

Rapport de stage BUT 3 GEII

Lilian Carrière

Stage de 14 semaines au sein du bureau d'études Ramsys

Sujet : Comment concevoir, réaliser et essayer un outillage permettant de réaliser des essais en profondeur sur des cartes de mesures d'impulsions sans avoir besoin d'utiliser des sources radioactives ?

Structure d'accueil : Mirion Technologies Lamanon

Tuteurs : Mme Aurélia Millet-Naas, Mr Alexandre Abellard

Je tiens à remercier l'ensemble de l'équipe Ramsys de m'avoir accueilli au cours de ces 14 semaines de stage.

Je tiens tout particulièrement à remercier Madame Aurélia Millet-Naas qui aura été ma tutrice et qui m'a aidée tout au long de ce stage.

Je tiens également à remercier Monsieur Guilhem Boucheron, manager de l'équipe Ramsys, qui m'a permis de rejoindre l'équipe.

Je tiens aussi à remercier Monsieur Ludovic Montanier pour son aide dans la partie de conception électronique du projet.

Je tiens à remercier Messieurs Philippe Zetler, Pierre-Yves Doutreluingne et Olivier Mouillade qui ont tout fait pour m'aider à m'intégrer au sein de l'entreprise.

Enfin, je tiens à remercier Monsieur Sébastien Buous pour les retours et conseils qu'il m'a donnés pour ma présentation finale.

TABLE DES ILLUSTRATIONS	1
INTRODUCTION	2
I. STRUCTURE D'ACCUEIL	3
1. LE GROUPE MIRION	3
2. MIRION TECHNOLOGIES.....	4
3. MIRION TECHNOLOGIES LAMANON	5
4. BUREAU D'ETUDES RAMSYS.....	6
II. ACTIVITE DU STAGIAIRE	9
1. ENVIRONNEMENT ET NORMES DE TRAVAIL.....	9
2. LE TRAVAIL DU STAGIAIRE	10
2.1. <i>Le cahier des charges du projet</i>	10
2.2. <i>Réalisation du projet</i>	11
2.2.1. Programmation de l'IHM.....	12
2.2.2. Programmation du générateur	15
2.2.3. Mise en place de la communication entre l'IHM et le générateur	21
2.2.4. Conception de la carte d'adaptation de tension	23
III. BILAN D'ACTIVITE DU STAGIAIRE	32
1. VALEUR AJOUTEE POUR L'ENTREPRISE	32
2. EVOLUTION DU PROJET.....	33
2.1. <i>Ajouts potentiels</i>	33
2.2. <i>Comment mieux faire ?</i>	34
3. APPORTS DU STAGE POUR LE STAGIAIRE.....	35
CONCLUSION.....	38
LEXIQUE.....	39
TABLE DES ACRONYMES	39

Table des illustrations

Figure 1 : Organigramme de la hiérarchie au-dessus du stagiaire jusqu'au président du site.....	8
Figure 2 : Interface écran 3.5 pouces.....	14
Figure 3 : Interface Web de la RedPitaya	16
Figure 4 : Courbe de Gauss	17
Figure 5 : Courbe de Gauss générée par la RedPitaya	18
Figure 6 : Impulsion dite "Exponentielle-Gaussienne" générée par la RedPitaya	19
Figure 7 : Impulsion dites "Exponentielle-Miroir" générée par la RedPitaya	19
Figure 8 : Impulsion se rapprochant d'une pulse générée par la RedPitaya	20
Figure 9 : Exemple d'un PileUp avec la dernière forme d'impulsion généré par la RedPitaya	20
Figure 10 : Schéma d'un circuit d'amplification comportant un AOP.....	23
Figure 11 : Schéma comportant un AOP et un potentiomètre permettant de contrôler l'amplification	24
Figure 12 : Schéma fourni par le fabricant du LTC1046	25
Figure 13 : Schéma des LEDs de sélection de canal	25
Figure 14 : Schéma d'intégration du potentiomètre à commande numérique	26
Figure 15 : Schéma d'intégration des borniers à vis	26
Figure 16 : Schéma d'intégration du LT1301	28
Figure 17 : Schéma d'intégration du ICL7662	29
Figure 18 : Schéma du AD8000 et de la partie de contrôle du relai	29
Figure 19 : Visualisation d'une zone du plan de masse pouvant provoquer des perturbations	30

Introduction

Ce stage de fin d'études du BUT3 GEII de 14 semaines fut réalisé au sein du site de Mirion Technologies situé à Lamanon, dont l'activité principale est le développement et la production d'outils de mesures et de sécurité destinés aux centrales et complexes nucléaires. Le secteur du nucléaire est un domaine dans lequel la France excelle et est reconnue à l'international. Il est alors intéressant de réaliser une immersion dans ce milieu pour découvrir les normes et la façon de travailler inhérente à ce secteur. De plus, le site Mirion Technologies de Lamanon dispose de plusieurs bureaux d'études qui prennent part à des démarches de recherche et de développement de solutions électroniques et logicielles. Cette structure est donc idéale pour conclure cette troisième année de BUT GEII au vu du profil de l'étudiant.

Le stagiaire doit donc tenter de répondre à la problématique suivante au cours de son stage :

Comment permettre aux membres de l'équipe Ramsys de mener des essais en profondeur sur leurs cartes de mesure sans avoir la nécessité d'utiliser une source radioactive ?

Cette problématique sera donc traitée par le stagiaire au sein du bureau d'études de l'équipe Ramsys sur le site Mirion Technologies de Lamanon. Il commencera par analyser le cahier des charges et les demandes faites par sa tutrice et son équipe. Puis, il s'attellera aux développements et à la réalisation du projet. Et il finira en menant des essais pour tenter de démontrer le fonctionnement du projet s'il a réussi à développer un premier prototype avant la fin de sa période de stage.

I. Structure d'accueil

1. Le groupe Mirion

Mirion est un groupe industriel et scientifique états-unien dont le siège social se situe à Atlanta. Le groupe comporte deux branches disposant chacune de leurs domaines d'expertise :

- Mirion Technologies, filiale experte dans les domaines des technologies de détection et de captation de rayonnement radioactifs et d'instrumentation pour le nucléaire.
- Mirion Medical, filiale proposant des solutions dans le domaine des technologies médicales liées à la radiologie.

Les ressources du groupe sont allouées à répondre aux besoins de plusieurs secteurs comme la sécurité nucléaire civile et militaire, le matériel de laboratoire et l'instrumentation médicale.

Le groupe possède des installations dans 12 pays, principalement en Europe, en Asie et en Amérique du Nord, garantissant donc une présence mondiale. Fort de cette présence internationale, le groupe Mirion a su diversifier ses solutions pour toucher un plus grand public. Une première partie de la gamme est dédiée à l'utilisation par des membres des forces de l'ordre ou des forces armées pour mener des missions de sécurisation de sites ou de contre-terrorisme. Les produits du groupe peuvent aussi être utilisés par les pompiers, la marine ou les postes de douanes.

Une autre partie de la gamme du groupe est quant à elle destinée à l'usage des éléments et matériaux radioactifs dans un contexte de recherche au sein de laboratoire, ou dans le cadre d'infrastructures de test comme les réacteurs de nouvelle génération. Le groupe propose aussi des équipements voués à une utilisation en hôpital ou en clinique, avec par exemple des instruments de radiologie. Pour finir, l'un des points majeurs de la gamme de produits Mirion est son offre en termes de protection à destination des centrales et des centres de traitement nucléaires.

D'un point de vue économique, Mirion semble être en pleine expansion avec une valorisation de plus de 4,5 milliards de dollars, soit à peu près 4 milliards d'euros, le groupe continuant de prendre en valeur et à gagner des investisseurs. En effet, la valeur des actions en bourse du groupe est en augmentation presque constante depuis avril 2025. Le cours en bourse de Mirion continue d'augmenter et la valeur pourrait bien continuer à croître au cours des prochaines années. Le groupe continue d'investir dans de nouveaux produits et a agrandi son équipe, démontrant ainsi la volonté de continuer à s'étendre.

2. Mirion Technologies

Mirion Technologies est la branche spécialisée dans la conception et la fabrication de solutions pour la détection, la mesure et l'analyse de rayons ionisants à destination du civil et de la défense. La branche Mirion Technologies a été formée en 2006 à la suite du regroupement et du rachat de plusieurs entités par le groupe Mirion. Ces entités sont :

- MGP Instruments (autrefois Merlin Gerin Provence), entreprise fondée dans les années 60 et initialement basée à Grenoble puis à Lamanon. MGP Instrument est une entreprise spécialisée dans l'instrumentation pour le nucléaire, puis dans la radioprotection lors du déplacement vers Lamanon.
- Canberra, née de la fusion de deux entreprises françaises et d'une société américaine. Elle est spécialisée dans la conception d'outillage de spectrométrie et de radioprotection de pointe.
- MGPI H&B (autrefois Hartman & Braun), entreprise de recherche et développement basée en Allemagne spécialisée dans la mesure des rayonnements nucléaires. Leurs produits équipent la quasi-totalité des centrales allemandes.
- Premium Analyse, leader du marché de la détection des gaz radioactifs et du tritium.
- Mirion Technologies IST France, incorporation d'Auxitrol au sein d'IST. Spécialistes des éléments électriques présents au sein des enceintes de confinement des réacteurs.
- Conax, IST-Rees et Quadtek, concepteurs et fabricants d'outillages et de composants adaptés aux conditions extrêmes dans certains secteurs de l'industrie et du nucléaire.

Le regroupement de ces sociétés a permis au groupe Mirion d'acquérir un savoir-faire et des équipes d'experts dans les domaines de la sécurité nucléaire et de la mesure d'éléments radioactifs. Ainsi, le groupe met à profit la diversité des entités de sa branche Mirion Technologies pour développer de nouvelles solutions en utilisant les compétences de chacun.

Les chefs-lieux de Mirion Technologies sont aujourd'hui les sites de Munich et de Lamanon. En effet, étant parmi les deux plus anciennes entités du groupe, MGPI H&B et MGP Instruments ont eu le temps de s'implémenter sur leurs marchés locaux et de s'exporter vers l'étranger. MGP Instruments jouit par exemple des contrats avec EDF et de son réseau de centrales, tandis que la filiale allemande est leader du marché de son pays.

Les produits de la branche Technologies peuvent être utilisés dans de nombreux contextes. Effectivement, ils peuvent aller des dosimètres personnels qui équipent les travailleurs de centrales et les chercheurs, aux outils de mesure de contamination de l'atmosphère d'une pièce, d'un tuyau ou encore d'une conduite. Il est possible d'élargir

ces contextes aux portiques de sécurité lors d'événements publics ou à des outils de recherche de menaces NRBC ; dans des sas de décontamination ou avec des caméras renforcées pouvant être utilisées dans des environnements extrêmes ; et même au sein des zones de confinements de réacteurs pour certains produits. En somme, Mirion Technologies dispose d'outils et d'équipements permettant de détecter les dangers radioactifs dans presque toutes les situations.

Tous ces produits sont développés, assemblés et testés par les équipes de Mirion Technologies au sein de leurs différents complexes avant d'être expédiés ou installés chez les partenaires de la marque.

3. Mirion Technologies Lamanon

Le site Mirion Technologies de Lamanon est le résultat de l'intégration de ce qui était autrefois Merlin Gerin Provence au groupe Mirion. Ce site est divisé en 2 enceintes qui sont appelées Usine Haute et Usine Basse en raison de leur position au sein du village.

Le site de Lamanon est notamment spécialisé dans le développement, la production et la vérification du LP(D)U, un des produits phares de la gamme Mirion Technologies, ainsi que de la production et de l'assemblage des différentes versions et accessoires de celui-ci. Les LP(D)U qui sortent des lignes d'assemblages des sites de Lamanon sont expédiés dans le monde entier et pourront aussi bien équiper des centrales françaises que chinoises.

L'usine basse accueille une zone de production dans laquelle sont assemblés les différents composants des LP(D)U, des cartes de mesures et des accessoires. La production est ensuite contrôlée et testée grâce à des chambres et des cuves permettant de simuler des conditions de température et d'humidité spécifiques, s'assurant ainsi de la résistance des LP(D)U à des environnements auxquels ils pourront être confrontés lors de leur utilisation. Des entrepôts et zones de chargement de marchandises sont également présents sur site pour permettre le stockage et l'export des produits finis directement sur place.

Le site abrite aussi plusieurs laboratoires permettant de réaliser des expériences sur les produits Mirion Technologies, comme tester la réactivité d'une carte de mesure à diverses sources radioactives grâce à des irradiateurs. Ces laboratoires sont utilisés à des fins de vérifications, mais aussi à des fins de recherches d'améliorations et de corrections pour les produits de la gamme.

