué une visite sur site pour observer les installations techniques et mieux comprendre l'intégration des technologies que nous avons étudiées dans un environnement réel. Cette visite nous a permis d'assister à des démonstrations en direct.

3 Interactions avec l'équipe de Forges de Bazas

Au cours de notre stage chez Forges de Bazas, nous avons eu l'opportunité d'interagir avec différents membres de l'équipe, bien que ces échanges aient souvent été brefs.

- **Notre encadrant** : C'est lui qui nous a accueillis dès notre arrivée. Il nous a fait une brève présentation de l'organisation, puis il nous a confié nos tâches principales, notamment les deux projets que nous devions développer : le mesureur de distance et le détecteur d'incendie. C'était notre principal point de contact tout au long du stage.
- **Ingénieurs chinois** : Nous avons eu une interaction très brève avec des ingénieurs chinois qui travaillaient sur place. Nous aurions potentiellement pu collaborer avec eux sur certains schémas électriques, mais cette collaboration n'a pas eu lieu, probablement en raison du manque de temps. Notre encadrant avait mentionné cette possibilité au début, mais cela n'a pas été réitéré par la suite.
- **Autres ingénieurs de bureau** : Nous avons également échangé rapidement avec certains ingénieurs dans leurs bureaux respectifs. Ces échanges étaient formels et limités, leur travail étant axé sur d'autres aspects de l'organisation.
- **Travailleurs sur le terrain** : Lors de nos explorations sur le site, nous avons rencontré plusieurs travailleurs. Nous leur avons posé des questions sur l'utilité potentielle de nos projets (mesureur de distance et détecteur d'incendie) et s'ils disposaient déjà de ce type d'outils. Leur réponse a confirmé que ces équipements étaient absents dans leur environnement de travail. Ces travailleurs nous ont accueillis chaleureusement et ont proposé de nous faire visiter les installations, mais nous avons préféré faire notre propre exploration.

Ces interactions ont permis d'affiner notre compréhension des attentes du terrain et d'adapter notre projet aux besoins réels des employés de Forges de Bazas.

Chapitre 3

Conception des systèmes

Résumé. Ce chapitre expose les étapes de conception de nos deux projets de Mesureur de distance et de détecteur d'incendie. Ce chapitre explore aussi les choix d'outils utilisés.

1 Etude de besoins

L'analyse des besoins a permis de définir les fonctionnalités principales pour le mesureur de distance et le détecteur d'incendie, adaptés aux environnements industriels tels que les entrepôts et les chantiers. Ces systèmes visent à assurer à la fois sécurité et efficacité dans les opérations courantes.

1.1 Spécifications techniques

Les spécifications techniques pour chaque système ont été établies en fonction de leurs usages spécifiques dans ces environnements :

- Mesureur de distance :
 - **Plage de mesure** : 1 à 1000 mètres.
 - **Précision** : Adaptée pour des mesures sur de longues distances avec une tolérance minimale.
 - **Affichage** : Un écran numérique simple pour afficher les distances mesurées en mètres.
 - **Technologie** : Capteur magnétique et circuits électroniques classiques.
 - **Alimentation** : Batteries 9V avec consommation minimale.
- Détecteur d'incendie :
 - **Type de détection** : Système de seuil de température. Le détecteur déclenche une alarme lorsque la température dépasse un certain seuil prédéfini.
 - **Plage de détection** : Le seuil peut être ajusté en fonction des besoins de l'environnement, généralement autour de températures critiques définies réglables. Bien plus élevé que sa température ambiante. 40°C pour les bureaux, 60°C pour les entrepôts, ou autres température le besoin.
 - **Alarme sonore** : Déclenchement d'une alarme sonore pour alerter immédiatement les personnes présentes sur place. Déclenchement d'une autre fréquence quand on a besoin d'un changement de pile.
 - **Autonomie** : Alimentation par batterie avec une très longue durée de vie, idéal pour des installations fixes dans des environnements

de stockage ou de production. Le système doit fonctionner même avec une des piles manquantes, le temps qu'elle soit remplacé.

1.2 Applications entrepôt

Les deux systèmes sont conçus pour répondre à des besoins spécifiques dans des environnements industriels exigeants, tels que les entrepôts et les chantiers :

- Mesureur de distance :
 - **Manœuvre des engins lourds** : Le mesureur de distance avec afficheur, permet aux opérateurs d'engins lourds, de connaître la distance exacte par rapport aux obstacles et de manœuvrer en toute sécurité.
 - **Mesure de grandes distances** : Utilisé pour mesurer les distances importantes dans les entrepôts, facilitant ainsi l'optimisation de l'espace et la planification logistique.



Figure 6: Large entrepôt où le mesureur de distance peut être utilisé

- **Détecteur d'incendie à seuil de température :**
 - **Surveillance des zones à risque** : Le détecteur de seuil de température est essentiel pour surveiller des zones sensibles dans les entrepôts ou sur les chantiers, où des matériaux inflammables ou des températures élevées sont fréquents. Peut être utilisé aussi pour certaines pièces d'engins dont la température ne doit pas dépasser un certain seuil nominal.
 - **Alerte précoce** : Il permet de détecter rapidement une élévation anormale de température, assurant ainsi une intervention rapide pour éviter la propagation d'un incendie potentiel.



Figure 7: Accumulateur hydraulique, bras d'engin à température nominale

2 Outil utilisé : KiCad

La conception des systèmes mesureur de distance et détecteur d'incendie a nécessité l'utilisation d'un logiciel de conception de circuits imprimés (PCB).

Après avoir exploré plusieurs outils, **KiCad** [3] a été retenu pour son accessibilité et ses fonctionnalités adaptées à notre projet.

2.1 Comparaison des outils

Dans notre projet, plusieurs outils de conception de circuits imprimés ont été considérés. Voici une comparaison des outils les plus courants :

Applications	Avantages	Inconvénients
KiCad	Logiciel open-source, gratuit et accessible, avec une grande communauté d'utilisateurs. Il offre une interface intuitive pour la création de schémas électroniques et le routage de PCB. Il est particulièrement adapté aux projets académiques et aux petits projets industriels.	Certaines fonctionnalités avancées, comme la simulation électronique ou la gestion des versions pour de grands projets, sont moins développées que dans les logiciels professionnels payants.
Altium Designer	Un des logiciels professionnels les plus puissants, Altium est utilisé par de nombreuses industries pour des projets complexes. Il intègre des fonctionnalités avancées, comme la simulation de circuits et la gestion de projets à grande échelle.	Très coûteux et complexe à prendre en main, ce qui en fait un outil moins accessible pour un usage académique ou de petits projets comme les nôtres.
Eagle	Interface intuitive et facile d'accès pour les débutants. Utilisé par de nombreuses petites entreprises et particuliers pour la conception de PCB. Il possède également une large bibliothèque de composants.	Sa version gratuite est limitée en taille de PCB et en nombre de couches, ce qui peut être un obstacle pour des projets plus grands.

2.2 Présentation de KiCad

KiCad est un logiciel open-source de conception de schémas électroniques et de circuits imprimés (PCB). Il offre une solution complète pour les projets de conception électronique, avec plusieurs modules intégrés, dont :

- **Eeschema** : Le module de conception de schémas électroniques, qui permet de créer et de modifier des schémas en utilisant une vaste bibliothèque de composants.
- **Pcbnew** : Le module de routage de PCB, qui permet de concevoir le circuit imprimé à partir du schéma. Il offre des fonctionnalités avancées de routage automatique et manuel.
- **GerbView** : Outil pour visualiser les fichiers Gerber, nécessaires pour la fabrication des circuits imprimés.

KiCad se distingue par sa capacité à gérer des projets complexes tout en restant accessible aux débutants. Grâce à ses nombreuses options de personnalisation, il est également adaptable à différents types de projets, qu'ils soient académiques ou industriels.

Pour notre projet, KiCad a permis de réaliser les schémas électroniques et le routage des PCB pour les systèmes de mesure de distance et de détection de température, tout en générant facilement les fichiers Gerber pour une éventuelle fabrication et une estimation de coûts.

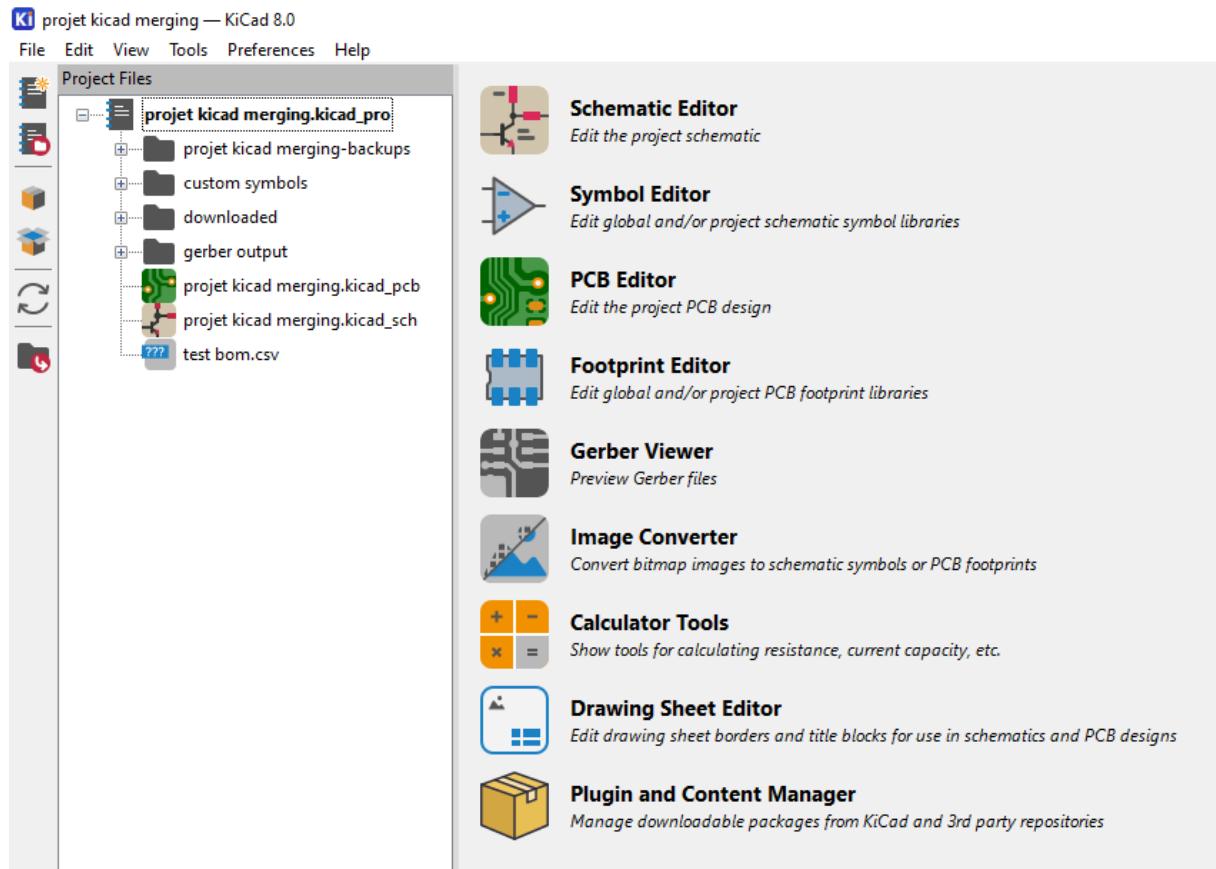


Figure 8: Menu principal du logiciel KiCad

- **Autres outils** : KiCad possède également des outils de modification de symbole et d'empreintes, permettant l'ajout de composants locaux même quand ceux-ci ne se trouvent pas dans la librairie par défaut. Egalement des outils de conversion, de calcul, de tableaux et la possibilité d'ajout de plugins par des sources tiers.

3 Conception des circuits imprimés (PCB)

3.1 Mesureur de distances

Le système de mesure de distance [4] [5], initialement proposé par l'encadrant, visait à améliorer les opérations de manutention en fournissant des mesures précises des déplacements. Cependant, en raison de diverses contraintes telles que la disponibilité des composants et la nécessité d'optimiser la fiabilité du dispositif, des modifications ont été apportées au système original. Cette section présente le fonctionnement initial du mesureur de distance et détaille les ajustements effectués pour répondre aux besoins spécifiques du projet.

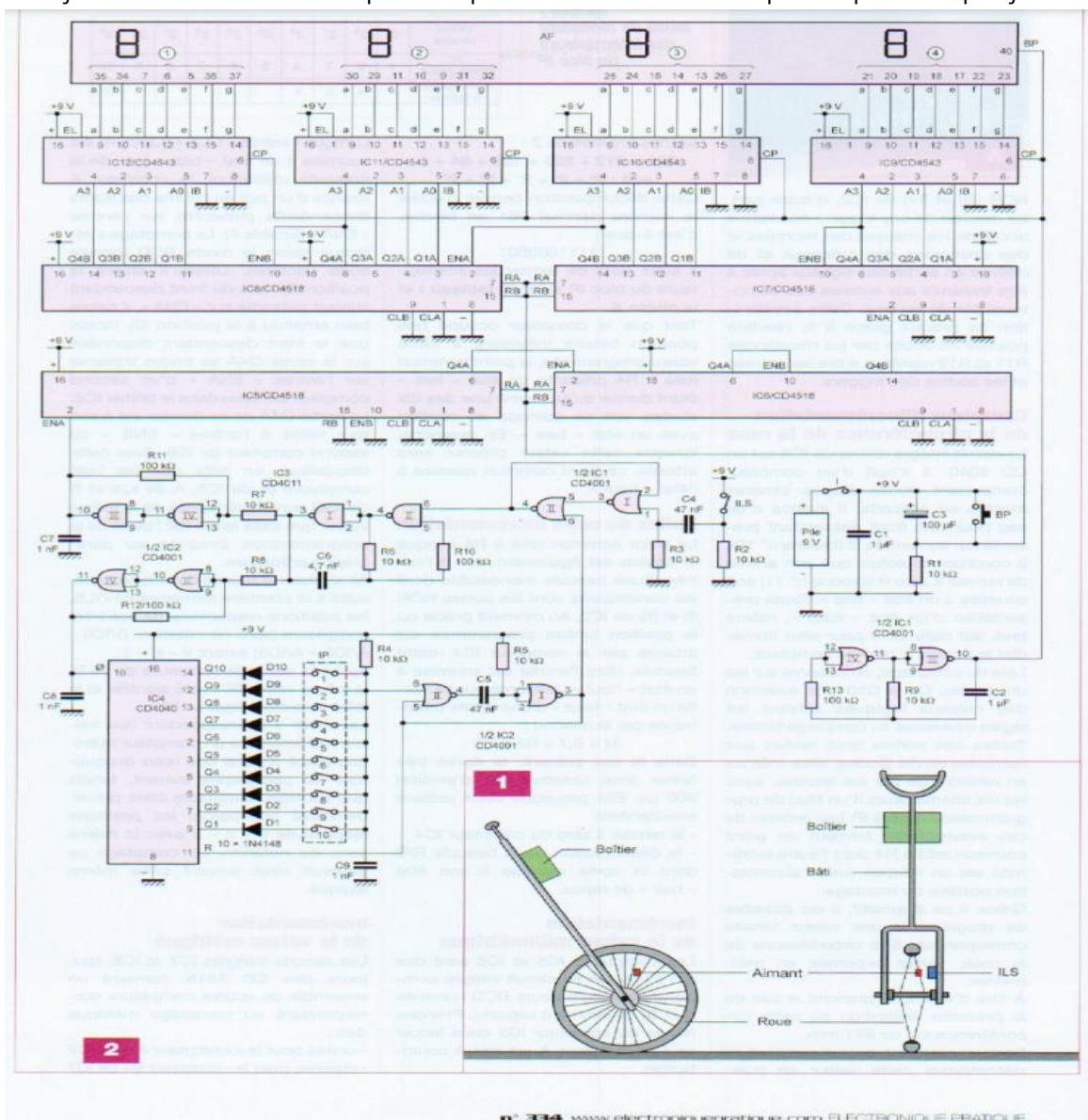


Figure 9: Schéma original du circuit

3.1.1 *Principe de fonctionnement*

Alimentation

La source d'énergie est une pile de 9 V qu'un interrupteur met en service. Le dé-couplage entre la pile et la partie aval du montage est assuré par la capacité C1. Étant donné le recours à un affichage à cristaux liquides, la consommation est vraiment réduite au minimum : environ 2 mA. Il en résulte une autonomie très importante du mesureur.

Initialisation lors de la mise sous tension

Lors de la fermeture de l'interrupteur « I », la capacité C3 se charge à travers R1. Il en résulte une impulsion positive d'une durée d'environ 1 s sur l'armature négative de C3.

Cette impulsion assure la remise à zéro de tous les compteurs du système. Sur l'afficheur apparaît alors l'indication « 0000 ». À noter qu'à tout moment il est possible d'obtenir le même résultat en appuyant sur le bouton-poussoir BP.

Fermeture de l'ILS

À chaque fermeture de l'ILS, il se produit la charge rapide de C4 à travers R3. En règle générale, cette fermeture est très brève : de l'ordre de quelques millisecondes. L'impulsion positive qui en découle est aussitôt acheminée sur l'entrée d'une bascule R/S (Reset/Set), constituée des portes NOR (I) et (II) de IC1.

Rappelons que toute impulsion positive sur l'entrée (1) d'une telle bascule a pour effet de faire passer sa sortie (4) à un état « haut » stable. Cette sortie repasse à l'état « bas » seulement quand l'entrée (6) de la bascule est soumise à son tour à une impulsion positive.

Nous verrons ultérieurement dans quelles conditions cela se produit.

Lorsque l'ILS s'ouvre, la capacité C4 se décharge à travers R2 et R3 de manière à être prête pour remplir son rôle lors de la prochaine fermeture de l'ILS.

Modifications apportées : Nous avons opté pour cette solution pour une gestion de câbles et d'embases plus facile, ce capteur possède 4 pins qu'on peut connecter avec la carte facilement en utilisant des câbles de « Breadboard » classiques ou de simples câbles JST avec leurs connecteurs. Nous avons créé un symbole et empreinte personnalisé pour le capteur AH276.

Génération des signaux de comptage

Les portes NAND (I) et (II) de IC3 forment un oscillateur « commandé » qui est opérationnel tant que son entrée (6) est soumise à un état « haut ». Si tel est le cas, on relève sur sa sortie des créneaux de forme carrée dont la période est déterminée par les valeurs de R6 et C6. Plus précisément, cette période se calcule par le biais de la relation : $T = 2,2 \times R6 \times C6$

Le lecteur vérifiera que la valeur obtenue est de $100 \mu s$, ce qui correspond à une fréquence de 10 kHz .

Les signaux sont ensuite pris en compte par deux triggers de Schmitt formés par les portes NAND (III) et (IV) de IC3, d'une part, et par les portes NOR (III) et (IV) de IC2, d'autre part.

La mission de ces triggers consiste à accélérer les vitesses des montées et des descentes des créneaux et de délivrer en sortie des signaux aptes à être transmis aux entrées des compteurs placés en aval. Cette accélération se produit grâce à la réaction positive introduite par les résistances R11 et R12 montées entre les entrées et les sorties des triggers.

Compteur d'incrémentation de la circonférence de la roue

Le circuit intégré référencé IC4 est un CD 4040. Il s'agit d'un compteur comportant douze étages binaires montés en cascade. Il avance d'un pas pour tout front descendant présenté sur son entrée \emptyset (broche n° 10), à condition toutefois que son entrée de remise à zéro R (broche n° 11) soit soumise à un état « bas ».

Toute présentation d'un état « haut », même bref, sur celle-ci, a pour effet immédiat la remise à zéro du compteur.

Lors du comptage, on observe sur les dix sorties Q1 à Q10 une évolution des niveaux logiques suivant les règles inhérentes au comptage binaire. Toutes ces sorties sont reliées aux cathodes de dix diodes, elles-mêmes en relation, de par les anodes, avec les dix interrupteurs d'un bloc de programmation repéré IP. Les entrées de ces interrupteurs forment un point commun relié à R4 dont l'autre extrémité est en relation avec l'alimentation positive du montage.

Grâce à ce dispositif, il est possible de programmer une valeur binaire correspondant à la circonférence de la roue, valeur exprimée en millimètres.

À titre d'exemple, prenons le cas de la présente réalisation où cette circonférence est de 961mm.

Dans un premier temps, il convient de décomposer cette valeur en puissances entières de 2 :

$$961 = 512 + 256 + 128 + 64 + 1$$

$$\text{Soit : } 2^9 + 2^8 + 2^7 + 2^6 + 2^0$$

Cette décomposition permet d'écrire le nombre décimal 961 en binaire, c'est-à-dire : 1111000001

Il suffit alors de fermer les interrupteurs du bloc IP selon le tableau I et la photo A.

Tant que le compteur occupe une position binaire inférieure à cette valeur programmée, le point commun relié à R4 présente un état « bas » étant donné qu'au moins une des dix diodes voit sa cathode en relation avec un état « bas ». En revanche, lorsque cette valeur précise sera atteinte, ce point commun passera à l'état « haut ».

Suites de cette incrémentation

Le point commun relié à R4 évoqué ci-dessus est également relié à l'entrée d'une bascule monostable dont les constituants sont les portes NOR (I) et (II) de IC2. Au moment précis où la position binaire programmée est atteinte par le compteur IC4, cette bascule, dont l'entrée est soumise à un état « haut », présente sur sa sortie un état « haut » d'une durée déterminée par la relation :

$$\Delta t = 0,7 \times R5 \times C5$$

Dans le cas présent, la durée très brève ainsi obtenue est d'environ 300 µs. Elle provoque deux actions simultanées :

- La remise à zéro du compteur IC4
- La désactivation de la bascule R/S dont la sortie repasse à son état « bas » de repos.
- Incrémentation de la valeur millimétrique

Les compteurs IC5 et IC6 sont des CD 4518. Un tel circuit intégré comporte deux compteurs BCD nommés A et B, entièrement séparés. Prenons le cas du compteur IC5 dans lequel seul le compteur A est mis à contribution.

Lorsque l'entrée « CLA » (Clock A) est soumise à un état « bas » (cas de la présente utilisation), le compteur A avance d'un pas au rythme des fronts descendants présentés sur l'entrée « ENA » (Enable A). Le comptage s'effectue selon le mode BCD (binaire codé décimal). Lorsqu'il atteint la position (9), lors du front descendant suivant présenté sur « ENA », il passe bien entendu à la position (0), tandis que le front descendant disponible sur la sortie Q4A se trouve transmis sur l'entrée « ENA » d'un second compteur contenu dans le boîtier IC6. La sortie Q4A de ce dernier est à son tour reliée à l'entrée « ENB » du second compteur de IC6. Avec cette disposition, on note que les trois compteurs (A de IC5, A de IC6 et B de IC6) sont incrémentés de la même valeur que celle ayant fait l'objet de la programmation évoquée au paragraphe précédent. Ainsi, dans le cas de

l'exemple traité, suite à la première fermeture de l'ILS, les positions respectives de ces trois compteurs (sens de notation : B/IC6 – A/IC6 – A/IC5) seront 9–6–1. Après la seconde fermeture de l'ILS, la même valeur 961 sera ajoutée et le total sera alors égal à 1922.

La valeur 1 (correspondant aux milles) incrémentera un compteur métrique placé en aval que nous évoquerons au paragraphe suivant, tandis que les trois compteurs cités précédemment occuperont les positions respectives 9–2–2 avec le même sens de notation. Le comptage se poursuivra ainsi suivant cette même logique.

Modifications apportées : Pour des raisons de disponibilité locale, nous avons remplacé les CD4518 par des 74LS390 (IC5 à IC8)

Le câblage des entrées et sorties est légèrement différent mais la logique reste la même.

Incrémantation de la valeur métrique

Les circuits intégrés IC7 et IC8, toujours des 74LS390, forment un ensemble de quatre compteurs correspondant au comptage métrique des

- Unités pour le « compteur A » de IC7
- Dizaines pour le « compteur B » de IC7
- Centaines pour le « compteur A » de IC8
- Mille pour le « compteur B » de IC8.

Le compteur des unités (« compteur A » de IC7) reçoit les fronts descendants délivrés par la sortie Q4B de IC6 par l'intermédiaire de son entrée « ENA ».

On notera que l'ensemble des entrées de remise à zéro (RA et RB) de tous les compteurs est soumis à l'impulsion positive d'initialisation qui se produit lors de la mise sous tension du montage. De même, tous ces compteurs peuvent être remis à zéro à tout moment par un simple appui sur le bouton-poussoir BP.

Décodage et affichage

Les sorties Qn de l'ensemble formé par IC7 et IC8 sont reliées, pour un compteur donné, aux quatre entrées A0 à A3 des quatre circuits décodeurs référencés IC9 à IC12. Il s'agit de CD 4543 qui sont des décodeurs BCD → 7 segments plus particulièrement destinés à « driver » un affichage à cristaux liquides.

Il convient, en effet, de rappeler que ce type d'affichage nécessite une alimentation des segments en alternant sans cesse les états « haut » et les états « bas »,

contrairement aux segments constitués par des LEDs. C'est la raison pour laquelle un oscillateur formé par les portes NOR (III) et (IV) de IC1 génère en permanence des créneaux sous une fréquence de l'ordre de 45 Hz.

La sortie de cet oscillateur est reliée, d'une part, au point « BP » (backplane) de l'afficheur sept segments comportant quatre digits et, d'autre part, aux entrées « CP » des décodeurs.

Modifications apportées : Encore une fois pour des raisons de disponibilité locale, on remplace les décodeurs CD4543 par des CD4511BE qui possèdent le même fonctionnement avec un câblage différent. Cependant, l'entrée du décodeur CD4511BE nécessitent un signal ENABLE, nous avons créé donc un circuit de fréquence qui va nous être encore plus utile plus tard en tant que logique de sélection.

Nous avons aussi dû changer l'afficheur 119 RS par un afficheur CC56-12EWA, dont l'application est la même mais que ses entrées sont en cathode commune (c'est-à-dire qu'on ne possède qu'une seule entrée « a » pour tous les chiffres de l'afficheur). On doit donc intégrer une logique de sélection, chose facile avec l'ajout du circuit de fréquence.

Concernant le circuit de fréquence qu'on utilise aussi pour la logique de sélection, on a ajouté un compteur qu'on lie à des oscillateurs créés précédemment, suivie par un décodeur.

On se retrouve donc avec :

- *Un compteur 74LS93 à fréquence d'oscillateur (sa sortie un nombre binaire Q0Q1, Q3 et Q4 ne sont pas liés)*
- *Ensuite un décodeur 74HC138 dont les sorties Y0 à Y3 s'activent l'une après l'autre*
- *Ses sorties Y activent les décodeurs à tour de rôle, avec leur chiffre respectif sur l'afficheur*

NB : Les sorties des décodeurs CD4511BE étant liés, nous ajoutons des diodes pour éviter les chevauchements.

Nomenclature

Résistances

R1 à R9 : 10 kΩ (marron, noir, orange)

R10 à R13 : 100 kΩ (marron, noir, jaune)

Condensateurs

C1, C2 : 1 µF

C3 : 100 µF/25 V

C4, C5: 47 nF

C6 : 4,7 nF

C7, C8, C9 : 1 nF

Semiconducteurs

D1 à D10 : 1N 4148 [6]

AF : Afficheur à cristaux liquides 4 digits (119 RS, remplacé par CC56-12EWA) [7]

IC1, IC2 : CD 4001 [8]

IC3 : CD 4011 [9]

IC4 : CD 4040 [10]

IC5 à IC8 : CD 4518 (remplacé par 74LS390) [11]

IC9 à IC12 : CD 4543 (remplacé par CD4511BE) [12]

Divers

IP : groupe de 10 interrupteurs « dual in line »

Pile 9 V

Coupleur de pile

I : Interrupteur (broches coudées)

BP : Bouton-poussoir (broches coudées)

Embase femelle JST

ILS (Interrupteur à lames souples, remplacé par capteur à effet Hall AH276)

Fiche mâle JST

Aimant permanent

3.1.2 Schémas Electriques

On réalise le circuit comme décrit pour le fonctionnement du système, avec les modifications apportées. L'utilisation de Eeschema (Editeur de schéma KiCad) est intuitive avec une librairie de symboles assez exhaustif, pour le peu de symboles manquants nous pouvons utiliser l'éditeur de symbole et ajouter le nôtre (comme nous l'avons fait pour AH276)

La réalisation du schéma permet de créer un système de « nets », une logique de connections qui permet de visualiser les bornes communes et faciliter la prochaine tâche de routage.