Les fonctions administratives, commerciales et d'études sont réparties en blocs de fonction dans les étages de l'usine basse. Cela signifie que le personnel de l'usine n'est pas regroupé par compétences, mais qu'une équipe de bureau d'études est composée d'ingénieurs spécialisés dans des domaines différents. Cela permet ainsi de regrouper l'ensemble des compétences nécessaires à l'élaboration d'un produit en un seul et même endroit.

D'un point de vue des affaires, le site de Lamanon bénéficie de la forte présence du secteur du nucléaire en France. En effet, la France est un des pays qui a le plus investi dans l'énergie nucléaire avec une part de près de 67,1 % de l'électricité produite sur l'année 2024 grâce aux centrales nucléaires (selon les chiffres d'EDF). Mirion Technologies Lamanon profite donc de son implantation en France pour équiper les 18 centrales réparties sur le territoire, et étend également sa zone de chalandise avec des partenaires mondiaux, notamment en Chine et aux États-Unis. Partenaire d'EDF depuis plusieurs années et travaillant avec le CEA, le site de Lamanon a su se tailler une place dans l'industrie nucléaire française mais aussi mondiale, lui assurant ainsi une place d'acteur majeur dans le domaine de la sécurité nucléaire.

4. Bureau d'études Ramsys

L'équipe Ramsys est constituée d'une dizaine de personnes. Il s'agit d'un bureau d'études responsable de la conception, du maintien et de l'amélioration des LP(D)U et de leurs cartes de mesure. Le LP(D)U est un boîtier modulable dont la principale fonction est d'informer quant à la présence excessive d'éléments radioactifs dans l'air, dans un conduit ou dans un tuyau. Il est alors relié à un capteur qui doit détecter l'émission de rayonnements ionisants et l'envoyer vers le LP(D)U. Une fois ce rayonnement capturé, la carte de mesure du LP(D)U se charge alors de classifier le rayonnement en fonction de son énergie dans un spectre à 1024 canaux.

Il faut savoir que les rayonnements les plus faibles correspondent aux émissions de particules α (ou Alpha). Ce genre de rayon apparaît à la suite de la désintégration d'un noyau en deux noyaux plus petits dont l'un devient un noyau d'hélium composé de 2 protons et de 2 neutrons. Les rayonnements de moyenne intensité correspondent à des émissions de particules β (ou Béta). Il s'agit ici de l'émission d'un électron ou d'un positon résultant de la transmutation d'un élément vers un autre. Enfin, les rayonnements de forte intensité sont associés à l'émission de particules γ (ou Gamma). Ce dernier type de rayonnement peut être mesuré lorsqu'un photon est émis à la suite de transitions nucléaires. Il existe un autre type de rayonnement ionisant lié à l'activité nucléaire, il s'agit du rayonnement neutronique. Ce dernier rayonnement apparaît des suites d'une fusion ou d'une fission nucléaire. Les principales sources d'émissions de neutrons sont généralement les réacteurs nucléaires et les accélérateurs à particules.

Les capteurs de la gamme Ramsys sont en effet capables de mesurer ces quatre types de rayons ionisants. La méthode utilisée par les cartes de mesure pour catégoriser le type d'éléments radioactifs auquel elles sont exposées peut varier, mais le principe général reste le même. Une fois un certain nombre de rayonnements reçus et traités, le LP(D)U se charge alors de comparer le spectre obtenu, ou une partie de celui-ci, avec des données enregistrées lui délivrant des informations quant à la proportion et la nature des rayonnements émis par plusieurs sources radioactives connues. De cette manière, le

LP(D)U arrive ainsi à identifier l'origine des rayons qu'il a captés, et peut alors indiquer au personnel s'ils sont en danger en fonction des tolérances définies par l'utilisateur.

Le terme de LP(D)U désigne en réalité les deux variantes existantes du boîtier. Une première version appelée LPU est constituée d'un boîtier en métal avec des entrées et des sorties pour l'alimentation, des capteurs et des modules de monitoring ou de signalisation. Une seconde version appelée LPDU désigne quant à elle le même boîtier auquel est greffé un module de contrôle avec des boutons, des lumières, un écran et un buzzer. Cette seconde version permet de se servir du dispositif comme outil de surveillance sans avoir besoin de rajouter des éléments derrière.

Ce LP(D)U est un des produits phares de Mirion Technologies. En effet, il est présent dans un grand nombre de centrales nucléaires en France et dans le monde. Le LP(D)U offre la possibilité de facilement modifier sa configuration en interchangeant les cartes de mesures présentes dans le boîtier. En effet, le principal atout de ce LP(D)U est que les cartes de mesures qu'il utilise sont faites de sorte qu'elles puissent être interchangées facilement. Ce remplacement se fait en dévissant le panneau du dessus du LP(D)U et en retirant la carte de mesure. Puis, il suffit alors de glisser une nouvelle carte avec son panneau et de le revisser. Cela présente aussi l'avantage de permettre une plus grande durée de vie au LP(D)U car en cas de panne de la carte de mesure, il suffit de la remplacer par de nouvelles, et aussi de maintenir le système à jour en intégrant les cartes de nouvelle génération.

Les cartes de mesures utilisées par le LP(D)U sont des composants cruciaux au fonctionnement des dispositifs Ramsys. Ces cartes abritent les processeurs et FPGA utilisés pour l'analyse et l'étude des impulsions perçues par les capteurs. La diversité de ces cartes est due à l'évolution de la gamme et à la diversification des cas d'usage des LP(D)U, mais aussi en réponse aux besoins spécifiques liés à l'identification de certains éléments.

L'équipe Ramsys est elle-même subdivisée en plusieurs pôles ayant chacun leur spécialisation :

- Électronique
- Logiciel
- FPGA
- Embarqué
- Architecture produit et gestion de projet

Ces pôles sont généralement composés d'une à trois personnes ayant sensiblement les mêmes compétences techniques. Cela permet au personnel d'échanger quant à la démarche à suivre, ou d'échanger sur les différentes approches qu'il est possible d'apporter à la résolution d'un problème.

Toute cette équipe est pilotée par un manager présent au sein de l'open space, facilitant les échanges avec la hiérarchie et permettant d'apporter une meilleure compréhension des aspects techniques du projet à ce dernier.

Le stagiaire travaille donc en collaboration avec les différents pôles de l'équipe Ramsys, principalement le pôle embarqué et le pôle électronique qui lui apporteront le soutien technique dont il a besoin. Au cours de son travail, il bénéficiera donc de l'aide de sa tutrice (Ingénieure du pôle embarqué) et d'un Ingénieur du pôle électronique.

La place du stagiaire au sein du site de Lamanon peut donc être résumée grâce à l'organigramme suivant :

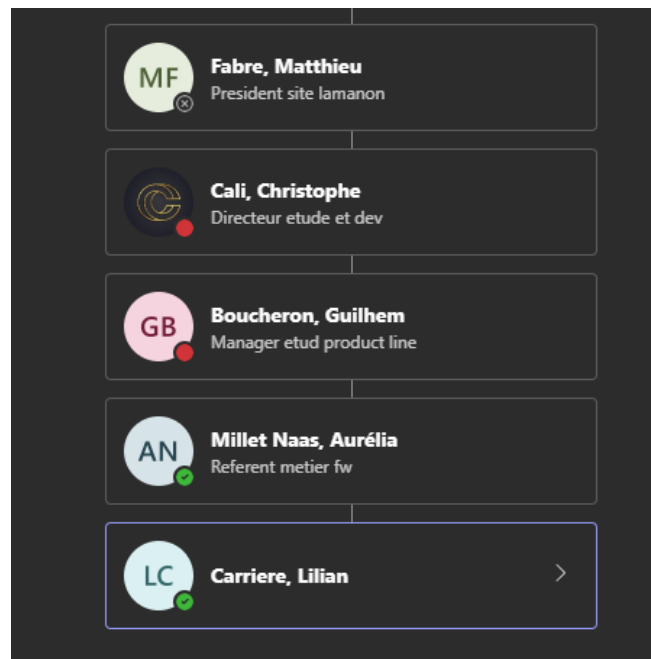


Figure 1 : Organigramme de la hiérarchie au-dessus du stagiaire jusqu'au président du site

II. Activité du stagiaire

1. Environnement et normes de travail

Le stage étant réalisé au sein d'un bureau d'études, et le stagiaire ne nécessitant pas de passer par des zones à risques lors de ses déplacements, aucun équipement de sécurité spécifique ne lui a été remis. En effet, les dosimètres et chaussures de sécurité ne sont obligatoires que dans certaines zones des bâtiments, principalement les zones de production et certains laboratoires.

Les équipements remis au stagiaire à son arrivée sont :

- Un ordinateur portable et ses accessoires
- Un badge d'accès personnel

Pendant son stage, le stagiaire a utilisé le matériel suivant :

- Un oscilloscope numérique
- Alimentations de laboratoire stabilisées
- Une carte de développement RedPitaya STEMLab 125-14
- Un écran TFT 7 pouces ESP32 Elecrow CrowPanel
- Un écran TFT 3.5 pouces ESP32 Elecrow CrowPanel
- Un LPDU dédié aux essais
- Diverses connectiques
- Équipements de microsoudure

Outils logiciels utilisés pendant le stage :

- Visual Studio Code
- Arduino IDE
- Kicad 9.0
- Altium
- LTSpice
- Git et GitHub
- MagicDraw
- Pack Office 365

Le stagiaire n'est pas tenu d'assister aux réunions d'équipes hebdomadaires et doit évoluer en autonomie. Il peut tout de même s'appuyer sur l'aide du personnel technique de l'équipe.

Le travail du stagiaire n'est pas soumis à des normes, si ce n'est le respect de la confidentialité des données de Mirion Technologies. Le projet ne devant pas être commercialisé, il n'est donc pas nécessaire de répondre à des besoins de certification ou de classement.

2. Le travail du stagiaire

2.1. Le cahier des charges du projet

L'objectif pour le stagiaire est de concevoir, de réaliser et, si possible, de tester un dispositif permettant de mener à bien les essais en profondeurs des LP(D)U par des membres de l'équipe Ramsys et Mirion Technologies. Plusieurs appareils permettant de générer des pulses existent déjà, cependant, ils ne remplissent pas les critères définis par l'équipe pour mener à bien des essais approfondis des cartes de mesure et des LP(D)U.

Le besoin auquel doit répondre le stagiaire est donc le suivant :

Concevoir, réaliser et tester un outil de génération d'impulsions modulables permettant au personnel de Ramsys de mener des essais sur les produits de la gamme sans nécessiter l'utilisation de sources radioactives.

Les exigences et contraintes principales du projet sont les suivantes :

1.1. Génération de pulse

- Le module doit pouvoir générer des pulses de différentes longueurs, formes et énergies ainsi que des PileUp.

1.1.1. Configuration de l'énergie

- L'énergie de la pulse doit être configurable

1.1.2. Configuration de la fréquence

- La fréquence de génération des pulses doit être configurable

1.1.2.1. Configuration du mode

- La fréquence de pulse doit pouvoir être fixe ou statique

1.1.3. IHM

- La configuration doit pouvoir être faite sur une IHM basée sur un écran (tactile ou non) et des boutons (non obligatoire)

1.2. Profil de pulse

- Des profils de pulses correspondants aux différents détecteurs de la gamme doivent pouvoir être sélectionnables sans avoir à les recréer

1.3. Pilotage PC

- Le système doit pouvoir être pilotable via un PC (dans un second temps)

1.4. Envoi de spectre

- Le module doit pouvoir envoyer des spectres de manière simulée

1.5. Autonome

- Le système doit pouvoir fonctionner de manière autonome sans branchement sur un ordinateur

1.6. Compatibilité Ramsys

- Le module doit pouvoir s'interfacer avec les différentes cartes de mesure Ramsys (adaptation de signal, etc....)

Pour mener à bien son projet, le stagiaire a dû faire des choix techniques, mais aussi s'accommoder de certaines solutions déjà sélectionnées, notamment la carte de développement RedPitaya STEMLab 125-14, l'écran TFT Elecrow 7 pouces (dans un premier temps) et enfin l'écran TFT Elecrow 3.5 pouces. Le choix des logiciels utilisés pour la programmation et la conception de la carte est laissé au stagiaire. L'utilisation de certains logiciels de documentation et de simulation est suggérée au stagiaire.

2.2. Réalisation du projet

Le stagiaire a fait le choix de vouloir développer ce projet étape par étape en scindant les différentes composantes de celui-ci.

La première étape consiste alors en la prise en main des outils de développement logiciels qui seront utilisés, et la création d'une première interface et d'un premier générateur pour réaliser des essais sur oscilloscope.

Une fois cela fait, la suite du projet est axée sur la réalisation d'une carte d'adaptation de tension qui doit être insérée entre la sortie de la RedPitaya et le LP(D)U pour rehausser la tension.

La troisième étape de ce projet est la mise en commun des deux premières parties pour tenter une première mise en marche du système et corriger les erreurs de développement.

Enfin, la dernière étape du projet est la mise en marche réelle du projet et la réalisation d'essais pour s'assurer du bon fonctionnement du dispositif. Étant donné la nature complexe du projet, il est dès le départ annoncé qu'il est très peu probable que le projet arrive à terme avant la fin du stage. Le stagiaire doit donc tenter de faire avancer le projet autant que possible en le documentant, pour permettre à une autre personne de reprendre son travail lorsque cela sera possible.

Cette division des tâches peut aussi être vue comme une division des compétences mises en œuvre, en effet, la première partie met en avant les compétences de programmation du stagiaire, tandis que la seconde met en avant celles de conception électronique. Enfin, les troisième et quatrième parties sont quant à elles mixtes et démontrent les capacités d'intégration et de vérification du stagiaire.

2.2.1. Programmation de l'IHM

L'IHM devant être développée doit permettre de contrôler l'ensemble des fonctionnalités du système et apporter un visuel sobre et pratique permettant une utilisation simple et intuitive par le personnel. Le stagiaire fait donc le choix de se baser sur un oscilloscope comme élément de référence dans la conception du projet. En effet, le système entre dans la catégorie d'instrument de mesure et d'essai et pourrait être comparé à un oscilloscope simplifié.

Une partie destinée à l'affichage des signaux générés permet à l'utilisateur de savoir à quoi ressemblent les pulses transmises au LP(D)U sans avoir besoin d'utiliser un outil de visualisation. Une partie de configuration doit permettre à l'utilisateur de choisir quel type de signal il souhaite émettre parmi une liste de profils prédéfinis, et de régler les paramètres de génération s'il le souhaite.

Dans un premier temps, le stagiaire utilise un écran tactile 7 pouces, CrowPanel 7.0" HMI ESP32 Display de chez Elecrow. Cet écran a une résolution de 800 par 480 pixels et est doté d'un module tactile. Il utilise un ESP32 permettant ainsi de le programmer en utilisant plusieurs environnements comme Arduino ou ESP-IDF.

L'IDE d'Arduino permet de comprendre rapidement comment fonctionnent les différentes composantes logicielles et électroniques de l'écran, notamment l'utilisation de la librairie LVGL. Cette librairie open source offre à l'utilisateur un panel de commandes permettant de générer des éléments graphiques et de gérer leurs interactions. Ces éléments peuvent être de diverses natures, on retrouve notamment des boutons, des graphiques, des LED, des encarts de textes ou encore la possibilité de créer des fenêtres différentes.

Dans un second temps, le logiciel Arduino est mis de côté pour favoriser Visual Studio Code et son extension ESP-IDF. ESP-IDF est un environnement proposé par les développeurs des processeurs ESP (ESP32, ESP8266). Cet environnement est plus complexe et nécessite de comprendre la structure profonde du programme. En effet, il permet de configurer chaque détail du projet, ce qui offre la possibilité de limiter la présence de fichiers non nécessaires, et ainsi d'obtenir un meilleur contrôle des ressources du composant.

Un projet ESP-IDF est fourni par les développeurs de Elecrow et permet de ne pas avoir à chercher l'ensemble des librairies et dépendances nécessaires au fonctionnement de l'écran tactile. Le stagiaire récupère donc ce projet comme base de travail pour l'interface du système.

La première étape dans la conception de cette IHM est de produire la partie graphique afin de pouvoir ensuite déterminer les interactions à mettre en place.

Pour commencer, le choix est fait de créer une interface qui puisse être utilisée sans provoquer de fatigue visuelle. L'utilisation d'un fond sombre et de couleurs froides sera donc privilégiée, ainsi que la restriction quant au nombre d'animations présentes. Ainsi, une palette de couleurs est définie pour l'ensemble des éléments graphiques. Les éléments de configuration, comme les boutons et clavier, seront bleus, à l'exception du bouton d'envoi qui sera rouge. Le graphique, quant à lui, aura un fond noir et son tracé sera jaune afin de pouvoir le distinguer clairement. Les repères, textes et éléments de style adopteront une couleur blanche ou grise pour conserver la neutralité de l'interface.

La mise en place des éléments graphiques est fortement simplifiée grâce à LVGL. En effet, la génération et la configuration d'un élément comme l'écran type oscilloscope peut être faite en utilisant une dizaine de lignes de commandes. Il suffit alors de se référer au site ReadTheDoc de LVGL pour obtenir l'ensemble des fonctionnalités disponibles selon la version utilisée.

La programmation de la partie graphique prend donc peu de temps et consiste principalement en l'agencement dans l'espace des différents éléments.

Un graphique servant d'écran de visualisation du signal prend la majeure partie de l'écran ; à sa droite se trouve la zone de configuration du type d'impulsion avec la sélection des différents profils. Et en bas se trouve la zone permettant d'afficher et de modifier les valeurs d'amplitude et de fréquence du signal (dans un premier temps, la fréquence est utilisée afin de déterminer la durée du signal et non son rythme de génération).

Un second graphique est placé au-dessus de la zone de sélection de profil afin de prévisualiser la forme du signal. Cela permet à l'utilisateur de se faire une première idée de ce à quoi ressemblera le signal qu'il va générer.

L'ajout d'une LED de vie en bas à droite de l'écran permet d'attester du fonctionnement normal de la partie graphique. La LED doit clignoter à une fréquence de 1 Hz, indiquant ainsi que l'écran n'est pas figé, ou qu'il n'est pas ralenti.

L'appui sur l'un des boutons de profil allume la LED correspondante pour indiquer qu'il est sélectionné, et met à jour les paramètres de simulation pour correspondre à un type d'impulsion défini. Il est ensuite possible pour l'utilisateur de modifier l'amplitude et la fréquence en cliquant dans la zone de texte en face de la ligne correspondante, et d'utiliser le clavier numérique pour entrer la valeur désirée. Une fois le paramétrage fait, l'utilisateur peut alors appuyer sur le bouton « Send Parameters » pour valider et transmettre les paramètres via une liaison UART. Une section intitulée « Merged Pulse » permet de générer deux impulsions rapprochées. Cette fonction est utilisée pour simuler la présence de PileUp. Elle dispose de son propre jeu de paramètres permettant ainsi de régler l'amplitude et la position de la seconde pulse par rapport à la première. La valeur « P2 Start » est comprise entre 0 et 100, correspondant au décalage par rapport à la

première pulse. 50 correspond à un empilement parfait, les valeurs inférieures à 50 provoquent une avance de la seconde pulse, et les valeurs supérieures à 50 provoquent un retard. La valeur « P2 Amp » est comprise entre 0 et 100 et correspond à un pourcentage de l'amplitude de la première pulse.

La réception de l'écran initialement prévu pour le projet intervient 8 semaines après l'arrivée du stagiaire. Ce nouvel écran étant plus petit et utilisant des composants différents, il est nécessaire de réaliser une adaptation du code conçu pour le précédent. Le nouvel écran est un TFT 3.5 pouces de chez Elecrow. Cet écran utilise une version différente de l'ESP32, et intègre un module de détection du toucher également différent. Cette fois, le toucher n'est plus capacitif mais résistif, bien que cela ne change pas grand-chose à l'approche de la programmation, cela nécessite tout de même de réaliser une légère adaptation du programme.

Le plus gros défi d'adaptation repose sur le changement de driver d'affichage. Le précédent écran utilise le ILI9341, tandis que le second utilise le ILI9488. Bien que la base soit la même, il faut reconfigurer l'ensemble des fichiers de descriptions du projet pour permettre l'utilisation du nouveau driver. Un projet compatible avec l'écran 3.5 pouces est proposé par les équipes de Elecrow, ce qui permet de gagner un peu de temps dans la récupération des librairies et des drivers.

La nouvelle résolution de l'écran est en 320 par 480 pixels (le driver ILI9488 demande d'écrire sous ce format bien que l'écran soit en mode paysage), ce qui implique aussi une perte d'espace disponible pour l'IHM. Les éléments superflus sont donc supprimés, à savoir le second graphique permettant d'afficher la forme de pulse sélectionnée, et les LED permettant de catégoriser l'énergie de la pulse en fonction de sa surface.

L'agencement global de l'IHM reste néanmoins similaire, à ceci près que le graphique n'occupe plus autant de place qu'avant.

La partie interne de génération et de configuration des paramètres n'est pas directement impactée par le changement d'écran et ne nécessite donc pas de modifications.

L'interface qui sera utilisée jusqu'à la fin du stage est donc la suivante :



Figure 2 : Interface écran 3.5 pouces

2.2.2. Programmation du générateur

La carte de développement RedPitaya STEMLab 125-14 est souvent utilisée par des radioamateurs qui souhaitent pouvoir générer, recevoir et traiter des signaux RF et HF. Elle intègre un processeur ARM Cortex-A9 couplé à un FPGA Xilinx Zynq 7010 SoC, lui offrant donc les capacités nécessaires à la génération des signaux attendus.

Elle dispose aussi de deux sorties RF SMA permettant d'y brancher des câbles coaxiaux pouvant être raccordés à un oscilloscope afin d'analyser les signaux générés. Ces sorties ont une impédance de 50 Ω et sont protégées contre les courts-circuits. Elles sont capables de produire des signaux continus ou ayant une fréquence maximale de 50 MHz avec une tension maximale de 1 V et minimale de -1 V. La carte est aussi dotée de 2 entrées RF SMA permettant de réaliser de l'analyse de signaux.

Deux borniers mettent à disposition plusieurs broches. Parmi ces broches, on retrouve 16 broches digitales 3.3 V et 8 broches analogiques. Ces 8 broches analogiques sont réparties en 4 entrées 3.5V et 4 sorties 1.8 V. Il y a aussi des branchements pour des liaisons SPI, I2C, UART et CAN.

La RedPitaya peut être alimentée par Micro USB noté « PWR » ou bien par une broche 5 V, et consomme un maximum de 2 A. Des broches de sorties d'alimentations 5 V, 3.3 V et -4 V sont également disponibles au niveau des deux borniers.

Enfin, un port USB 2.0, un port Micro USB noté « CON » pour console, et un port Ethernet 1Gb sont disponibles et permettent l'utilisation de la carte via un réseau, ou en y connectant directement un ordinateur.

Le fabricant de la carte propose un système d'exploitation Linux modifié qui doit être installé sur une carte Micro SD. Ce système d'exploitation inclut les drivers et les fichiers de configuration permettant de faire fonctionner les divers composants de la carte, ainsi que les images du FPGA.

Une fois le système installé et la carte démarrée, il existe alors deux moyens d'utiliser la RedPitaya.

Le premier consiste en l'utilisation de l'interface et d'application directement proposés par le fabricant. Pour y accéder, il faut raccorder la RedPitaya à un routeur ou un ordinateur via le port Ethernet, puis, une fois la carte alimentée, il suffit d'entrer « rp-xxxxxx.local/ » dans un navigateur de recherche. (Les six x correspondent aux six derniers chiffres de l'adresse MAC de la RedPitaya, cette adresse est présente sur des étiquettes fournies avec la carte, dont une est installée sur le port Ethernet).

Une fois ceci fait, une page s'ouvre, donnant accès à l'interface suivante :

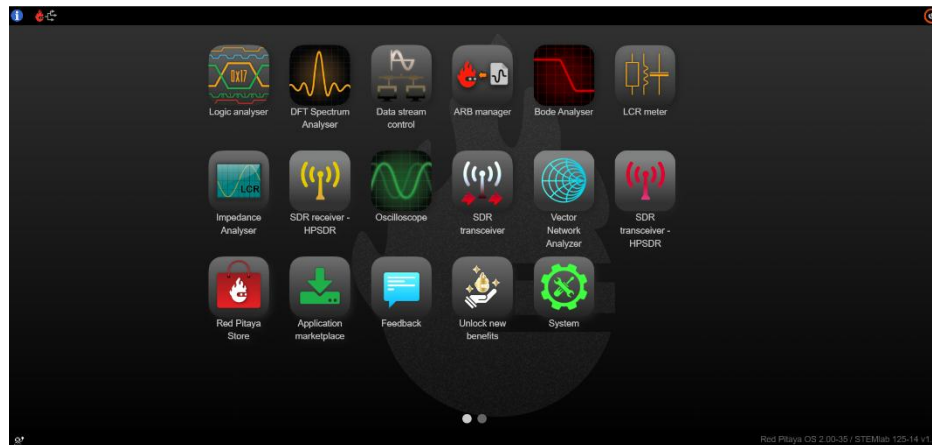


Figure 5 : Interface Web de la RedPitaya

Cette interface donne l'accès à plusieurs applications comme un oscilloscope ou un générateur de signaux, par exemple. Quelques applications de développement de programme sont aussi disponibles. L'avantage de cette solution est que la prise en main des composants comme le FPGA ou les convertisseurs est rapide et simple, mais le développement de programmes nécessite de passer par des surcouches.