Alimentation

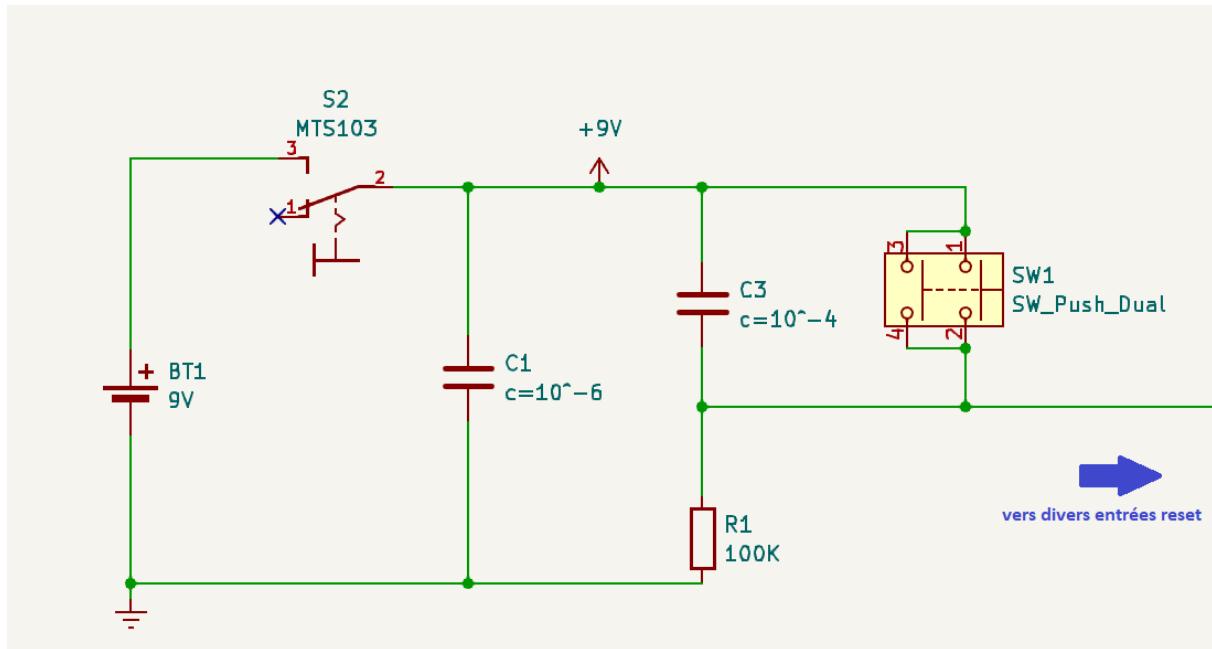


Figure 10: Alimentation

Capteur et lissage du signal

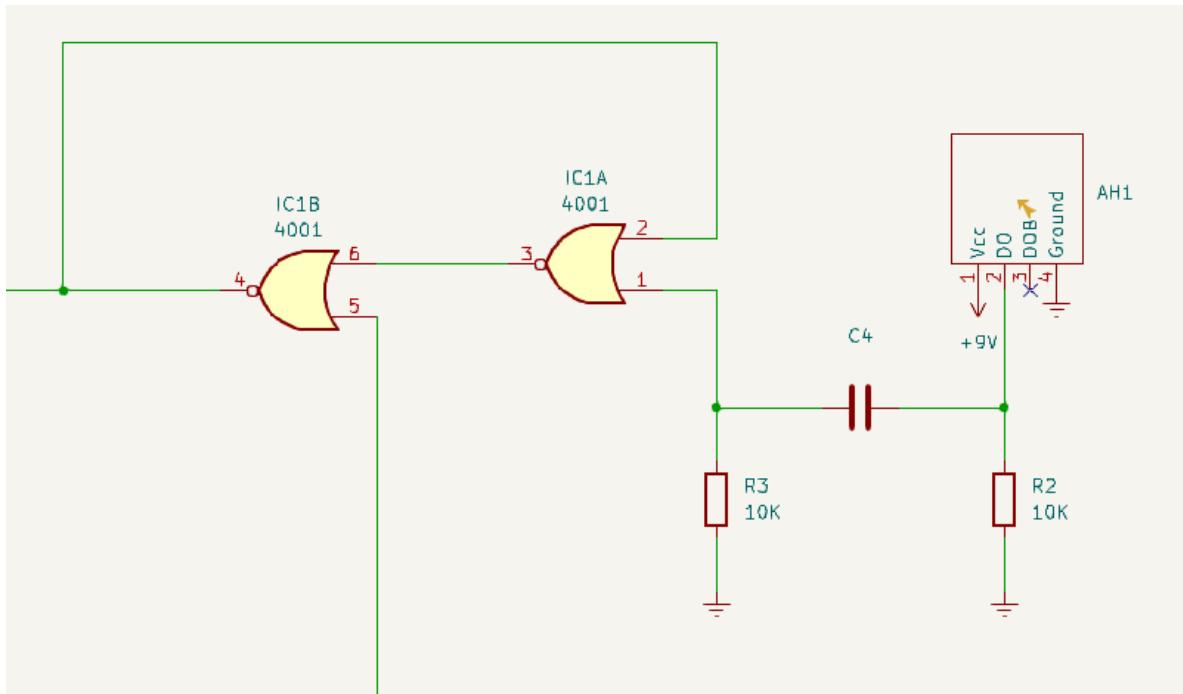


Figure 11: Circuit Capteur et lissage du signal

Symbole de capteur personnalisé

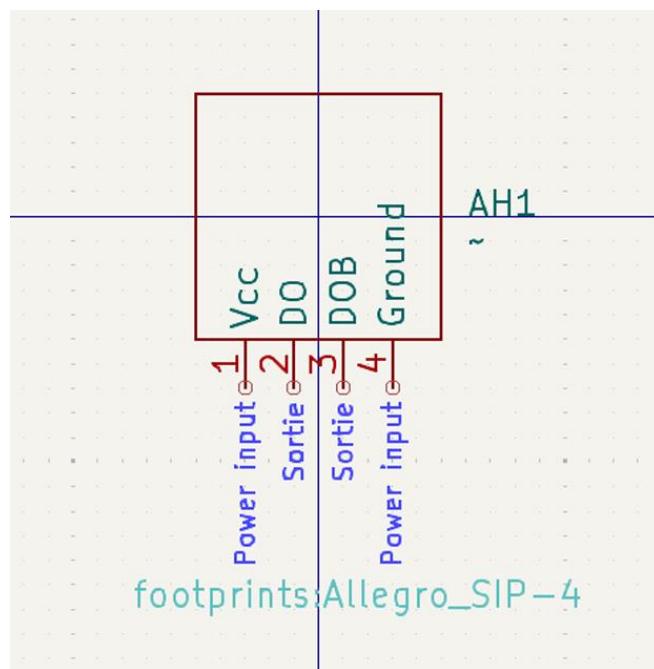


Figure 12: AH276 dans l'éditeur de symbole

Oscillateur commandé

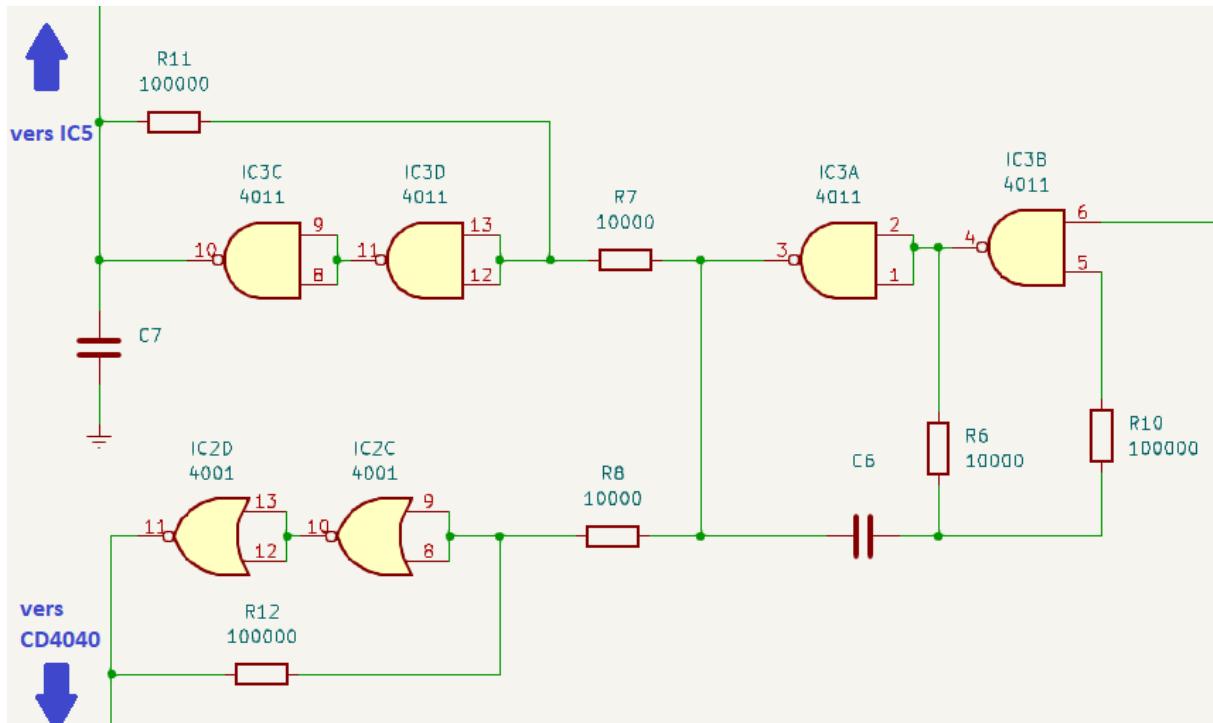


Figure 13: Circuit d'oscillateur commandé

Compteur programmé circonference

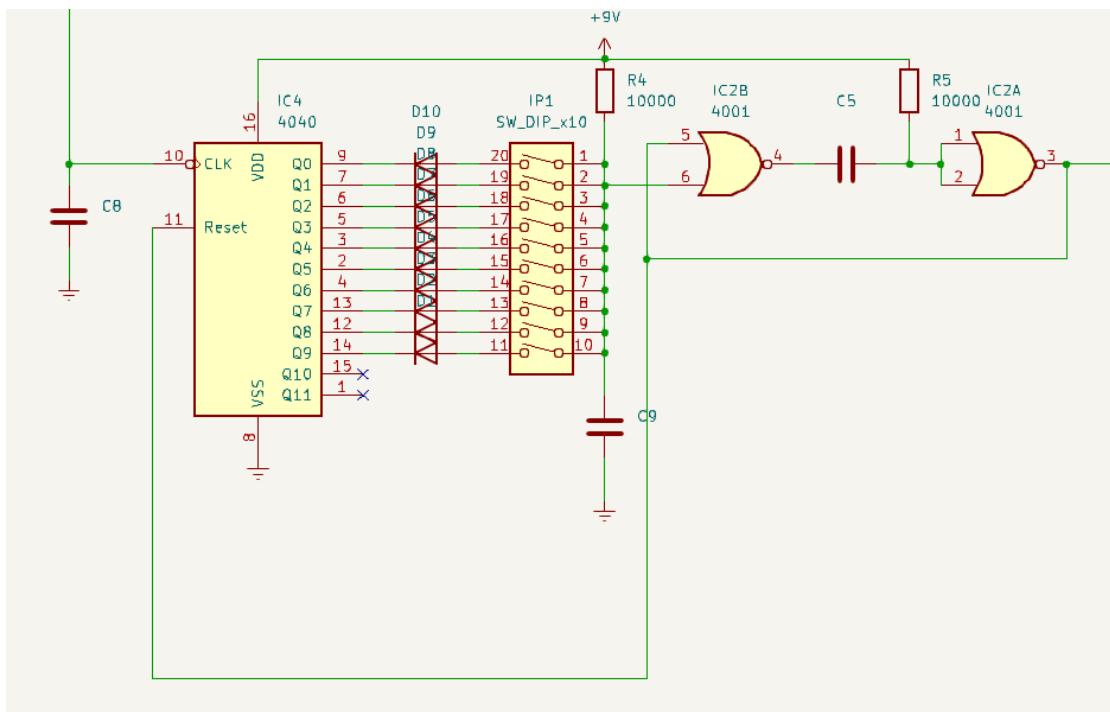


Figure 14: Circuit compteur programmé

Compteurs millimétriques et métriques

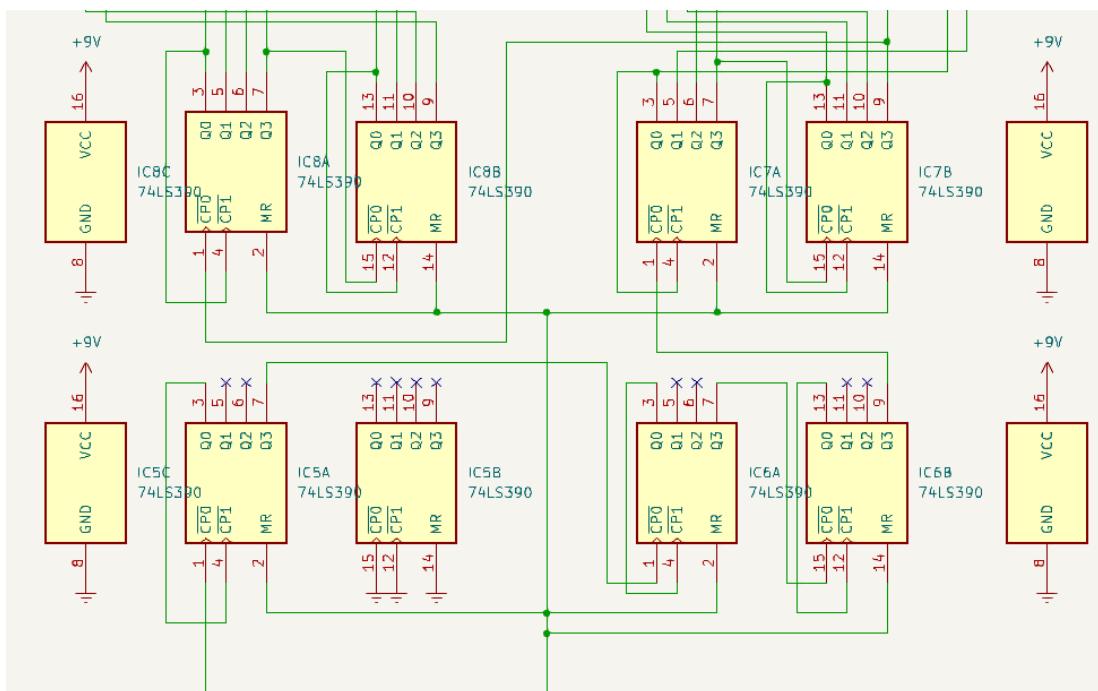


Figure 15: Circuit compteurs distance totale

Nouveau compteur et décodeur de sélection

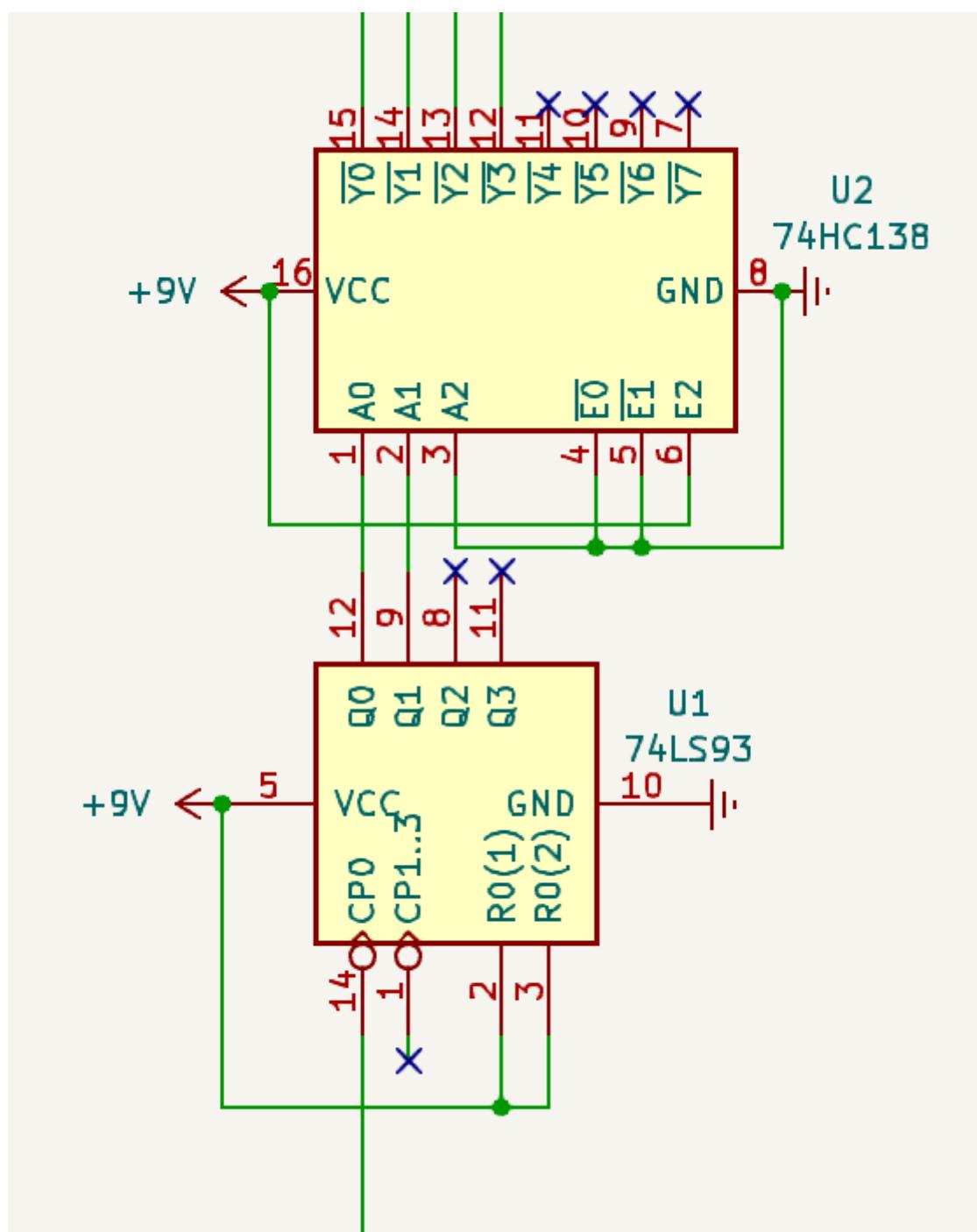


Figure 16: Circuit de comptage et décodage

Décodeurs BCD- 7 segments

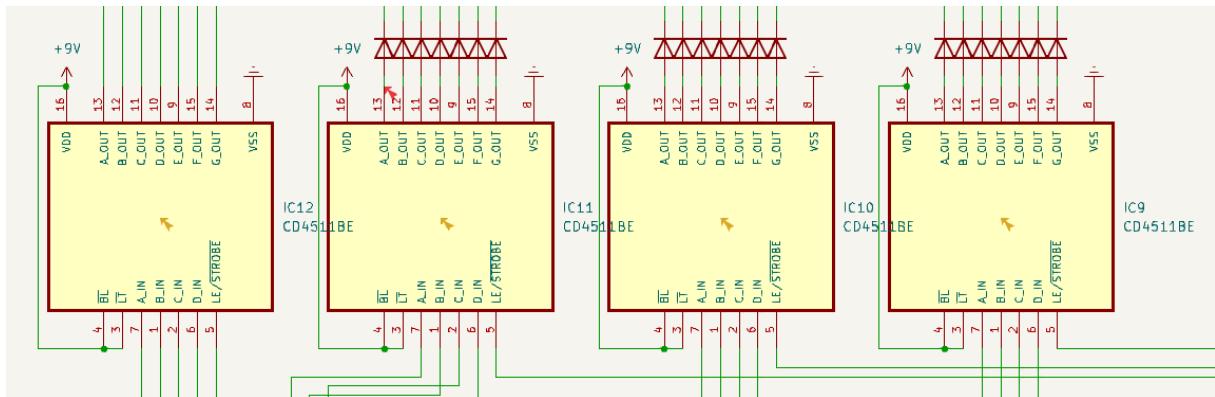