La deuxième solution est celle d'accéder directement à la RedPitaya par terminal de commande. Cela peut être réalisé via le port MicroSD Console, ou en utilisant un ordinateur connecté par Ethernet et la commande SSH.

L'avantage de cette solution est qu'elle offre un accès total aux ressources de la RedPitaya et permet le développement de programmes C. L'utilisation des composants comme le FPGA peut être faite directement via des programmes utilisant des fichiers du système d'exploitation, ou en se servant de l'API fournie par les développeurs. Cette API prend la forme de bibliothèques C et Python incluant une liste de commandes permettant de contrôler tous les éléments de la carte plus simplement.

Bien que la programmation en Python soit possible, c'est le C qui sera utilisé pour programmer la carte. Ce choix est fait dans le but de limiter les surcouches et de gagner en réactivité et en rapidité d'exécution.

L'objectif de la programmation de la RedPitaya est d'obtenir un accès au FPGA et de le programmer pour générer des impulsions permettant de tester les cartes de mesures des LP(D)U.

La première étape dans la réalisation du générateur de pulse est de comprendre comment il est possible de générer un signal analogique à partir d'un programme C. Les exemples disponibles sur le site de RedPitaya permettent d'obtenir des sinusoïdes, des signaux triangles, carrés ou encore des rampes. Il est possible de choisir la fréquence du signal, son amplitude, sa forme, le nombre de périodes que l'on souhaite générer, si l'on

souhaite qu'il se répète, et à quelle fréquence. Ainsi, il est facile d'obtenir à peu près tout type de signaux classiques et de modifier leurs paramètres. Or, les pulses émises par des éléments radioactifs ne correspondent à aucun de ces signaux. Heureusement, une des fonctions de l'API permet de générer un signal à partir d'une liste de points.

Cette fonction prend en paramètres une série de 16384 points pour générer l'équivalent d'une période de signal. L'obtention d'une première pulse « réaliste » peut alors être faite en utilisant des séries de points faites à la main, ou en utilisant des modèles mathématiques qui génèrent chacun des 16384 points. Cette seconde méthode est intéressante car elle permet de modifier la forme des pulses en modifiant certains paramètres des modèles et donc d'automatiser la génération de pulses modulables.

Un exemple de modèle mathématique utilisé pour la génération de pulse est celui de la fonction de Gauss, produisant un signal appelé courbe de Gauss grâce à ce type d'équation :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x-\mu}{2\sigma}\right)^2}$$

La forme générale de cette courbe de Gauss est la suivante :

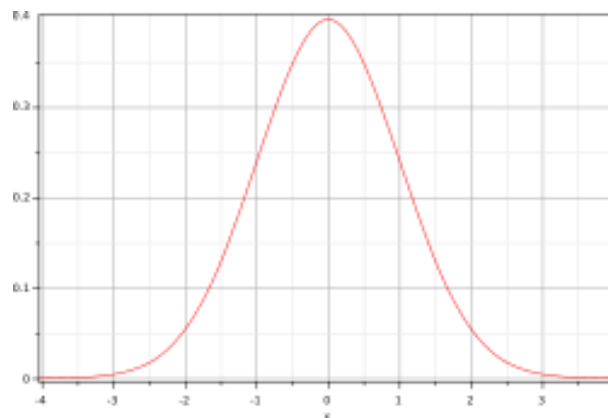


Figure 6 : Courbe de Gauss

Une formule simplifiée inspirée de la précédente est alors utilisée pour créer un signal se rapprochant de la courbe précédente :

$$x = Ae^{-\frac{x^2}{(2b)^2}}$$

Avec A représentant l'amplitude du signal et b permettant de modifier l'allure de la courbe. Ainsi, pour $A = 16$ et $b = 2$, on obtient la courbe suivante :

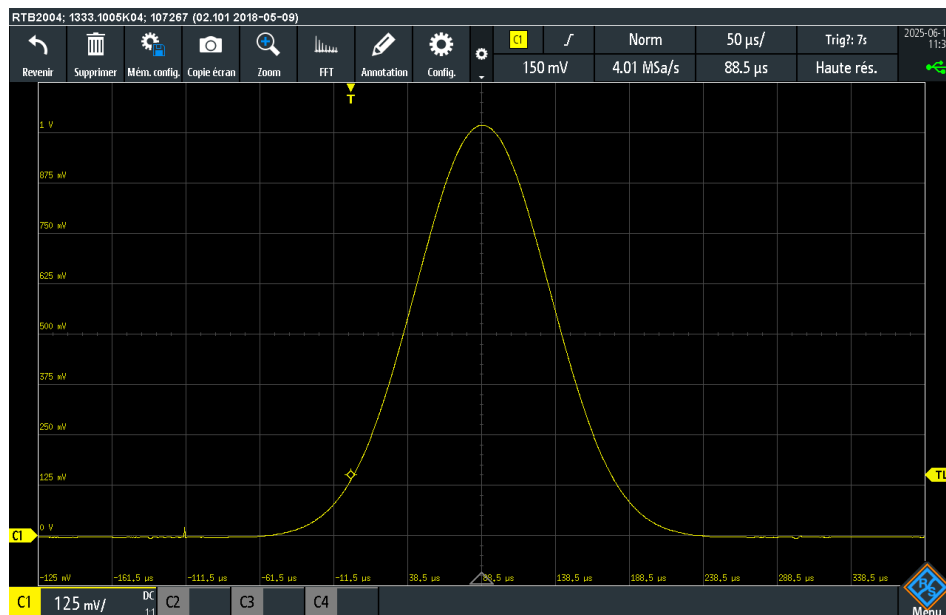


Figure 7 : Courbe de Gauss générée par la RedPitaya

Afin de mener des essais sur la génération de signaux, 3 autres formes d'impulsions sont implémentées. Cela permettra aussi de choisir le modèle le plus adéquat à la génération de pulses.

La première forme ajoutée scinde la courbe de Gauss en deux et ne conserve que la seconde partie. Le début de la courbe est remplacé par un signal suivant une logique exponentielle. La formule utilisée pour la génération n'est donc pas continue et est en réalité la concaténation de deux équations différentes. Elle n'est donc pas exprimable par une équation mathématique. Son intégration dans le programme se fait via des conditions « If Else » permettant de diviser le signal en plusieurs zones.

Le signal obtenu par ce genre de génération ressemble plus ou moins à une grande vague ou à un aileron de requin comme le montre l'image suivante :

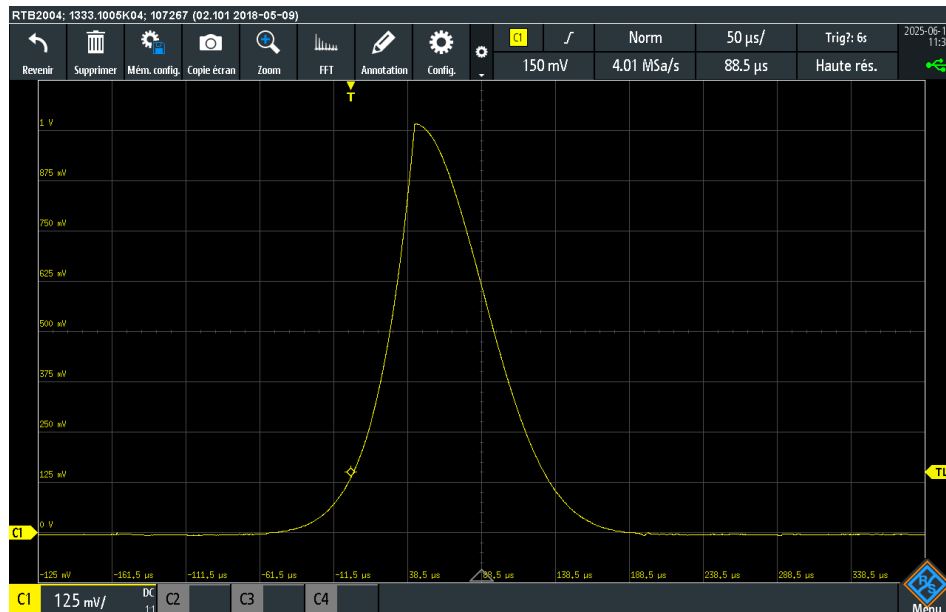


Figure 8 : Impulsion dite "Exponentielle-Gaussienne" générée par la RedPitaya

Le second type de génération ajoutée utilise la partie exponentielle précédemment exprimée, et applique une symétrie au centre du signal. Le signal qui en résulte est le suivant :

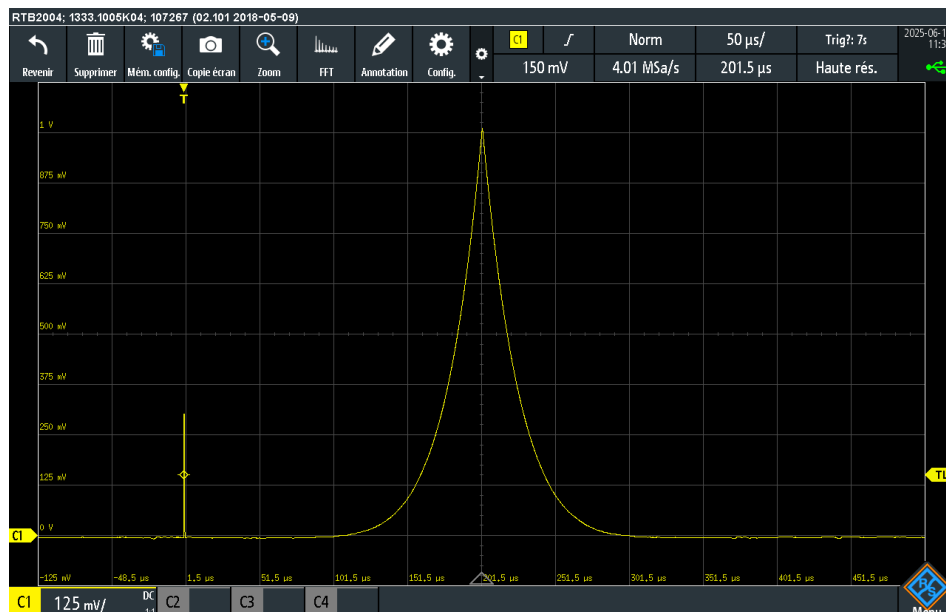


Figure 9 : Impulsion dites "Exponentielle-Miroir" générée par la RedPitaya

Enfin, la dernière forme d'impulsion est censée être la plus proche d'une pulse d'énergie. La montée est instantanée et la descente utilise une courbe exponentielle descendante. On obtient alors des signaux similaires à celui de l'image suivante :

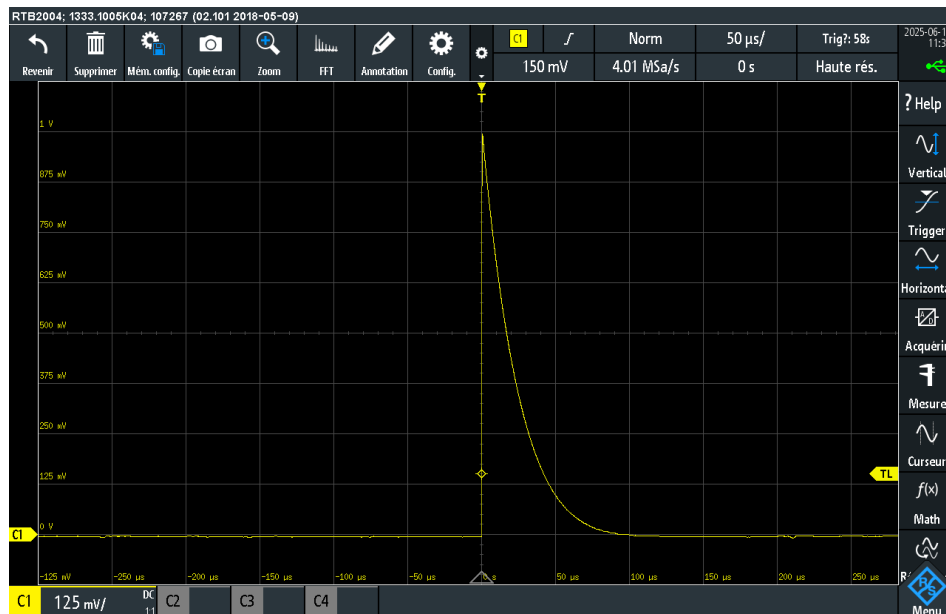


Figure 10 : Impulsion se rapprochant d'une pulse générée par la RedPitaya

Ce type d'impulsion correspond plus ou moins au genre de signaux que les cartes de mesures des LP(D)U reçoivent. C'est donc sur ce modèle que sera basé le générateur d'impulsion.

Le cahier des charges indique qu'il doit être possible de générer du PileUp afin de pouvoir tester tous les cas de figure auxquels peut être exposé un LP(D)U en utilisation réelle. Un exemple de PileUp peut donc être le suivant :

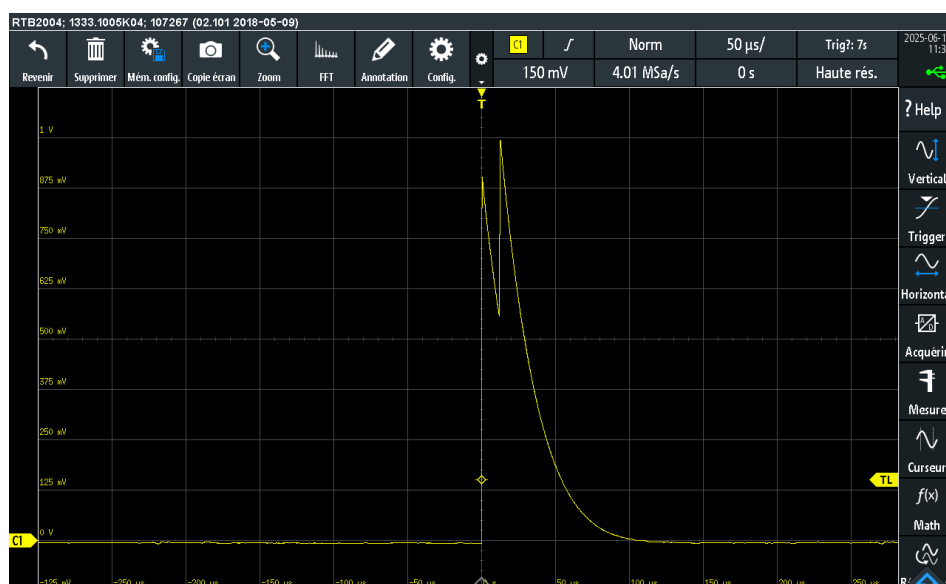


Figure 11 : Exemple d'un PileUp avec la dernière forme d'impulsion généré par la RedPitaya

Cette fonctionnalité est mise en tant qu'option de génération, c'est-à-dire que l'utilisateur décide de la présence d'une seconde impulsion et de ses paramètres. Ainsi, il peut choisir de réaliser des empilements plus ou moins parfaits en déplaçant la seconde pulse sur la période du signal.

2.2.3. Mise en place de la communication entre l'IHM et le générateur

Maintenant qu'il est possible de générer des pulses avec la RedPitaya, il faut dorénavant mettre en place la communication entre l'IHM sous ESP32 et la carte de développement, afin de permettre un contrôle de cette dernière par l'écran.

La RedPitaya et l'écran tactile admettent tous deux des connexions pour des communications UART, SPI et I2C. Cependant, du côté de l'écran, certains modules utilisent déjà la communication SPI, et l'I2C demande la mise en place d'un protocole maître-esclave sur les deux appareils. Le choix fait est donc de privilégier la simplicité et d'utiliser la liaison UART. Elle offre notamment l'avantage d'être simple d'utilisation et de pouvoir facilement s'interfacer avec un ordinateur en utilisant un adaptateur USB.

Le principe de la communication entre l'écran et la carte est le suivant :

- L'écran transmet les paramètres de génération que l'utilisateur a choisis à la RedPitaya.
- La RedPitaya envoie alors une version condensée du signal généré à l'écran, puis elle renvoie les paramètres. Ce renvoi de paramètres permet à l'utilisateur de voir si une corruption est apparue au cours du transfert.

L'envoi des paramètres depuis l'écran est fait sous la forme d'une chaîne de caractères segmentée de la façon suivante :

- Une première partie indique la fréquence du signal généré (cela correspond à l'ensemble du signal et non juste la partie non nulle se trouvant au centre)
- Puis l'amplitude que l'on souhaite donner au signal
- Puis le modèle mathématique à utiliser
- La position de départ de la seconde impulsion
- Et enfin l'amplitude de la seconde impulsion par rapport à la première

Le message pour la génération d'une pulse simple utilisant le modèle réaliste, d'une fréquence de 1.5 kHz et d'amplitude 600 mV est donc :

1500:600:3:0:0

Les deux dernières valeurs ne sont traitées que si l'écran envoie un message en amont du transfert des paramètres pour signifier le passage en double génération.

La RedPitaya démarre alors le processus de génération à la réception de la chaîne. Ce processus est divisé en plusieurs étapes afin de séquencer la génération de signaux.

Premièrement, le programme se charge d'extraire les composantes du message et de les garder en mémoire. Avec ces valeurs, le programme génère alors le signal condensé qui doit être renvoyé à l'écran. Cette génération se fait sur 1024 valeurs et permet d'obtenir un signal dont l'allure globale sera similaire à celle du signal sur 16384 points. Ces valeurs étant comprises entre -1000 et 1000 (donc entre -1V et 1V), il n'est pas possible de réaliser un envoi en une seule chaîne de caractères. En effet, la communication UART se fait par transmission de données converties en binaire, or dans le cas présent, cela signifie qu'il faut envoyer 8 bits par caractère.

Donc, dans le cas extrême où toutes les valeurs nécessitent 4 caractères (donc 1000 ou de -100 à -999), cela signifie qu'il faut envoyer 1024×32 bits, soit 32768 bits. Réaliser un tel envoi en une seule fois sans synchronisation présente de forts risques de corruption des données. Et effectivement, des tests ont démontré que le signal reçu comportait systématiquement une erreur dans les 100 premières valeurs, entraînant ainsi la corruption du reste des données.

Pour pallier ce problème, le choix est fait de fabriquer un pseudo protocole permettant l'envoi de données les unes après les autres. Cela prendra donc plus de temps, mais assurera la bonne réception des données et leur intégrité. Ce protocole est très rudimentaire, il consiste en l'envoi d'un message « Start » signalant que la RedPitaya s'apprête à transférer les données, puis, le transfert des données est réalisé de façon unitaire. Chaque point est envoyé dans une trame différente, et une fois les 1024 valeurs envoyées, un message « End » indique à l'écran que toutes les données ont été envoyées.

L'écran bascule en mode d'écoute dès qu'il reçoit le message « Start » et stocke les valeurs qu'il reçoit dans une chaîne de caractères en séparant chaque point par le caractère « : ». Ainsi, lorsqu'il reçoit le message « End », il désactive le mode d'écoute et enclenche le traitement des données en utilisant plus ou moins le même procédé d'extraction des données que la RedPitaya. Il reconstruit ainsi le signal et l'affiche dans le graphique en ajustant la taille de celui-ci pour conserver une résolution optimale.

Dès lors que cette étape est achevée, la RedPitaya poursuit ses opérations et lance la génération du signal analogique, puis le transmet via la sortie RF. Le signal affiché sur l'oscilloscope ressemble donc au signal de l'écran, à la seule différence que l'écran ne tient pas compte de la fréquence choisie, ne changeant donc jamais la largeur du signal. En effet, le but de l'affichage sur écran est de s'assurer que le signal ait la forme et la hauteur souhaitée ; la largeur peut simplement être indiquée via un texte.

A ce stade, le dispositif est déjà capable de générer un signal compris entre $\pm 1V$, de choisir un type de pulse et ses paramètres, de simuler du PileUp et tout cela peut être fait via l'IHM de l'écran tactile.

Comme dit précédemment, l'un des avantages de l'UART est la facilité à mettre en place la communication avec un ordinateur. Effectivement, plusieurs commandes ont été

intégrées à l'écran afin de permettre un contrôle depuis un ordinateur. De même pour la RedPitaya, il suffit d'envoyer une chaîne de caractères respectant le bon formatage pour déclencher la génération d'un signal.

2.2.4. Conception de la carte d'adaptation de tension

L'objectif final du projet est de pouvoir connecter le dispositif directement à un LP(D)U en utilisant l'entrée des cartes de mesure. Cependant, la plupart des capteurs et détecteurs normalement raccordés aux cartes de mesure utilisent une tension comprise entre -5 V et 5 V. Or, la tension des sorties RF de la RedPitaya est limitée à ± 1 V.

Il est donc nécessaire d'adapter la tension du signal de sortie si l'on souhaite pouvoir tirer profit de l'ensemble de la plage de mesure des cartes et simuler les conditions de fonctionnement réelles du LP(D)U.

Une carte d'adaptation doit donc être réalisée par le stagiaire. Cette carte doit permettre de transformer un signal d'entrée ± 1 V en un signal de sortie ± 5 V, tout en conservant son intégrité.

Des simulations LTSpice sont réalisées tout au long de ce développement afin de permettre au stagiaire de réaliser des essais et des mesures et ainsi pouvoir démontrer le fonctionnement des circuits réalisés. Ces simulations permettent d'essayer et de comparer plusieurs composants, et donc de choisir ceux qui sont les plus adéquats pour le projet.

Pour réaliser cette adaptation, il est possible d'utiliser un circuit se basant autour d'un AOP. L'avantage de ce type de circuit est qu'il est simple, qu'il ne requiert pas l'utilisation de composants complexes et ne nécessite que très peu d'éléments.

Le schéma d'un tel circuit est le suivant :

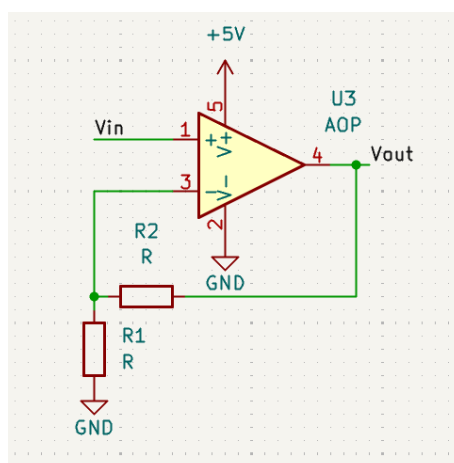


Figure 12 : Schéma d'un circuit d'amplification comportant un AOP

Le calcul suivant permet d'obtenir l'amplification du circuit (entre la broche Vin et la broche Vout de l'AOP) :

$$A = \frac{R1 + R2}{R1} \text{ ou alors } G_{dB} = 20 \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$$

En fixant la valeur de R1 à 1 kΩ, on détermine alors que R2 vaut 4 kΩ pour une amplification de 5 (soit un gain d'approximativement 13.98 dB)

Pour gagner en précision et offrir une plus grande compatibilité au système, le choix est fait de remplacer la résistance R2 par un potentiomètre à commande numérique afin de pouvoir choisir le gain pendant l'utilisation.

Le schéma devient alors :

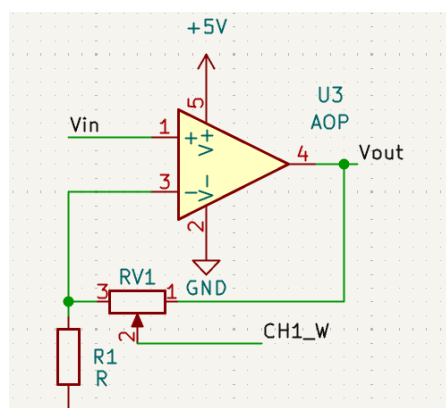


Figure 13 : Schéma comportant un AOP et un potentiomètre permettant de contrôler l'amplification

Dans cette configuration, il suffit à l'utilisateur d'augmenter ou de diminuer la résistance du potentiomètre pour décider du gain. Plus le potentiomètre aura une résistance élevée, plus le gain le sera aussi. Cette modification permet notamment d'augmenter les possibilités de paramétrages d'amplitude qui s'appliquent au signal. Une première amplitude est appliquée dans la plage ± 1 V, puis le potentiomètre permet de choisir avec précision dans la gamme $\pm 5 \times V_{max}$ (avec V_{max} étant la tension maximale en entrée de la carte). Pour que l'AOP puisse délivrer une tension de sortie qui soit comprise entre ± 5 V, il faut qu'il soit alimenté par une tension de +5V sur sa broche VCC et une tension de -5V sur sa broche VSS. La RedPitaya propose une sortie en +5 V mais pas de sortie en -5 V. La carte d'adaptation doit donc comporter un circuit qui permette de générer une tension de -5 V.