Figure 17: Circuit de décodage

Afficheur à cristaux liquides 7 segments 4 chiffres

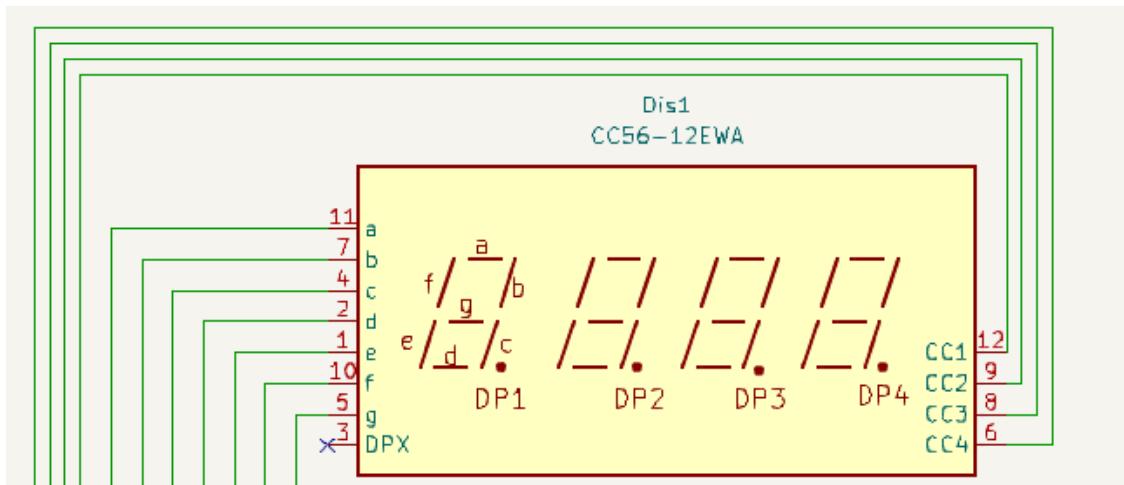


Figure 18: Circuit d'affichage

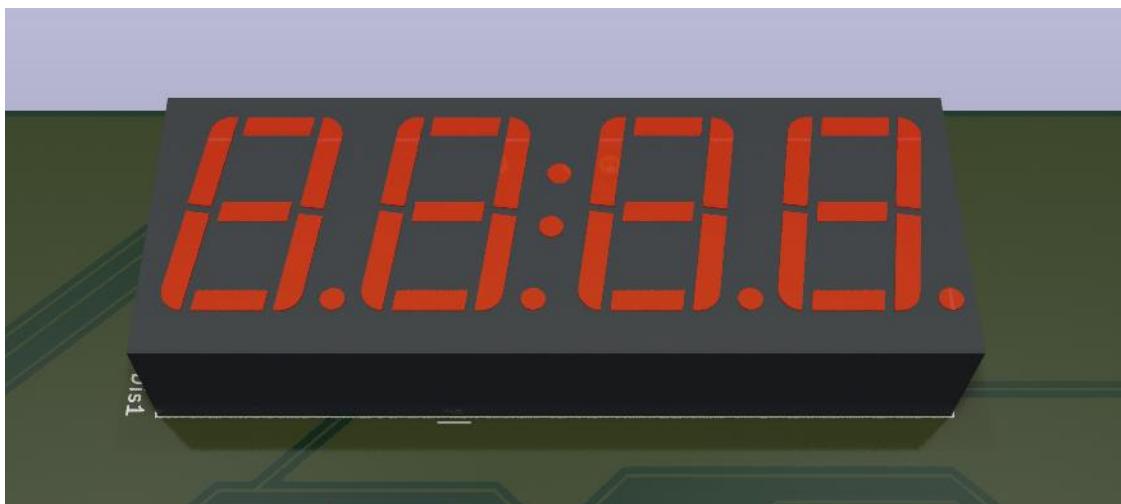


Figure 19: Afficheur vue 3D

Détection d'erreurs électriques grâce à l'outil Contrôle des Règles Electriques

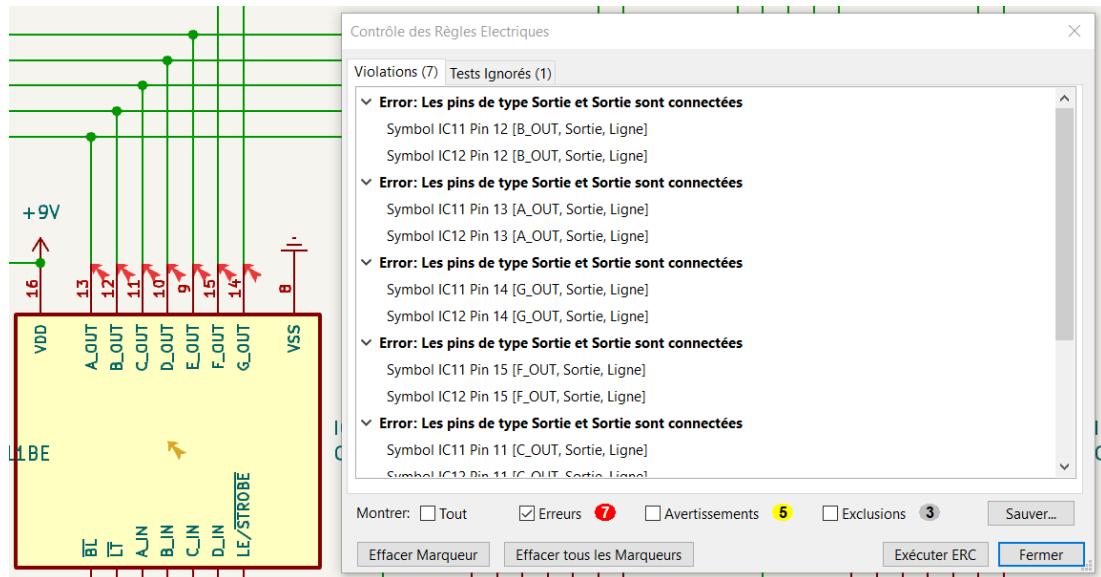


Figure 20: Détection d'erreur sans diodes à la sortie

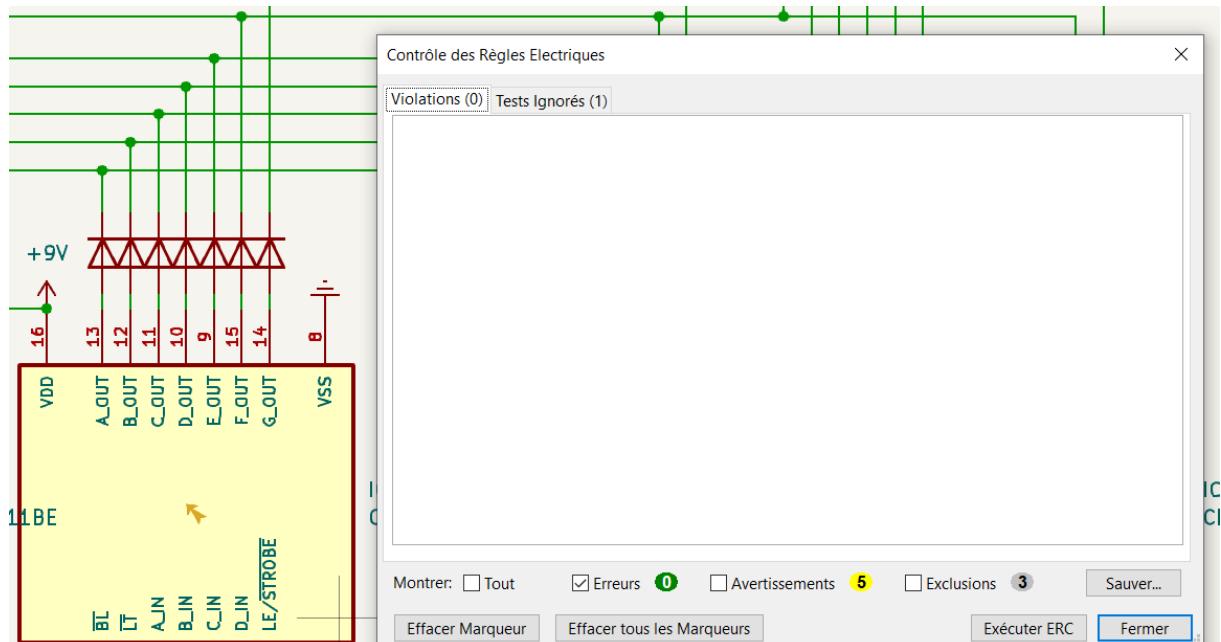


Figure 21: Plus d'erreur une fois les diodes rajoutées

3.1.3 Routage du PCB

La réalisation du routage du PCB avec KiCad est grandement facilitée grâce au système de "nets" généré lors de la création du schéma électrique. Ce système crée une logique de connexions qui permet de visualiser clairement les bornes communes et les interconnexions entre les composants, simplifiant ainsi le processus de routage.

Facilité du routage grâce au système de nets

Dans KiCad, une fois le schéma électrique terminé, le logiciel génère automatiquement une liste de connexions (netlist) qui est importée dans l'éditeur de PCB (Pcbnew). Lors du routage, les nets apparaissent sous forme de lignes indiquant les connexions à réaliser. Il suffit alors de relier manuellement les pads des composants en suivant ces indications. Cette approche réduit considérablement le risque d'erreurs et rend le processus plus intuitif, car le logiciel guide l'utilisateur à chaque étape.

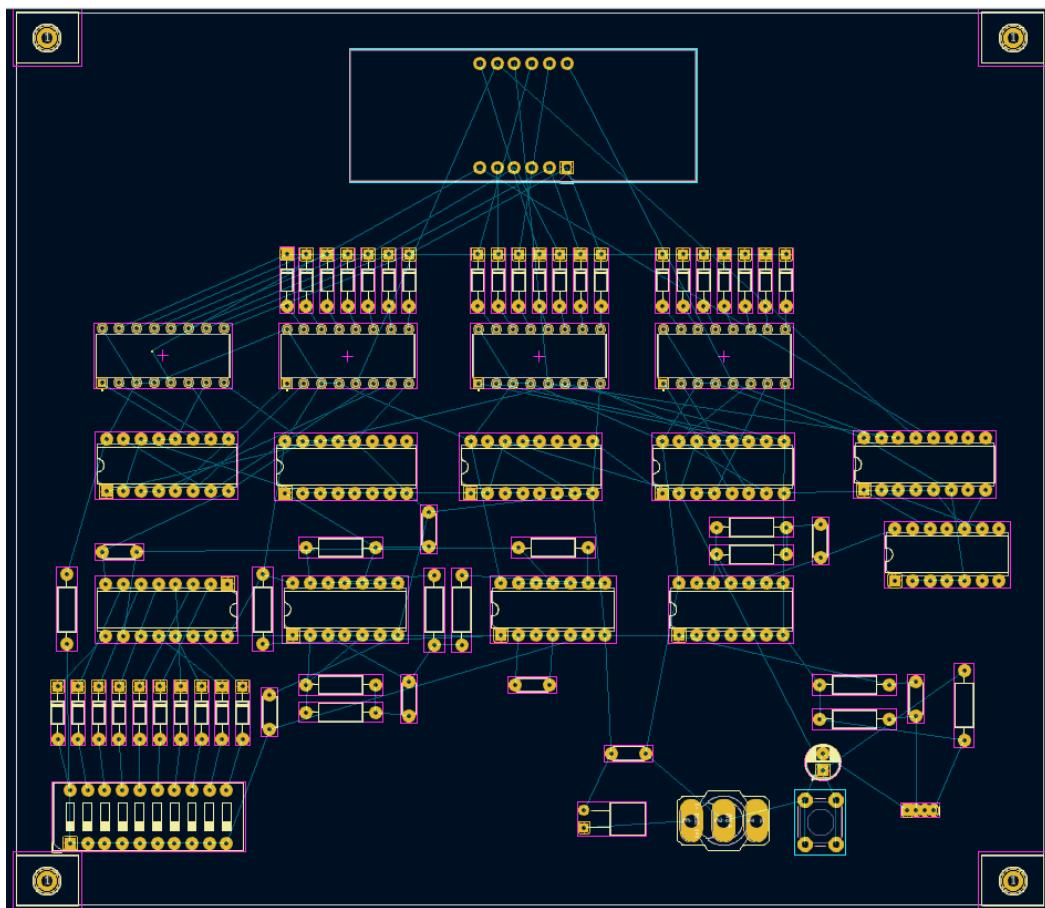


Figure 22: Vue PCB avec les connections "net" en bleu

Règles de routage à respecter et outils à utiliser

Lors de la conception du PCB, il est essentiel de respecter certaines règles et conventions [13] pour garantir la fiabilité et la performance du circuit. Voici les principales considérations à prendre en compte :

- **Largeur des pistes basée sur l'intensité du courant** : La largeur des pistes doit être adaptée au courant qu'elles doivent supporter. Des pistes trop fines peuvent surchauffer et provoquer des défaillances. KiCad permet de définir des règles de conception pour ajuster automatiquement la largeur des pistes en fonction de l'intensité prévue. (On ne rencontre pas ce problème dans nos projets, car nous travaillons avec de très faibles courants)
- **Espacement entre les pistes (clearance)** : Un espacement minimal entre les pistes est nécessaire pour éviter les courts-circuits et les interférences électromagnétiques. Cet espacement dépend des tensions en jeu et des spécifications de fabrication du PCB. Il est recommandé de consulter les normes IPC pour déterminer les valeurs appropriées. (Cette étape a été ignoré aussi, mais pour des raisons de manque d'expérience)
- **Concept de double couche** : L'utilisation d'un PCB à double couche facilite le routage en offrant deux plans pour les pistes : la couche supérieure (généralement représentée en rouge) et la couche inférieure (en bleu). Cela permet de croiser des pistes sans qu'elles se touchent et optimise l'utilisation de l'espace. Les couches peuvent être utilisées stratégiquement, par exemple en réservant une couche pour les signaux horizontaux et l'autre pour les signaux verticaux.

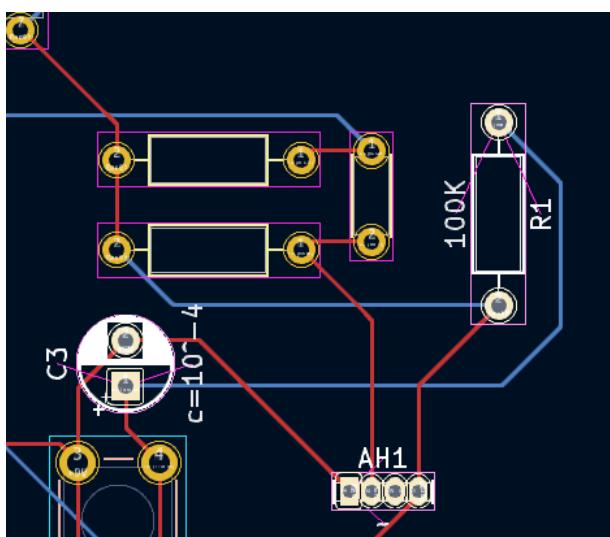


Figure 23: Pistes bleue et rouge s'intersectant sur le schéma, car elles sont sur des couches différentes

- **Vias** : Les vias sont des trous métallisés qui connectent les pistes entre les différentes couches du PCB. Ils sont indispensables dans un PCB multicouche pour permettre le passage des signaux d'une couche à l'autre. KiCad facilite l'insertion de vias lors du routage en proposant des options automatisées pour changer de couche.



Figure 24: Via (en jaune) permettant la connection de pistes sur des couches différentes

Outils de routage dans KiCad

KiCad offre une gamme d'outils pour faciliter le routage et assurer le respect des règles de conception :

- **Routage interactif** : Cet outil permet de tracer des pistes en temps réel tout en évitant automatiquement les obstacles et en respectant les espacements définis. Il offre une expérience fluide et réduit le temps nécessaire pour compléter le routage.
- **Vérification des règles de conception (DRC)** : Avant de finaliser le PCB, il est crucial d'effectuer une vérification pour détecter les erreurs potentielles. Le DRC de KiCad analyse le PCB pour s'assurer que toutes les règles de conception sont respectées, notamment les largeurs de pistes et les espacements.

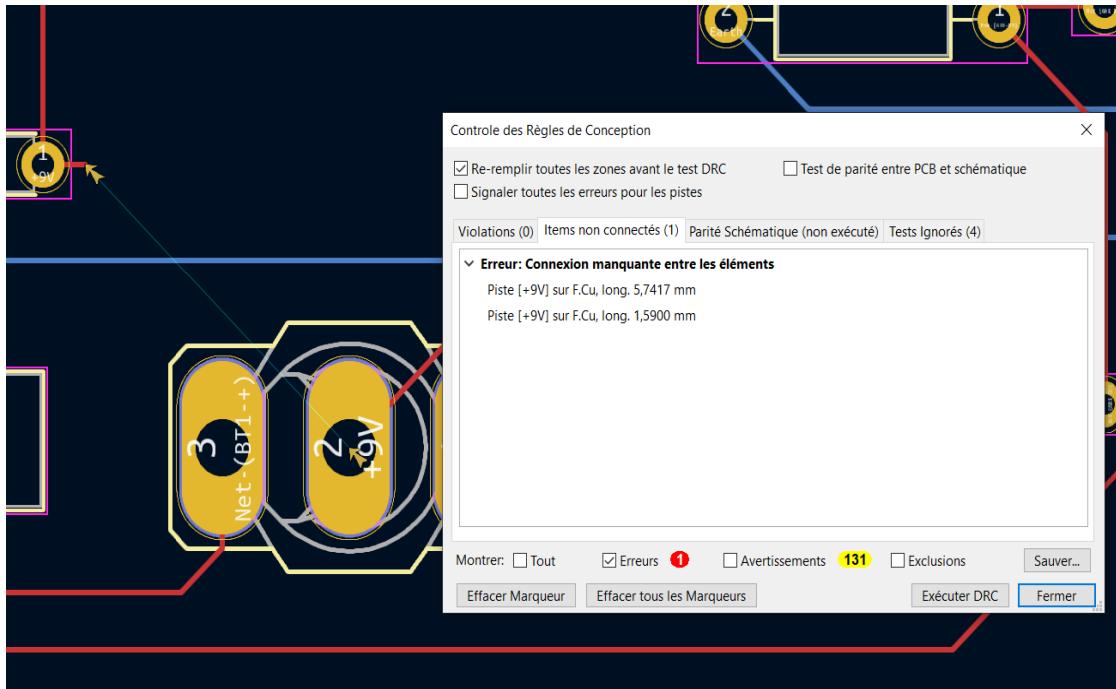


Figure 25: Erreur de routage avec pins non connectés

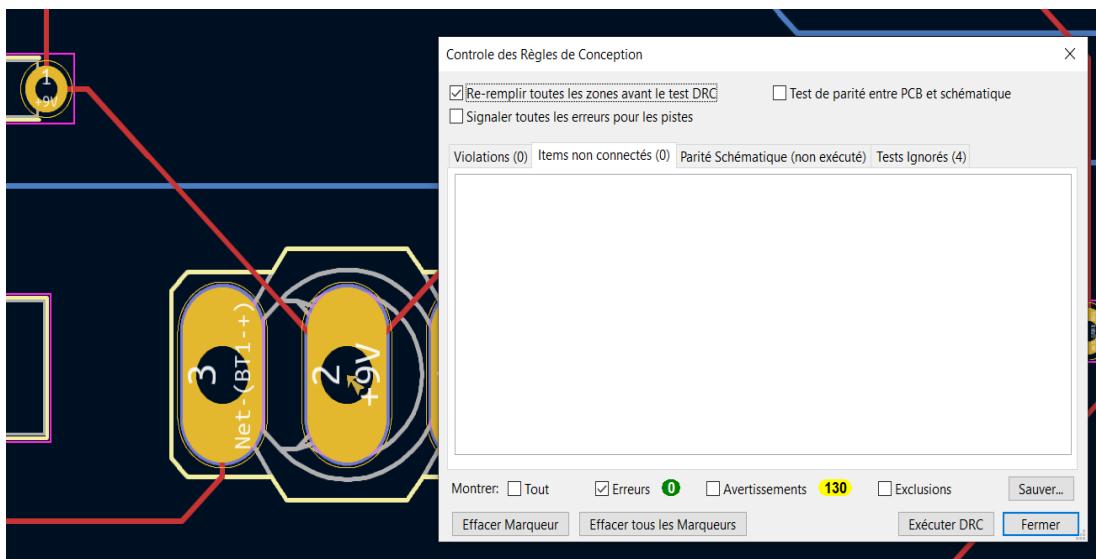


Figure 26: Plus d'erreur une fois la connection faite

- Gestion des zones** : KiCad permet de définir des zones de cuivre pour les plans de masse ou d'alimentation. Ces zones peuvent être configurées pour éviter certaines régions ou composants, offrant une grande flexibilité dans la conception.