Il existe plusieurs solutions pour obtenir une tension de -5 V à partir d'une tension de 5 V. L'une d'elles est l'utilisation d'un convertisseur de tension comme le LTC1046 de chez Analog Device. Ce composant admet une tension d'entrée positive et sort son équivalent négatif.

Le schéma d'utilisation standard fourni par le fabricant est le suivant :

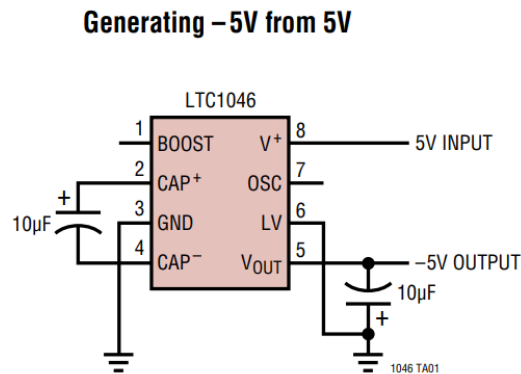


Figure 14 : Schéma fourni par le fabricant du LTC1046

Avec ce dispositif, la carte dispose ainsi d'une source d'alimentation +5 V et d'une source d'alimentation -5 V.

Il est aussi décidé de permettre à l'utilisateur de savoir si un canal est utilisé, on ajoute alors deux LED au niveau des sorties de la carte afin d'indiquer si l'un des canaux est sélectionné. Le schéma des LED est le suivant :

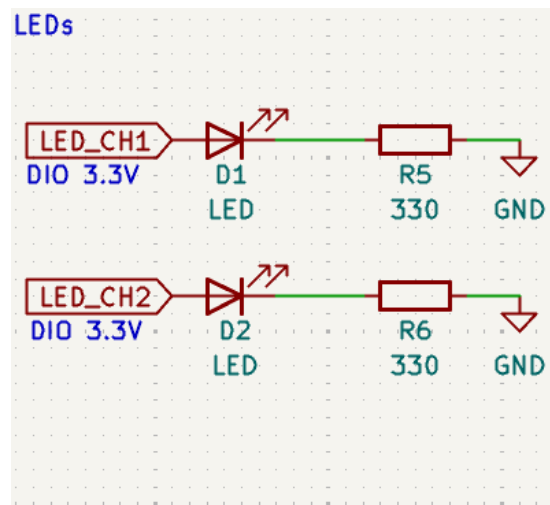


Figure 15 : Schéma des LEDs de sélection de canal

Les LED choisies sont les APT2012LVBC/D de chez Kingbright qui délivrent une lumière bleue. Le constructeur indique une tension de passage nominale de 2.65 V et une intensité de 2 mA. Une résistance de 330 Ω est donc ajoutée après chaque LED pour limiter le courant.

Les connecteurs utilisés pour les entrées sont des SMA avec une impédance de 50 Ω pour être adaptés aux sorties de la RedPitaya elles aussi en SMA 50 Ω . Les connecteurs utilisés pour les sorties sont des BNC pour faciliter le raccordement avec les entrées des cartes de mesures des LP(D)U. Le choix de la prise BNC pour la sortie permet de s'interfacer facilement avec les autres outillages de mesure comme les oscilloscopes.

Le potentiomètre à commande numérique sélectionné est le MCP4251 en version 5 k Ω . Ce potentiomètre se contrôle via une liaison SPI et comporte 2 voies, donc 2 potentiomètres distincts. Sa version SOIC 14 broches offre l'avantage de prendre peu de place sur le PCB. Son alimentation se fait en +5 V, permettant de garder l'alimentation fournie par la RedPitaya.

Son intégration dans le schéma est la suivante :

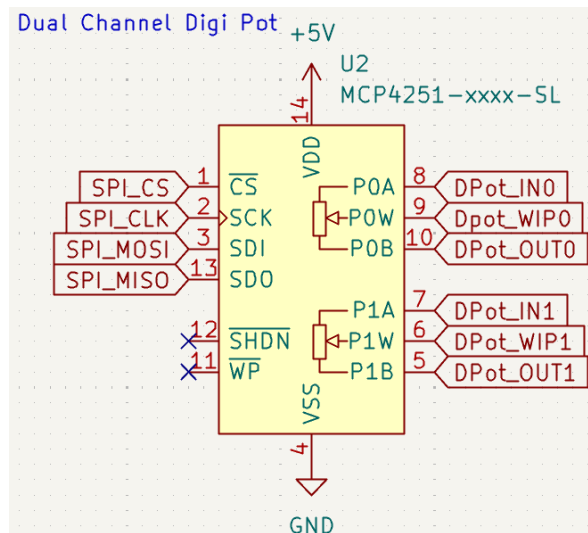


Figure 16 : Schéma d'intégration du potentiomètre à commande numérique

L'utilisation de bornier à vis pour les connexions avec la RedPitaya est intéressante car elle permet de garder une certaine flexibilité quant aux pins qui seront utilisés par la suite sur la carte de développement, et permet de réaliser des mesures sur les signaux plus aisément. Deux borniers sont donc placés sur la carte, un pour les alimentations et un autre pour les signaux de commandes.

Leur intégration sur le schéma est la suivante :

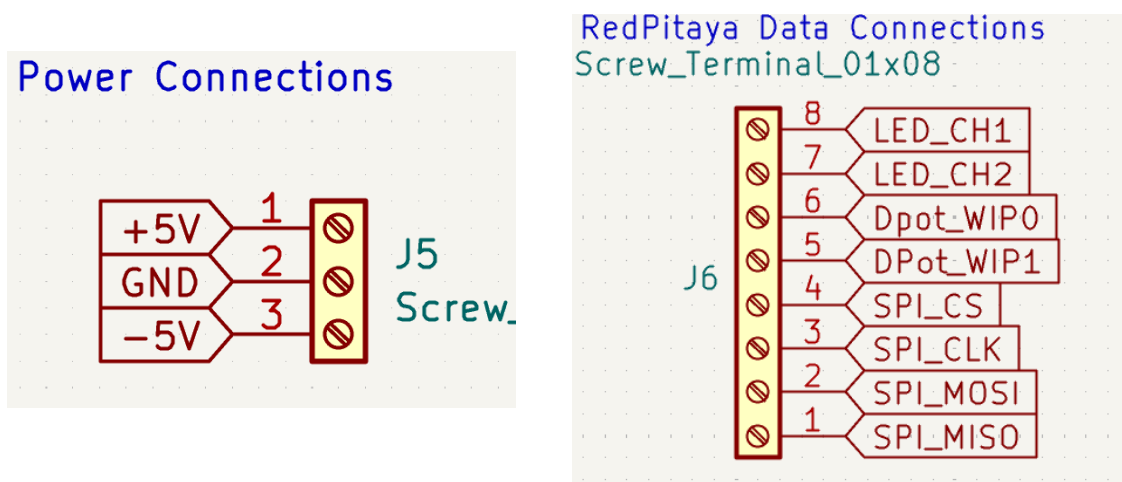


Figure 17 : Schéma d'intégration des borniers à vis

Le circuit imprimé doit servir de base pour le dispositif, il comprend donc une partie vide permettant d'accueillir la RedPitaya et d'y visser des supports. Les ports de la carte de développement doivent rester accessibles même lorsqu'elle sera placée dans un boîtier. La carte est donc placée sur l'une des extrémités de la carte d'adaptation. Un léger espace est laissé entre la RedPitaya et le bord de carte afin d'y faire passer les câbles SMA SMA.

De cette manière, les ports USB et Ethernet sont toujours accessibles depuis l'extérieur du circuit imprimé, et les sorties et entrées SMA se trouvent, elles, à l'intérieur du dispositif. Les entrées SMA de la carte d'adaptation sont donc placées à côté des sorties pour limiter la longueur des câbles et faciliter le raccordement.

Les ports de sorties sont quant à eux mis de l'autre côté de la carte, laissant de la place au centre pour le circuit d'adaptation, et permettant de regrouper l'ensemble des connectiques externes du même côté. Les LED d'indication sont placées à côté des sorties pour indiquer leur utilisation.

Les borniers à vis sont placés à proximité de la RedPitaya et lui sont parallèles afin de faciliter la connexion tout en préservant de la place. Les connecteurs SMA sont sur la gauche, les BNC à droite et les borniers à vis en haut. La partie se trouvant au-dessus des borniers à vis est occupée par la RedPitaya. Un certain espace est laissé entre les connecteurs afin de faciliter les manipulations de raccordement. (Se référer à l'annexe 3 pour voir le positionnement des éléments sur la carte)

Les composants du circuit d'adaptation sont disposés de façon à respecter la logique de progression du signal dans la carte de gauche à droite. En haut à gauche se trouve donc la partie d'alimentation, au centre se trouve l'AOP et ses résistances, et à droite le potentiomètre à commande numérique.

Cette première version de la carte d'adaptation ne tient pas compte de l'adaptation d'impédance pour la sortie et ne protège pas les signaux des interférences. Une seconde itération de la carte est donc conçue, cette fois-ci en tenant compte de ces problématiques.

Le changement impliquant le plus de modifications est l'adaptation d'impédance de sortie. Elle peut être réalisée en ajoutant un pont diviseur de tension avant la sortie. Cette adaptation implique donc une modification dans la transmission du signal. En effet, en abaissant la résistance du circuit à $50\ \Omega$, l'intensité nécessaire pour maintenir la tension du signal de sortie augmente. Si l'on souhaite avoir une sortie $\pm 5\text{ V}$ adaptée en $50\ \Omega$, il faut donc une intensité de 0.1 A . De plus, l'utilisation d'un pont diviseur de tension implique une chute de la tension en sortie. Il faut donc rehausser le signal pour pallier cette chute. L'AOP actuel ne permet pas de fournir une intensité aussi élevée, et est limité en tension. Pour résoudre ce problème, une nouvelle solution est trouvée : l'utilisation d'un premier

AOP pour la partie amplification, et l'utilisation d'un second AOP pour isoler le premier circuit et fournir l'intensité demandée par la sortie.

L'AOP retenu pour la première tâche est le AD8034 de chez Analog Device en raison de son format incluant deux voies distinctes et de ses caractéristiques électriques. Le potentiomètre à commande numérique est remplacé par sa version de 10 k Ω pour atteindre une amplification maximale de 11 (soit un gain d'environ 20.83 dB), permettant d'atteindre le ± 10 V demandé.

Ce nouvel étage d'amplification doit maintenant délivrer un signal de sortie en ± 10 V. Il faut donc alimenter L'AOP avec des tensions d'au moins +10 V et -10 V. Pour des raisons de standardisations et afin d'offrir plus de flexibilité si cela est nécessaire, le choix est fait d'utiliser des tensions d'alimentation en +12 V et -12 V. En effet, les composants utilisant une tension d'alimentation de 12V sont nombreux, et de plus, cela permet à l'utilisateur de dépasser les ± 10 V pour le signal s'il en a besoin.