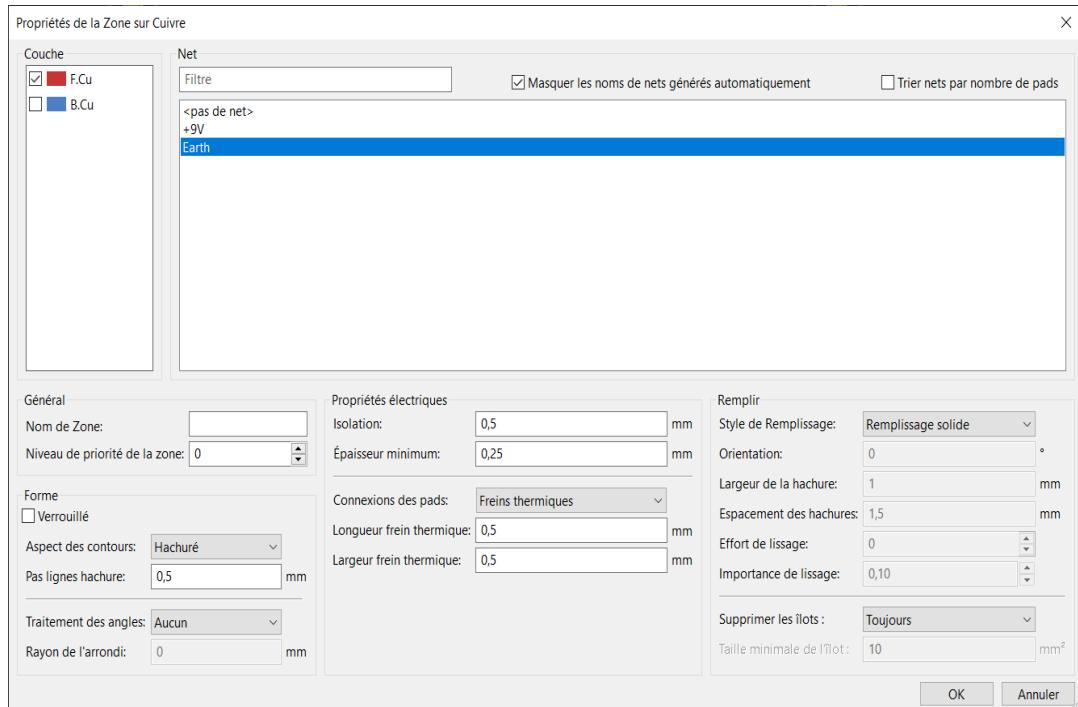


Figure 27: Menu des propriétés d'ajout de zone

Étapes finales : Copper pour et trous de fixation

Après avoir complété le routage des pistes, les étapes finales consistent à améliorer la robustesse du PCB et à préparer son montage physique :

- **Copper pour (plan de masse)** : Ajouter un plan de cuivre pour consiste à remplir les zones non utilisées du PCB avec du cuivre connecté à la masse. Cela offre plusieurs avantages, tels que la réduction des interférences électromagnétiques, l'amélioration de la dissipation thermique et la stabilisation des potentiels électriques. Pour créer un cuivre pour dans KiCad, on définit une zone sur la couche souhaitée et on la configure pour qu'elle soit connectée au net de masse.

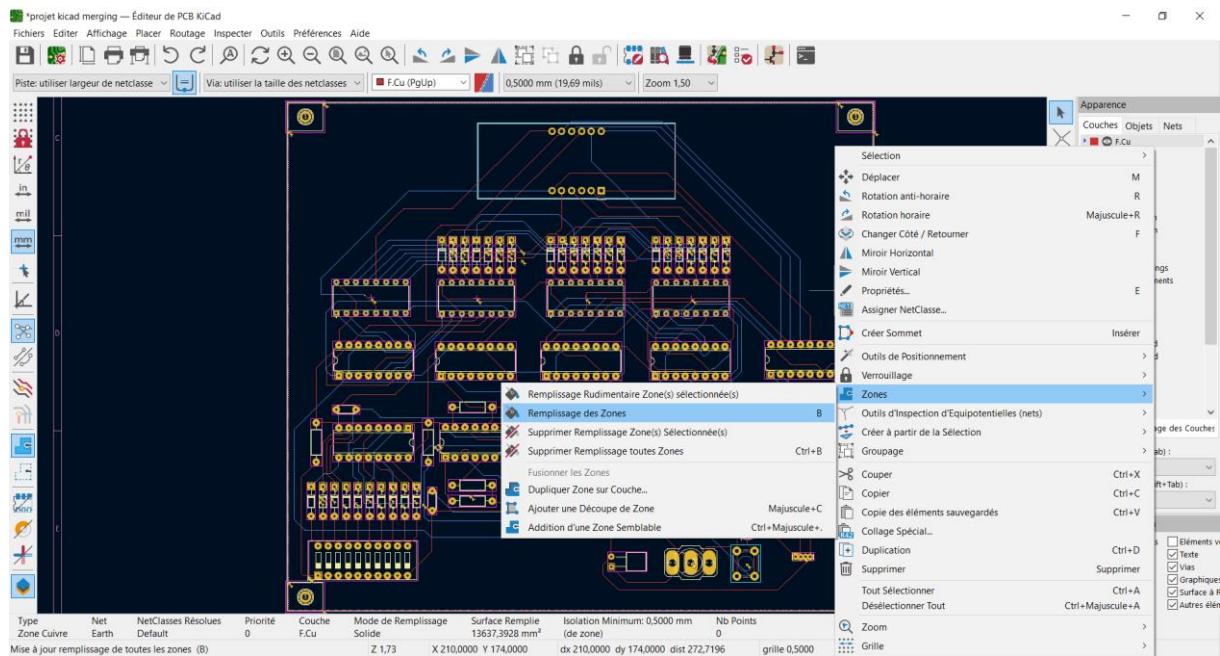


Figure 28: Remplissage de la zone créée

- Trous de fixation pour vis :** Pour assurer une fixation mécanique solide du PCB dans son boîtier ou sur un support, il est important d'ajouter des trous de montage. Ces trous doivent être placés aux emplacements stratégiques, généralement aux coins du PCB, et doivent être dégagés de toute piste ou plan de copper pour éviter les courts-circuits. KiCad permet d'insérer des pastilles non connectées (NPTH) pour ces trous.

On se retrouve avec notre PCB final, toute connectée et prête à être imprimée.

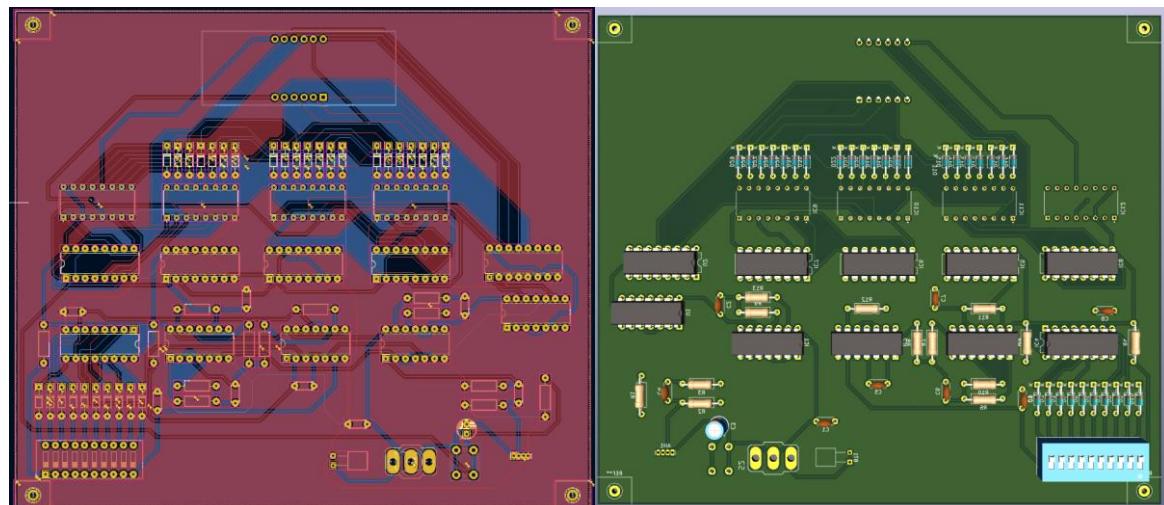


Figure 29: Routage PCB final et vue 3D

3.2 Détecteur d'incendie

Le détecteur d'incendie est un dispositif crucial pour assurer la sécurité dans les entrepôts et sur les chantiers, où le risque d'incendie peut engendrer des conséquences graves. Il permet aussi de signaler qu'un appareil à dépasser sa température nominale. Cette section détaille la conception du détecteur d'incendie, en commençant par le fonctionnement du système, puis en présentant les schémas électriques réalisés avec KiCad, et enfin en décrivant le processus de routage du circuit imprimé (PCB).

3.2.1 *Principe de fonctionnement*

Le détecteur d'incendie [14] [15] repose sur la mesure de la température ambiante grâce à une thermistance à coefficient de température négatif (CTN). Lorsque la température dépasse un seuil prédéfini, la résistance de la CTN diminue, provoquant une augmentation de la tension à ses bornes. Cette variation est détectée par un comparateur qui déclenche une alarme sonore pour avertir du danger.

Alimentation

Le système est alimenté par quatre piles de 1,5 V (type R6 ou 3A), fournissant une tension totale de 6 V. La faible consommation du montage, notamment grâce à l'utilisation de composants CMOS et à l'alimentation cyclique de la CTN, permet une autonomie d'environ un an en fonctionnement continu.

Base de temps

La base de temps est réalisée avec une porte NAND à trigger de Schmitt (U1A, CD4093). Elle génère un signal oscillant asymétrique grâce aux diodes D1 et D2 et aux résistances R1 et R2, créant ainsi un rapport cyclique où la CTN est alimentée environ 10 % du temps. Cette alimentation cyclique réduit la consommation énergétique du système.

Détection de température

La CTN, en série avec une résistance ajustable R0 (composée de R4 et du potentiomètre RV1), forme un diviseur de tension. La tension V0DC aux bornes de R0 est comparée à un seuil par une bascule RS constituée des portes NOR U2A et U2B (CD4001). Lorsque la température augmente, la résistance de la CTN diminue, augmentant V0DC. Si V0DC dépasse le seuil (approximativement la moitié de la tension d'alimentation), la bascule RS change d'état, activant l'alarme.

Alarme sonore

Une fois la bascule RS activée, elle permet à un oscillateur astable (U1C et U1D, CD4093) d'entrer en fonctionnement. Cet oscillateur génère un signal de fréquence déterminée par R5 et C3 (environ 0,3 à 0,4 s). Ce signal module un second oscillateur (U2C et U2D, CD4001) fonctionnant à une fréquence audio réglable entre 1 kHz et 5 kHz grâce à RV2 et C4. Le signal résultant est amplifié par des inverseurs en parallèle (U3, CD4049) pour piloter un buzzer piézoélectrique, produisant ainsi une alarme sonore modulée pour une meilleure perception.

Remise à zéro

Un bouton-poussoir (P) permet de réinitialiser le système en remettant la bascule RS à son état initial, arrêtant ainsi l'alarme. Cette action est nécessaire après une alarme ou lors de la mise en service du dispositif.

Modifications apportées

Ajustement des valeurs : Les valeurs des résistances et des condensateurs peuvent être ajustées pour affiner les seuils de détection et les fréquences des oscillateurs en fonction des besoins spécifiques.

3.2.2 Schéma Electrique

Le schéma électrique du détecteur d'incendie est réalisé en utilisant KiCad encore une fois, cette fois ci les symboles de librairies par défaut suffisent.

Liste des composants principaux :

- CTN : Thermistance de 100 kΩ à 20 °C. [15]
- U1 : CD4093 (portes NAND à trigger de Schmitt) pour la base de temps et l'oscillateur astable. [16]
- U2 : CD4001 (portes NOR) pour la bascule RS et le second oscillateur. [8]
- U3 : CD4049 (portes inverseuses) pour l'amplification du signal d'alarme. [17]
- D1, D2 : Diodes 1N4148 pour la temporisation asymétrique. [6]
- RV1 : Potentiomètre pour le réglage du seuil de température. [18]
- RV2 : Potentiomètre pour le réglage de la fréquence de l'alarme sonore.
- Buzzer piézoélectrique : Composant de sortie pour l'alarme sonore. [19]

Schéma de la base de temps et de l'alimentation cyclique de la CTN :

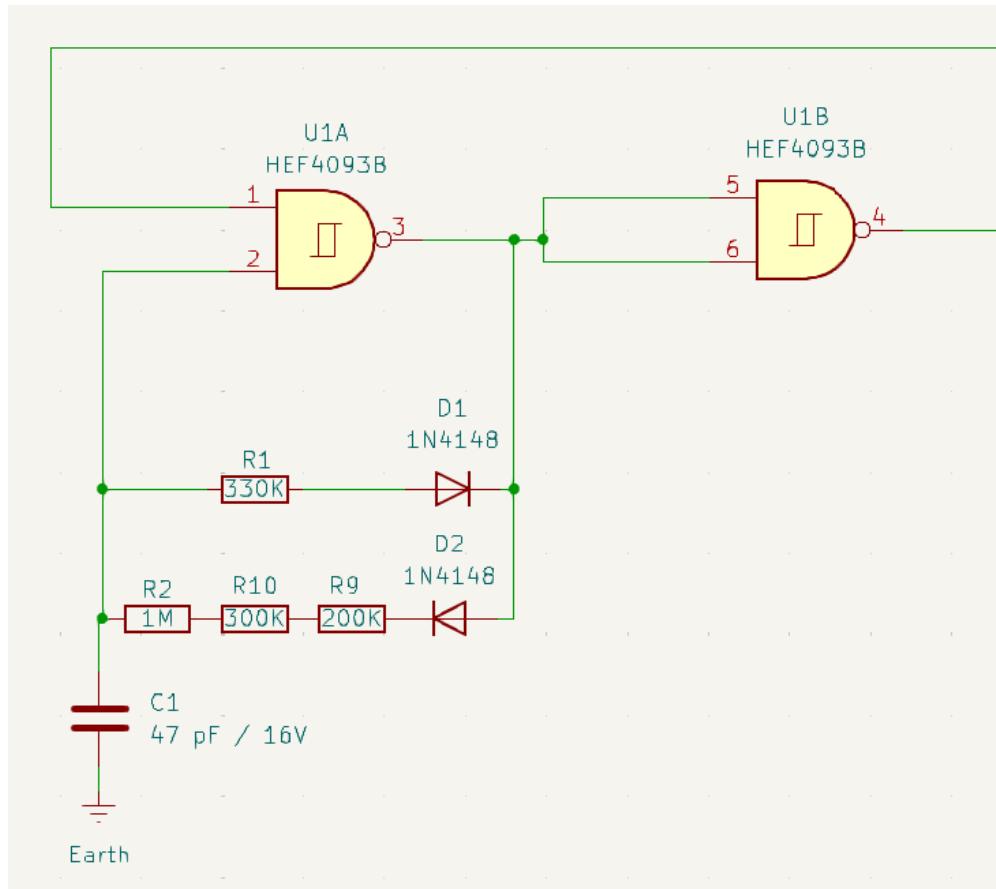


Figure 30: Circuit base et alimentation

Schéma de la détection de température et de la bascule RS :

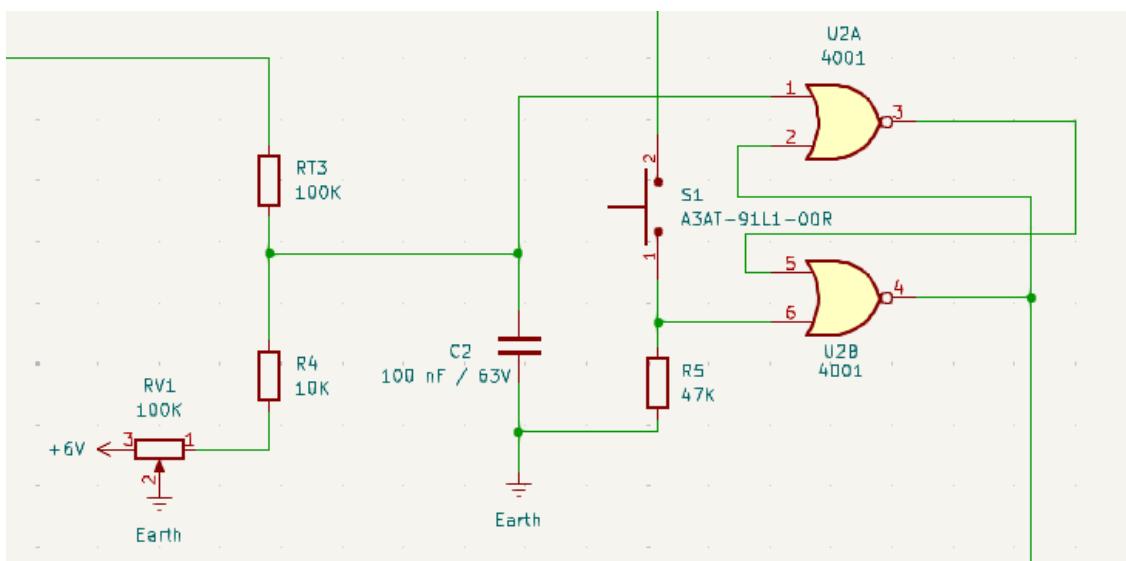


Figure 31: Circuit Thermistance

Schéma de l'alarme sonore et de l'amplification :

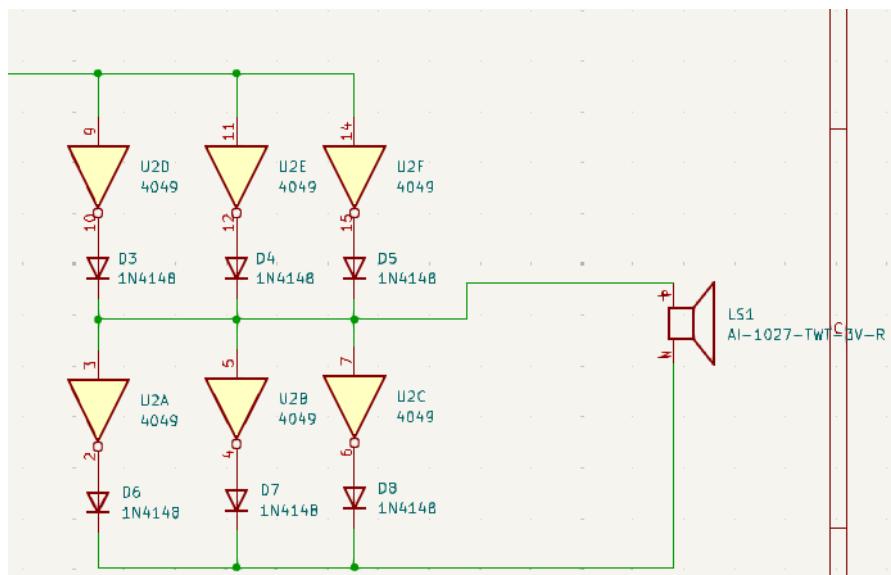


Figure 32: Circuit Buzzer

Notes sur le schéma électrique :

- Alimentation : Un condensateur de découplage (C5, 47 µF) est placé entre l'alimentation positive et la masse pour filtrer les perturbations électriques.
- Réglages : RV1 permet d'ajuster le seuil de déclenchement en fonction de la température ambiante souhaitée. RV2 permet d'ajuster la fréquence du signal sonore pour optimiser la perception de l'alarme.
- Sécurité : Des résistances de limitation (par exemple, R4) sont placées pour protéger les composants sensibles contre les surtensions ou les courants excessifs.

3.2.3 Routage du PCB

Ici, les étapes sont les mêmes qu'avec le projet précédent

Règles de routage à respecter

- Largeur des pistes : Étant donné que le détecteur d'incendie fonctionne avec des courants faibles, des pistes de largeur standard (environ 0,25 mm à 0,5 mm) sont appropriées.
- Espacement entre les pistes (clearance) : Un espacement minimal de 0,2 mm est respecté pour éviter les courts-circuits et les interférences.
- Utilisation des couches : Un PCB à double couche est utilisé pour faciliter le routage. La couche supérieure (rouge) et la couche inférieure (bleue) permettent de croiser des pistes sans interférence.
- Vias : Des vias sont utilisés pour connecter les pistes entre les deux couches du PCB. Ils sont placés de manière stratégique pour optimiser le routage.

Outils de routage dans KiCad

- Routage interactif : KiCad offre un routage interactif qui permet de tracer les pistes manuellement tout en respectant automatiquement les règles de conception. Cet outil aide à éviter les obstacles et à optimiser le trajet des pistes.
- Vérification des règles de conception (DRC) : Avant de finaliser le routage, la fonction DRC de KiCad est utilisée pour détecter les erreurs potentielles, comme les courts-circuits, les espacements insuffisants ou les pistes non connectées.
- Gestion des zones de cuivre : Des plans de masse sont créés en remplissant les zones non utilisées du PCB avec du cuivre connecté à la masse. Cela améliore la stabilité électrique et la dissipation thermique.

Étapes finales

- Ajout de plans de masse (copper pour) : Les zones de cuivre connectées à la masse réduisent les interférences électromagnétiques et stabilisent les potentiels électriques.
- Trous de fixation : Des trous sont ajoutés aux coins du PCB pour permettre la fixation mécanique du circuit dans son boîtier. Ils sont dégagés de toute piste ou zone de cuivre pour éviter les courts-circuits.

- Sérigraphie : Les références des composants, les logos et les indications de polarité sont ajoutés en sérigraphie pour faciliter l'assemblage et la maintenance

4 Considérations sur la Réalisation du Projet

4.1 Contraintes de Connaissances et d'Expérience

Au cours de notre projet, nous avons pris conscience que, en tant qu'étudiants, nous manquons encore de l'expérience et des compétences nécessaires pour garantir que notre conception soit parfaitement fonctionnelle et optimisée. La complexité inhérente à la conception de circuits électroniques avancés, tels que le mesureur de distances et le détecteur d'incendie, requiert une expertise que nous sommes en train de développer mais que nous n'avons pas encore entièrement acquise.

Après avoir consulté des professionnels et des passionnés sur des plateformes comme Reddit, il est apparu que la réalisation pratique de ces dispositifs comportait des risques d'erreurs pouvant compromettre leur fonctionnement et leur sécurité. La crainte de potentielles défaillances nous a conduits à reconsidérer la poursuite de la fabrication sans une supervision experte.

4.2 Analyse des Coûts et de la Faisabilité

Nous avons effectué une analyse détaillée des coûts associés à la réalisation des projets, en élaborant des feuilles de calcul listant tous les composants nécessaires, leurs prix et les fournisseurs potentiels. Les tableaux ci-dessous présentent les composants pour chacun des projets, avec une estimation du coût total.

A	B	C	D	E	F	G	H
Composant	Valeur	Quantité	Q'té en lots	Prix Unité	Prix total	Site achat	Fiche descriptive
Dis1	CC56-12EWA	1	1	16.70 MAD	16.70 MAD	https://shop4makers.com/produit/afficheur-7-segments/	https://www.kingbrightusa.com/images/catalog/SPEC/CC56-12EWA.pdf
I3C	4011	1	1	5.00 MAD	5.00 MAD	https://shop4makers.com/produit/circuits-integres-cmos-cd4011b/	https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4011b.pdf
U10	4040	1	1	4.20 MAD	4.20 MAD	https://shop4makers.com/produit/circuits-integres-cmos-cd4040/	https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4040b-mil.pdf
U2	74HC138	1	1	5.00 MAD	5.00 MAD	https://shop4makers.com/produit/circuits-integres-ttl-74hc138-maroc/	https://www.ti.com/lit/ds/symlink/c74hc138.pdf
C1,C2	1μF	2	2	0.90 MAD	1.80 MAD	https://shop4makers.com/produit/condensateur-electrolytique/	-
C3	100μF / 25V	1	1	1.90 MAD	1.90 MAD	https://shop4makers.com/produit/condensateur-ceramique/	-
C4,C5	47nF	2	2	0.90 MAD	1.80 MAD	https://shop4makers.com/produit/condensateurs-ceramiques/	-
C6	4.7nF	1	1	0.90 MAD	0.90 MAD	https://shop4makers.com/produit/condensateurs-ceramiques/	-
C7,C8,C9	1nF	3	3	0.90 MAD	2.70 MAD	https://shop4makers.com/produit/condensateurs-ceramiques/	-
D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7	1N4148	31	31	0.80 MAD	24.80 MAD	https://shop4makers.com/produit/ide-1n4148/	https://www.micro-planet.ma/downloads/1n4148.pdf
Pile avec cable	9V	1	1	11.70 MAD	11.70 MAD	https://shop4makers.com/produit/pile-9v-avec-son-able/	-
I5,C6,I7,C8	74LS390	4	4	20.00 MAD	80.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/74ls390-double-compteur-decimal/	https://www.micro-planet.ma/downloads/74ls390.pdf
U1	74LS93	1	1	10.00 MAD	10.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/74ls93-compteur-binaire-asynchrone/	https://www.micro-planet.ma/downloads/74ls93.pdf
J1,J2	Conn_01x40_Socket	2	2	4.00 MAD	8.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/harvette-de-40-en-tete-femelle/	-
S1	Bouton Poussoir 4 pins	1	1	1.50 MAD	1.50 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/btn-poussoir-4pins-10mm-smrf/	-
I1,C1,C2	4001	2	2	5.00 MAD	10.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/4001-circuit-logique-4-ports-nor/	https://www.micro-planet.ma/downloads/cd4001.pdf
I9,C10,I11,C12	CD4511BE	4	4	5.00 MAD	20.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/4511-decodeur-hc7-segments/	https://www.micro-planet.ma/downloads/cd4511.pdf
S2,S3	MTS103	1	1	7.00 MAD	7.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/interrupteur-3-positions-mts-103-ka/	-
I2,P1	SW_DIPx10	1	1	5.00 MAD	5.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/interrupteur-dig-4-bit/	-
R10,R11,R12,R13	100k	5	1	1.50 MAD	1.50 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/resistances-14w-50-valeurs-precision-1-/	-
R4,R5,R6,R7,R8,R2,R3	10k	8	2	1.50 MAD	3.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/resistances-14w-50-valeurs-precision-1-/	-
Captteur Magnétique	AH276	1	1	5.60 MAD	5.60 MAD	https://shop4makers.com/produit/captteur-a-effet-hall-ah276/	-
Aimant	Neodymium 30x3	1	1	14.00 MAD	14.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/aimant-neodymium-neodyme rond/	-
Cables	Noir 0.51mm	10	1	3.00 MAD	3.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/10-cables-etame-10cm-0-51mm-pour-breadboard/	-
Cables	Noir 1.02 mm	10	1	5.00 MAD	5.00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/10-cables-etame-10cm-0-51mm-pour-breadboard/	-
34	Total Shop4Makers			72.40 MAD			
35	Total MicroPlanet			157.00 MAD			
	Total			442.10 MAD			
	Prix PCB	JLCPCB (international, +30 jours livraison)			~ 200 MAD		
		360lab (national, 30 jours)			RUPTURE DE STOCK		

Figure 33: Liste des composants pour le mesureur de distances

A	B	C	D	E	F	G	H
1 Composant	Valeur	Quantité	Qté en lots	Prix Unité	Prix total	Site achat	
2 U2	CD4049	1	1	4,20 MAD	4,20 MAD	https://shop4makers.com/produit/circuits-integres-cmos-cd4000/	https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4050b.pdf
3 U3	CD4093BE	1	1	4,20 MAD	4,20 MAD		https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4093b.pdf
4 C1,C5	47 pF / 16V	2	2	0,90 MAD	1,80 MAD		
5 C2	100 nF / 63V	1	1	0,90 MAD	0,90 MAD	https://shop4makers.com/produit/condensateur-ceramique/	
6 C3	470 nF / 63V	1	1	0,90 MAD	0,90 MAD		
7 C4	10 nF / 63V	1	1	0,90 MAD	0,90 MAD		
8 D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7	1N4148	8	8	0,80 MAD	6,40 MAD	https://shop4makers.com/produit/diode-1n4148/	https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds12019.pdf
9 Porte Batteries secours	4x Série 18650	1	1	27,90 MAD	27,90 MAD	https://shop4makers.com/produit/support-pile-18650-serie/	
10 Porte Batteries	4xAAA	1	1	14,00 MAD	14,00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/aaa-4-porte-piles-pour-batterie/	
11 S1	A3AT-9111-00R	1	1	1,00 MAD	1,00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/boulon-poussoir-6x6mm2-2-broches/	https://roling.rs/download/manuals/Catalog-Pushbutton-Switch.pdf
12 U8	CD4001	1	1	5,00 MAD	5,00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/c4001-circuit-logique-4-portes-not/	https://www.micro-planet.ma/downloads/cd4001.pdf
13 L1	AI-1027-TWT-3V-R	1	1	12,00 MAD	12,00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/piecelectrique-piezobuzzer/	
14 RV1	100k	1	1	8,00 MAD	8,00 MAD		
15 RV2	50k	1	1	8,00 MAD	8,00 MAD		
16 R1,R6	330k	2	1	1,50 MAD	1,50 MAD		
17 R2,R7	1M	2	1	1,50 MAD	1,50 MAD		
18 R4	10k	1	1	1,50 MAD	1,50 MAD		
19 R5	47k	1	1	1,50 MAD	1,50 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/resistances-14w-50-valeurs-precision-1-1-packet-5-s/	
20 R8	220k	1	1	1,50 MAD	1,50 MAD		
21 R9	200k	1	1	1,50 MAD	1,50 MAD		
22 R10	300k	1	1	1,50 MAD	1,50 MAD		
23 RT3	100k	1	1	7,00 MAD	7,00 MAD	https://www.micro-planet.ma/produit/thermistance-ntc-100k/	
24				-	MAD		
25				-	MAD		
26				-	MAD		
27							
28							
29							
30		Total Shop4Makers		40,30 MAD			
31		Total MicroPlanet		48,50 MAD			
32		Total		212,70 MAD			
33							
34		Prix PCB	JLCPCB (international, +30 jours livraison) 360lab (national, 30 [jours])	- 100 MAD RUPTURE DE STOCK			
35							

Figure 34: Liste des composants pour le détecteur d'incendie

Les coûts totaux pour les composants et la fabrication des PCB s'élèvent respectivement à environ 442 MAD pour le mesureur de distances et 212 MAD pour le détecteur d'incendie. À cela s'ajoutent les délais de livraison, notamment pour les PCB dont la fabrication et l'expédition peuvent prendre plus de 30 jours via des services internationaux comme JLCPCB, les fournisseurs nationaux étant en rupture de stock.