Pour générer ces alimentations +12 V et -12 V, il faut ajouter de nouveaux circuits dans la partie alimentation de la carte. La génération du 12 V requiert l'ajout d'un circuit basé sur un convertisseur DC DC. Le LT1301 de Analog Device permet de convertir un signal 5 V en signal 12 V en utilisant le circuit suivant :

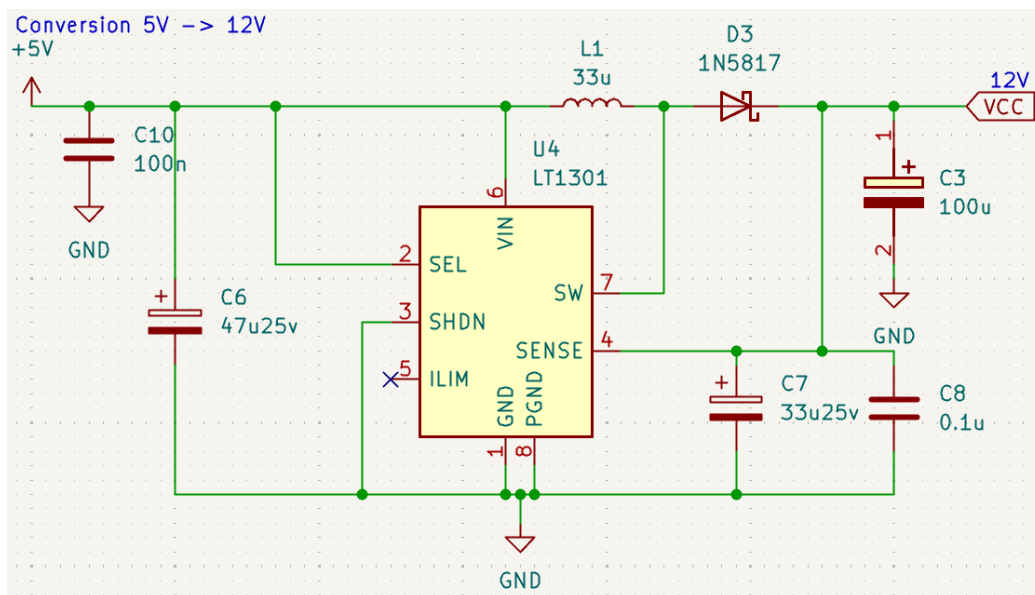


Figure 18 : Schéma d'intégration du LT1301

La génération du -12 V est quant à elle effectuée de la même façon que l'était le -5 V. Cependant, le LTC1046 admet des tensions d'entrée et de sortie comprises entre 1.5 V et 6 V. Le composant est alors remplacé par le ICL7662 qui admet des tensions de fonctionnement comprises entre 4.5 V et 20 V. Son intégration schématique est la même que le LTC1046 :

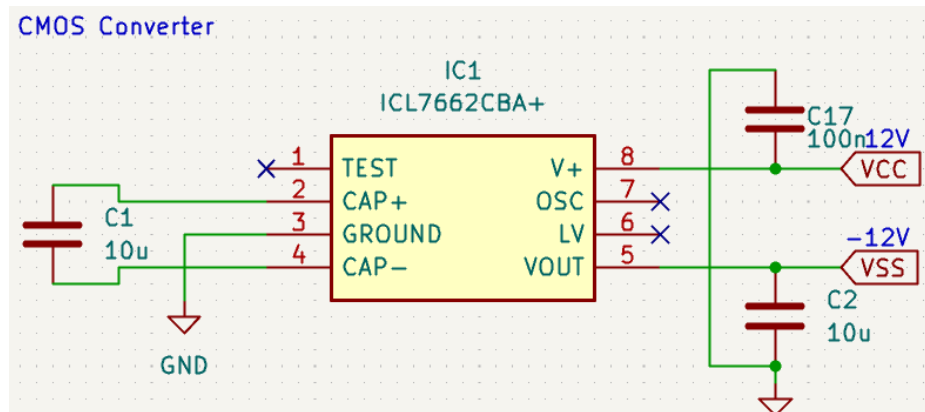


Figure 19 : Schéma d'intégration du ICL7662

Les tensions d'alimentation présentes sur la carte finale sont donc +5 V, +12 V et -12 V.

L'AOP retenu pour la partie isolation et puissance est le AD8000 de chez Analog Device, en raison de sa capacité à délivrer un courant de sortie important. Cet AOP est monté en circuit suiveur placé entre l'étage d'amplification et le pont diviseur de chaque voie.

Pour gagner en modularité, le système doit dorénavant pouvoir changer d'impédance de sortie. Comme pour un oscilloscope, la carte doit pouvoir basculer entre une impédance de sortie de 50 Ω et une haute impédance. Pour ce faire, il faut ajouter un relai piloté par la RedPitaya en amont de chacune des sorties.

Le relai choisi est un HE721A1210 de Littefuse en raison de son format compact. Cette version contient une bobine fonctionnant en 12 V. Le choix de la tension de bobine de 12 V est dû à la volonté de réduire l'intensité nécessaire à faire commuter le relai. Un circuit de commutation avec un transistor NPN est installé afin de permettre à la RedPitaya de faire contacter les relais grâce à deux sorties numériques 3.3 V.

Le schéma de cette partie d'isolation et d'adaptation est le suivant :

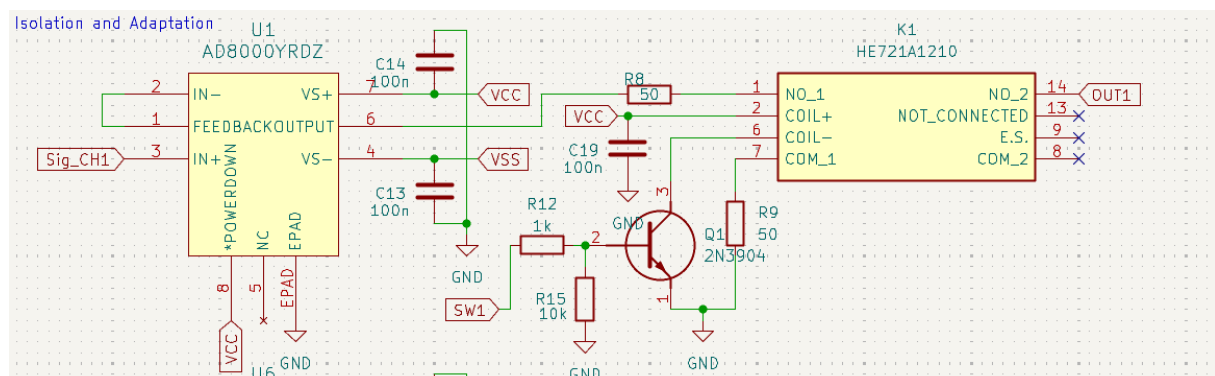


Figure 20 : Schéma du AD8000 et de la partie de contrôle du relai

Le second point d'amélioration de la carte d'adaptation est la prise en compte des risques d'interférences du signal. Plusieurs condensateurs de 100 nF sont ajoutés sur les entrées d'alimentation pour limiter au maximum les perturbations induites par les composants et les lignes d'alimentation.

Le circuit imprimé connaît lui aussi de nombreux changements liés à l'ajout de nouveaux composants. L'agencement général du circuit d'adaptation est revu afin de cloisonner la partie alimentation de la partie signal. Cela permet notamment de réduire les perturbations liées à la proximité des pistes. Cette partie alimentation est donc concentrée en haut à gauche de la carte, tandis que la partie adaptation du signal se trouve, elle, sur le centre et la droite du circuit. (Se référer à l'annexe 6 pour voir la disposition des composants sur la seconde carte).

Les composants de la partie signal sont aussi rapprochés les uns des autres pour raccourcir la longueur des pistes qui transportent les signaux.

Toujours dans l'optique de diminuer les perturbations, un maillage des plans de masse avant et arrière est mis en place. Ce procédé consiste en l'ajout de via qui relie les plans de masse présents sur les deux faces du PCB. Cela permet notamment d'éliminer l'effet antenne qui peut être induit dans certaines parties du plan de masse isolé du reste.

Par exemple :

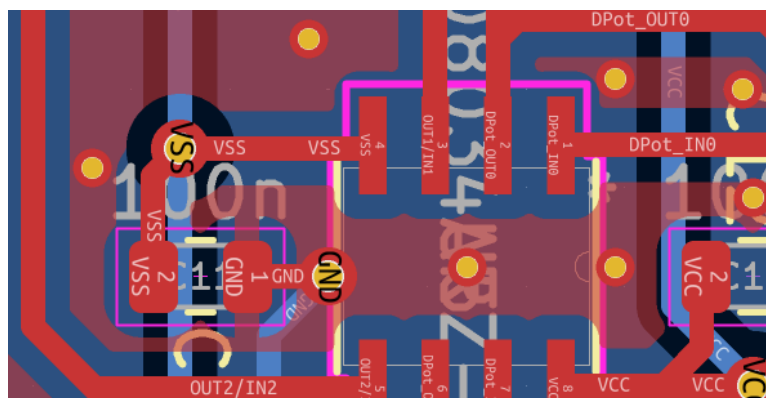


Figure 21 : Visualisation d'une zone du plan de masse pouvant provoquer des perturbations

Dans le cas ci-dessus, le logiciel a généré une zone de plan de masse entre les broches de l'AOP et le condensateur. Or, l'espace disponible n'étant pas très large, on observe l'apparition de fines bandes du plan de masse menant à une partie isolée du reste du plan. Cette zone pourra donc être induite par la fréquence du signal qui passe non loin, et créer des interférences par effets antenne. Pour contrer cela, des vias de masse sont alors ajoutées pour relier la couche supérieure à la couche inférieure du plan de masse, détruisant ainsi la potentielle zone d'interférence.

Dès l'arrivée de la carte et des composants, le stagiaire commence donc à assembler celle-ci, et à mener les premiers essais. La première étape de cette vérification est de s'assurer qu'il n'y a pas de court-circuit ou de composant mal orientés. Pour ce faire, le stagiaire vient sonder l'ensemble de la carte avec un ohmmètre pour s'assurer de la bonne valeur de l'ensemble des résistances, puis réalise des tests de continuité pour tenter de trouver une potentielle erreur de montage. Cette phase ne révèle aucune erreur et il est donc possible de passer à la première alimentation de la carte.

La carte est alimentée en +5 V sur le bornier prévu à cet effet, via une alimentation de laboratoire stabilisée. Cette première mise sous tension permet de constater qu'une intensité importante circule dans la carte. En effet, l'alimentation indique une valeur de presque 460 mA avec de légères variations, et il est également possible de remarquer que certaines des broches du LT1301 deviennent très chaudes. De plus, bien que l'on retrouve toujours la tension de +5 V, la tension de +12 V n'est ici que de +6.6 V, et la tension -12 V est, elle, inexistante. Il y a donc un problème lié à l'alimentation quelque part dans la carte.

Afin de mieux comprendre d'où vient le problème, le stagiaire retire la partie servant à l'amplification et à l'écoulement du signal pour ne conserver que les convertisseurs et redresseurs. En alimentant de nouveau la carte, on constate cette fois-ci que l'intensité se situe aux alentours de 1 mA avec des variations maximales allant jusqu'à 3 mA. De plus, il est aussi possible de mesurer les alimentations +5 V, +12 V et -12 V sur le bornier de la carte.

En reconnectant l'un des AOP et en alimentant de nouveau la carte, on constate que l'intensité retourne à une valeur de 460 mA et que le LT1301 chauffe. Ce défaut arrive peu importe lequel des AOP est connecté, signifiant donc que le problème se trouve dans la partie d'alimentation en elle-même. En effet, il est possible de constater qu'une erreur a été commise lors de la conception de la carte. Le composant qui se charge de la génération de la tension -12 V est limité dans l'intensité qu'il peut délivrer. Or, il s'avère que cette valeur est inférieure au minimum demandé pour l'alimentation des AOP. La thèse retenue est donc que l'ICL7662 n'est pas capable de soutenir une telle puissance, provoquant ainsi un effondrement de la tension et une augmentation de l'intensité, provoquant à son tour la chauffe du LT1301.

Une solution à ce problème peut être de remplacer la partie de génération des tensions +12 V et -12 V par une carte d'adaptation trouvable sur le commerce et de la connecter au niveau du bornier de mesure.

Le stage arrive à son terme sur cette dernière réalisation. A ce stade, le projet n'est pas encore entièrement fonctionnel et nécessite sa reprise par une autre personne pour mener à bien les dernières étapes de développement du dispositif. Pour le moment, le projet est doté d'une IHM fonctionnelle, d'un générateur pouvant créer tout type de

signaux et communiquer avec l'IHM, et la première version de la carte d'adaptation devra permettre de réaliser des essais et de servir de base pour les prochaines itérations.

III. Bilan d'activité du stagiaire

1. Valeur ajoutée pour l'entreprise

A l'issue de ce stage, je n'ai pas eu le temps de mener le développement de mon projet à terme. J'ai tout de même réalisé la mission qui m'a été attribuée puisque ma tâche au cours de ce stage n'était pas nécessairement de rendre un outil fini en 14 semaines, mais plutôt de mener un travail de prototypage et de tenter de comprendre tous les éléments qu'il faut mettre en œuvre pour que l'équipe de Ramsys, ou d'autres stagiaires, puissent terminer ce projet. J'ai donc eu le temps de travailler sur l'interface utilisateur, sur le programme du générateur, et le développement de la première version de la carte d'adaptation.