En plus des coûts financiers, nous avons également considéré les ressources temporelles nécessaires pour l'assemblage, les tests et la validation des dispositifs. Le temps requis pour maîtriser les techniques d'assemblage et de soudure, ainsi que pour déboguer les éventuels problèmes, aurait pu dépasser le cadre temporel alloué à ce projet.

Nous avons contacté un responsable JLCPCB et il nous assuré que plusieurs commandes dans le passé ont été livré au Maroc sans problèmes de délais ou de douanes, et même cas échéant il suffit de leurs montrer les documents d'achats nécessaires

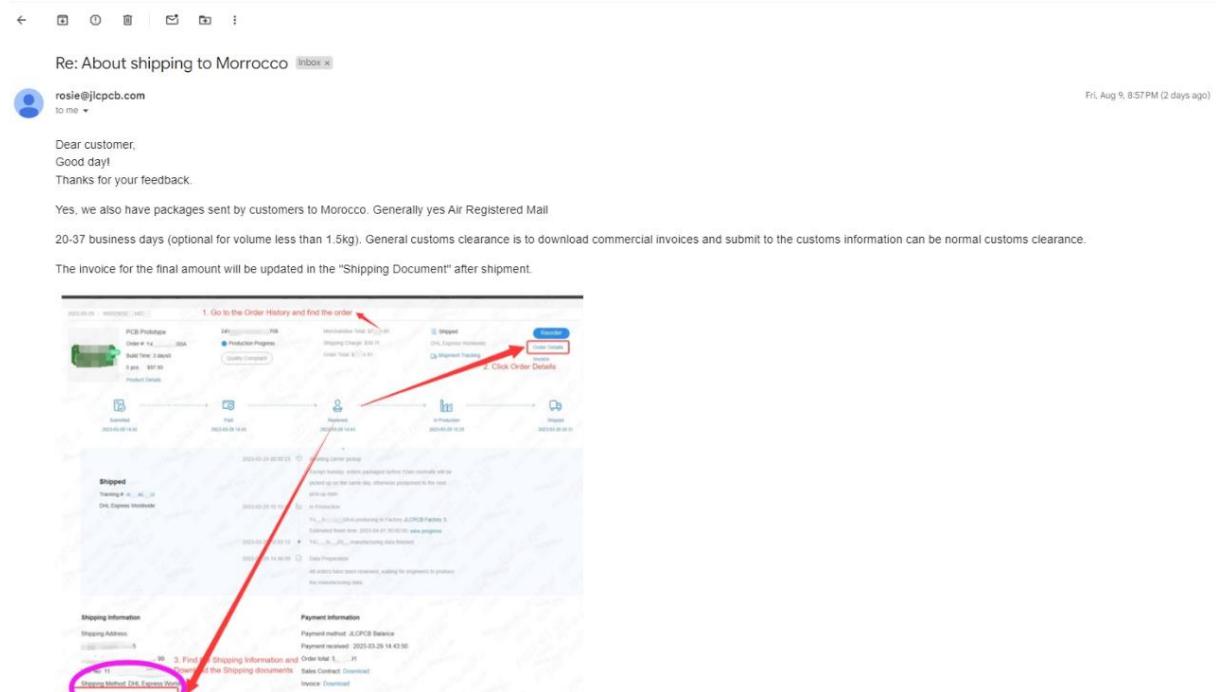


Figure 35: Contact mail avec un responsable JLCPBC

4.3 Décision Finale sur la Réalisation du Projet

Après une réflexion approfondie tenant compte de nos contraintes de connaissances, des coûts impliqués et des défis de faisabilité, nous avons pris la décision de ne pas procéder à la réalisation physique des projets. Bien que nous ayons accompli toutes les étapes préalables, y compris la conception détaillée, la sélection des composants et l'estimation budgétaire, nous estimons que poursuivre sans l'assurance de pouvoir garantir un fonctionnement optimal aurait été imprudent.

Nous avons communiqué cette décision à notre encadrant, qui a compris nos motivations. Cette expérience nous a toutefois permis de développer des compétences précieuses en conception de circuits, en utilisation de logiciels de CAO électronique comme KiCad, et en gestion de projet. Elle nous a également sensibilisés à l'importance de l'évaluation réaliste de ses capacités et des ressources disponibles dans la conduite d'un projet technologique.

Chapitre 4

Conclusion

Résumé. Ce chapitre discute les résultats trouvés, les difficultés rentrées et conclut le rapport.

1 Résultats au regard des objectifs

Au début de ce stage, les objectifs principaux étaient de concevoir des systèmes électroniques pour améliorer les opérations de manutention au sein de Forges de Bazas. Plus spécifiquement, il s'agissait de développer un mesureur de distances et un détecteur d'incendie adaptés aux besoins des entrepôts et des chantiers.

Au terme du stage, nous avons atteint une grande partie de ces objectifs :

- **Étude approfondie des besoins** : Nous avons identifié les spécifications techniques requises pour les deux systèmes, en tenant compte des applications pratiques et des contraintes du milieu industriel.
- **Conception détaillée** : À l'aide de l'outil KiCad, nous avons réalisé les schémas électriques complets et le routage des circuits imprimés pour les deux dispositifs, en intégrant les modifications nécessaires pour adapter les composants disponibles.
- **Analyse de faisabilité** : Nous avons effectué une analyse exhaustive des coûts et de la faisabilité, en élaborant des tableaux détaillés des composants, de leurs prix et des fournisseurs potentiels.

Bien que la réalisation physique des prototypes n'ait pas été effectuée, les travaux accomplis fournissent une base solide pour une future mise en œuvre des projets. Les objectifs initialement fixés ont été largement atteints en termes de conception et de préparation.

2 Difficultés rencontrées

Plusieurs difficultés ont jalonné notre parcours :

- **Contraintes techniques et matérielles** : La disponibilité limitée de certains composants sur le marché local nous a obligés à modifier les schémas initiaux, entraînant des ajustements parfois complexes.
- **Manque d'expérience pratique** : En tant qu'étudiants, nous avons réalisé que la conception de circuits électroniques fonctionnels nécessite une expertise que nous sommes encore en train de développer. Cela a suscité des incertitudes quant à la fiabilité de nos conceptions.
- **Délais et logistique** : Les délais de livraison des composants et des PCB étaient longs, notamment en raison de ruptures de stock chez les fournisseurs nationaux et des temps d'expédition internationaux importants.
- **Gestion de projet** : La coordination des différentes tâches, la gestion du temps et l'anticipation des imprévus ont représenté des défis significatifs

3 Bilan et apports du stage

Ce stage a été extrêmement enrichissant et formateur :

- **Acquisition de compétences techniques** : Nous avons développé nos compétences en électronique, notamment en conception de circuits, utilisation de logiciels de CAO électronique comme KiCad, et compréhension approfondie des composants électroniques.
- **Développement professionnel** : Travailler au sein de Forges de Bazas nous a permis de nous familiariser avec les exigences du milieu industriel et de comprendre les enjeux liés à la manutention et à la sécurité.
- **Gestion de projet** : Nous avons appris à planifier un projet, à gérer les ressources et à prendre des décisions éclairées face aux contraintes.
- **Esprit critique et adaptabilité** : Les défis rencontrés nous ont poussés à analyser nos limites, à chercher des solutions alternatives et à adapter nos objectifs en conséquence.

4 Perspectives et recommandations

Pour l'avenir, nous formulons les recommandations suivantes :

- **Poursuite du projet avec expertise** : Engager des ingénieurs expérimentés pour superviser la réalisation physique des dispositifs assurerait une mise en œuvre réussie et sécurisée.
- **Formation continue** : Mettre en place des formations pour les étudiants et le personnel sur les aspects avancés de l'électronique et de la conception de circuits renforcerait les compétences internes.
- **Optimisation de la chaîne d'approvisionnement** : Établir des partenariats avec des fournisseurs fiables ou envisager des solutions alternatives pour la fabrication des PCB réduirait les délais et les coûts.
- **Validation progressive des prototypes** : Avant de procéder à une production à grande échelle, réaliser des tests sur des prototypes fonctionnels permettrait d'identifier et de corriger les éventuels dysfonctionnements.

En conclusion, ce stage a été une expérience enrichissante qui a non seulement contribué à notre formation professionnelle, mais a également apporté une valeur ajoutée à Forges de Bazas. Les bases posées durant ce projet ouvrent la voie à de futures innovations et améliorations dans le domaine de la manutention industrielle.

Bibliographie

- [1] Forges de Bazas, «Forges de Bazas,» Forges de Bazas, 01 Janvier 2015. [En ligne]. Available: <https://www.forgesdebazas.com/>. [Accès le 01 Octobre 2024].
- [2] Creopack, «Qu'est-ce que la manutention et pourquoi est-elle importante ?,» Creopack, 2024. [En ligne]. Available: <https://creopack.com/fr/articles/quest-ce-que-la-manutention/>. [Accès le 01 Octobre 2024].
- [3] J.-P. Charras, «KiCad EDA Website,» KiCad, 29 Juin 2007. [En ligne]. Available: <https://www.kicad.org/>. [Accès le 01 Octobre 2024].
- [4] Electronique Pratique, «Electronique Pratique,» pp. 18-22, 01 Janvier 2009.
- [5] BCD Semiconductor Manufacturing Limited, «COMPLEMENTARY OUTPUT HALL EFFECT LATCH AH276,» BCD Semiconductor Manufacturing Limited , Nov. 2009 Rev. 1. 4.
- [6] © Diodes Incorporated, «1N4148 / 1N4448 Fast Switching Diodes,» Diodes Incorporated, March 2008.
- [7] Kingbright, «CC56-12EWA 14.22 mm (0.56 inch) Four Digit Numeric Display,» Kingbright, 2020.
- [8] Texas Instruments, «CMOS NOR GATES CD4001B, CD4002B, CD4025B Types datasheet (Rev. C),» Texas Instruments, SCHS015C – Revised August 2003.
- [9] Texas Instruments, «CMOS NAND GATES CD4011B, CD4012B, CD4023B Types,» Texas Instruments, SCHS021D – Revised September 2003.
- [10] Texas Instruments, «CMOS Ripple-Carry Binary Counter/Dividers CD4020B, CD4024B, CD4040B TYPES datasheet (Rev. D),» Texas Instruments, SCHS030D – Revised December 2003.
- [11] Motorola, «DUAL DECADE COUNTER; DUAL 4-STAGE BINARY COUNTER SN54/74LS390 SN54/74LS393,» Motorola.
- [12] Texas Instruments, «CMOS BCD-to-7-Segment Latch Decoder Drivers datasheet (Rev. B),» Texas Instruments, SCHS072B – Revised July 2003.
- [13] I. f. I. a. P. E. C. Institute of Printed Circuits, IPC-2221B FR Norme Générique de Conception du Circuit imprimé, 2012.
- [14] Electronique Pratique, «Electronique Pratique,» pp. 14-19, 01 Avril 2000.
- [15] MicroPlanet, «Thermistance NTC 100K 1%- MicroPlanet Maroc,» MicroPlanet, 2017. [En ligne]. Available: <https://www.micro-planet.ma/produit/thermistance-ntc-100k/>. [Accès le 01 Octobre 2024].
- [16] Texas Instruments, «cmos quad 2-input nand schmitt triggers,» Texas Instruments, SCHS115D – Revised September 2003.

- [17] Texas Instruments, «CD4049UB and CD4050B CMOS Hex Inverting Buffer and Converter,» Texas Instruments, AUGUST 1998 – REVISED JUNE 2020.
- [18] MicroPlanet, «Potentiomètre Rotatif 9 Valeurs 1K-1MΩ- MicroPlanet Maroc,» MicroPlanet, 2017. [En ligne]. Available: [https://www.micro-planet.ma/produit/potentiometre-rotatif-6-valeurs-1k-1m%](https://www.micro-planet.ma/produit/potentiometre-rotatif-6-valeurs-1k-1m/)/. [Accès le 01 Octobre 2024].
- [19] MicroPlanet, «Piézoélectrique Piézo Buzzer- MicroPlanet Maroc,» MicroPlanet, 2017. [En ligne]. Available: <https://www.micro-planet.ma/produit/piezoelectrique-piezo-buzzer/>. [Accès le 01 Octobre 2024].
- [20] Mibbo, «Pushbutton Switch,» Mibbo, 2020.
- [21] Texas Instruments, «CDx4HC138, CDx4HCT138, CDx4HC238, CDx4HCT238 High-Speed CMOS Logic 3- to 8-Line Decoder/Demultiplexer Inverting and Noninverting datasheet (Rev. J),» Texas Instruments, SCHS147J – NOVEMBER 1998 – REVISED NOVEMBER 2021.
- [22] D. f. e. components., «Switching diode 1N4148 / 1N4150 / 1N4448 / 1N914B».
- [23] Motorola, «DECADE COUNTER; DIVIDE-BY-TWELVE COUNTER; 4-BIT BINARY COUNTER SN54/74LS90 SN54/74LS92 SN54/74LS93,» Motorola.
- [24] P. J. E. AOUFI, Cours d'Electronique Numérique, AIAC.
- [25] S. Hymel, *KiCad Tutorial*, DigiKey, 2018.
- [26] U. Reddit, *Post demandant l'aide d'amateurs*, Reddit, 2024.