Pour ce qui est du développement de l'IHM, j'ai échangé à plusieurs reprises avec certains membres de l'équipe pour comprendre quels étaient leurs besoins et leurs préférences, et ainsi pouvoir répondre à leurs attentes. Je suis alors parvenu à une première version de cette interface qui permettait de satisfaire un maximum de demandes tout en gardant en intuitivité et en simplicité.

Pour la partie de développement du programme du générateur, je me suis d'abord concentré sur le fait de pouvoir obtenir un signal qui soit proche de ce que l'on demande, sans pour autant perdre trop de temps à développer le profil parfait pour les cartes de mesure du LP(D)U. Cela m'a donc permis de mettre en place toutes les fonctionnalités attendues de la RedPitaya dans ce projet, comme la communication UART avec l'interface, la possibilité de modifier les paramètres de génération pendant l'utilisation, et la génération d'un retour visuel pour l'écran.

Enfin, la conception de la carte d'adaptation aura été l'une des parties les plus chronophage de mon projet. J'ai produit plusieurs versions de la carte en fonction des retours du pôle électronique et ai réussi à aboutir à une version qui semblait être viable. Bien que ce ne fut pas le cas, puisque j'ai commis une erreur au niveau de la sélection d'un composant de la partie alimentation. En effet, malgré le fait que le circuit d'alimentation soit correct et qu'il fonctionne parfaitement à vide, l'ajout des AOP sur le reste de la carte provoque un écroulement de la tension car le convertisseur -12 V n'est pas bien dimensionné.

Le projet n'est donc pas encore fonctionnel et demande encore d'y consacrer plusieurs heures afin de pouvoir aboutir à un premier prototype de générateur d'impulsions modulables qui correspondent aux attentes principales fixées par les membres de l'équipe.

C'est pourquoi j'ai produit plusieurs documents permettant de comprendre ma démarche tout au long du développement du projet. Ces documents seront remis à l'équipe Ramsys afin de faciliter la passation et de faire gagner du temps aux prochaines personnes qui seront amenées à travailler sur le dispositif de test. La fin du stage s'est notamment illustrée par la présence d'une présentation de mon travail au sein de l'entreprise à des personnes qui pourraient être susceptibles de travailler sur le projet après mon départ. Cette présentation m'a permis de faire un point dans mon avancée, mais aussi d'échanger avec les personnes présentes quant à certains choix que j'ai faits ou sur les tâches qu'il reste à accomplir avant la mise en marche d'un premier prototype.

Les travaux que j'ai effectués sont donc pour le moment mis en suspens jusqu'à ce que les membres de l'équipe disposent du temps nécessaire pour reprendre le développement, ou qu'un stagiaire ou un alternant se voit confier la mission de poursuivre le projet.

2. Evolution du projet

2.1. Ajouts potentiels

La durée du stage ne m'a malheureusement pas permis de voir la fin de mon projet, cependant, j'ai quand même eu le temps de penser à certains ajouts, certaines modifications qu'il aurait pu être intéressant de développer. Pour le moment, le projet a pour but de servir d'outillage autonome alimenté par prise secteur et relié à un LP(D)U. Je pense que le système pourrait alors encore gagner en autonomie en ajoutant un emplacement pour une batterie amovible. Cela permettra de pouvoir prendre le dispositif en production et de réaliser des essais sans avoir besoin de se trouver à proximité d'une prise électrique. Il faudrait alors choisir des batteries assez puissantes pour permettre une utilisation sur plusieurs heures, voire jours, tout en ayant la possibilité de les recharger assez vite.

Toujours dans l'optique de faire gagner en autonomie au projet, je pense que le fait de rajouter la possibilité de programmer l'outil pour qu'il exécute des actions à des moments définis par l'utilisateur pourrait permettre de rendre les essais plus complets. Par exemple, si l'on souhaite pouvoir tester la réaction d'une carte de mesure sur plusieurs heures, il faudrait qu'il soit possible de charger des scénarios aléatoires comme cela est déjà prévu, mais qu'il soit aussi possible de placer des événements à des moments précis du test. De cette façon, on peut simuler une perturbation du signal qui correspondrait peut-être à un problème spécifique rencontré par un client dans une de ces installations.

Un autre point que j'aurais voulu pouvoir étudier est la possibilité d'ajouter une carte mémoire servant de stockage de données de simulations. Par exemple, que l'utilisateur puisse extraire l'ensemble des actions effectuées lors de sa session de test pour comprendre exactement ce qu'il s'est passé. En horodatant l'ensemble des données, il

serait alors possible de simplifier l'identification du moment où le LP(D)U a pu avoir un comportement anormal. Ce système serait alors une sorte de boîte noire pouvant être utilisée pour reproduire des scénarios provoquant une panne ou un comportement non souhaité. Je pense qu'un ajout de ce type pourrait être très constructif pour les personnes pouvant être amenées à utiliser le dispositif et permettre d'économiser beaucoup de temps.

2.2. Comment mieux faire ?

Si j'avais eu plus de temps, j'aurais souhaité pouvoir refaire la carte d'adaptation en prenant en compte les erreurs que j'ai commises pour la première version et mener les essais jusqu'au bout. Le défaut lié à l'ICL7662 aurait pu être évité assez simplement en utilisant d'autres méthodes pour la génération des tensions +12 V et -12 V. Comme dit plus haut, l'utilisation d'une carte trouvable dans le marché fournissant +12 V et -12 V aurait permis de s'assurer du bon fonctionnement de cette partie et gagner du temps sur les essais de la partie d'amplification.

J'aurais également voulu revoir ma méthode de communication entre l'IHM et le générateur. Bien que l'UART présente l'avantage d'être facile à prendre en main et rapide, il n'est cependant pas parfaitement fiable et il peut arriver que certaines données soient endommagées. En effet, comme son nom l'indique, l'UART se base sur une transmission dite asynchrone. Cela signifie que les composants prenant part à cet échange ne sont pas forcément sur la même horloge, il y a donc le risque qu'une partie d'un message soit mal comprise ou qu'il ne soit tout simplement pas pris en compte. L'utilisation d'une liaison synchrone pourrait donc être plus intéressante pour ce projet puisque le générateur attend de recevoir des ordres depuis l'écran. Une liaison I2C aurait pu être mise en place avec l'assignation d'un maître et d'un esclave. Cela permettra ainsi d'obtenir un meilleur format « Action – Réaction » ou « Question – Réponse » et donc de rendre la communication plus fiable.

Enfin, j'aurais aussi aimé pouvoir essayer de mettre des entrées analogiques pour le contrôle de l'interface et de la RedPitaya. Bien que l'aspect entièrement numérique de l'IHM actuelle permette de gagner en place et en simplicité d'utilisation, je pense que l'ajout de boutons et de potentiomètres physiques aurait pu être une réelle amélioration. L'utilisation de potentiomètres physiques permettrait un réglage rapide des valeurs de configuration du signal. De plus, l'utilisation actuelle de l'écran 3.5 pouces n'est pas optimale en raison de sa composante tactile. En effet, la version de l'écran utilisée embarque un film résistif qui se base sur un principe de déformation pour déterminer la position d'un appui. Cela permet certes de l'utiliser même en ayant des gants isolants, mais cette solution pose un problème dans le cas présent. Pour qu'un appui soit pris en compte, il faut réussir à déformer le film à l'endroit où l'on souhaite interagir avec l'écran. Il est donc nécessaire d'exercer une certaine force avant que l'action soit perçue. Cela provoque donc une certaine gêne lors d'une utilisation avec les doigts. Il est possible

d'utiliser le stylet en plastique fourni par le fabricant, mais encore une fois, une utilisation rapide avec les doigts aurait été préférable pour le confort de l'utilisateur. Le premier écran utilise lui un modèle capacitif similaire à celui que l'on peut retrouver sur nos smartphones et tablettes modernes. Cette solution est plus rapide puisqu'il suffit, en théorie, d'approcher le doigt de l'écran pour qu'il commence à détecter un appui. Je pense donc qu'il aurait été préférable de conserver ce genre de module de détection du toucher, ou qu'il aurait fallu utiliser des boutons pour se déplacer dans l'interface, voire même un trackpad intégré au projet. Ce dernier point n'est pas forcément le plus important dans le cadre du développement d'un outil interne au service, mais je pense qu'il est quand même intéressant de partager ce constat en tant que seule personne ayant réellement utilisé le dispositif pour le moment.

3. Apports du stage pour le stagiaire

Ce stage m'aura permis d'apprendre beaucoup de choses, aussi bien sur un plan professionnel et technique, que sur un plan plus personnel. En effet, j'ai eu l'occasion de travailler dans un bureau d'études pendant 14 semaines. Me permettant ainsi de comprendre ce qu'est réellement le métier d'ingénieur dans un contexte de développement et de gestion de projet. Cette expérience me conforte ainsi dans ma volonté de poursuivre dans cette voie et de vouloir intégrer une structure du même type plus tard dans ma carrière.

Mes compétences techniques ont aussi évolué au cours de ce stage, que ce soit via l'apprentissage de nouveaux outils, la recherche de documentation et de solutions sur Internet, ou encore les échanges que j'ai pu avoir avec les membres de l'équipe Ramsys. Cette démarche de développement d'un prototype en quasi-autonomie m'a appris à devoir gérer mon temps en le répartissant sur les différentes parties du projet en fonction de son avancement. J'ai ainsi compris l'importance de disposer de phases d'essai tout au long de la vie du projet, car elles permettent de valider des étapes importantes avant de poursuivre le reste du développement. Ma capacité à effectuer des recherches et à me former par moi-même fut cruciale tout au long du stage, puisque j'ai été confronté à de nombreux obstacles liés à mon absence de connaissance de certains outils en place, ou à ma faible expérience dans le domaine. Mes compétences en programmation et en conception de cartes électroniques ont ainsi pu servir et être mises à l'épreuve tout au long du stage, me forçant ainsi à continuer ma formation pour être en mesure de fournir un travail répondant aux attentes de l'entreprise. Cela a donc permis de pérenniser les connaissances que j'avais déjà et de les enrichir grâce à une pratique presque constante.

Ce stage aura aussi été l'occasion de me former à l'utilisation de nouveaux logiciels me permettant de gagner en productivité et en compétence. L'utilisation du logiciel de simulation LTSpice tout au long de la phase de conception du PCB de la carte d'adaptation m'a, par exemple, permis de valider le fonctionnement des différentes

parties du circuit. J'ai également survolé des outils qui sont utilisés par les membres de l'équipe comme Altium ou MagicDraw.

Une partie du travail a aussi été de fournir des documents et de préparer les présentations que j'ai été amené à faire. J'ai donc travaillé ma capacité à rédiger un rapport détaillé des actions que j'ai menées en expliquant les choix effectués et les méthodes que j'ai utilisées. J'ai aussi animé deux présentations, une première devant du personnel ayant des compétences techniques ou managériales, et une seconde devant des personnes externes et ne comprenant pas le sujet. J'ai donc travaillé ma capacité à faire passer l'information de façon concise tout en conservant assez de détails pour permettre une compréhension de la part de personnes non initiées.

L'aspect open space du milieu dans lequel j'ai réalisé mon stage a impliqué plusieurs choses liées à ma façon de travailler. Tout d'abord, le fait d'être constamment entouré de personnes qui sont souvent amenées à échanger entre elles demande de faire preuve d'une certaine capacité d'adaptation et de concentration. Mais cela signifie aussi que j'ai la possibilité de discuter avec ces mêmes personnes lorsque je me retrouve dans une situation où je ne suis pas en mesure d'avancer seul. C'est donc un environnement qui m'a semblé difficile à aborder lors de mes premiers jours de stage, mais j'ai très vite compris qu'il pouvait être très bénéfique pour une personne en formation comme moi. J'ai même fini par apprécier cet aspect de proximité avec le reste de l'équipe et ai compris l'intérêt de mettre en place des bureaux ouverts dans un tel contexte. La facilité des échanges et le fait de savoir que les autres sont accessibles rapidement permettent, selon moi, de gagner en productivité si tout le monde œuvre à maintenir un environnement sain. Cela permet aussi de créer des liens plus facilement entre les membres d'une équipe et donc de faciliter le travail du manager dans la construction d'un esprit soudé, avec la volonté d'avancer dans la même direction.

L'un des principaux points forts du stage aura été l'équipe Ramsys dans laquelle j'ai travaillé au cours de ces 14 semaines. Composée de personnes très compétentes dans leurs domaines et aussi très sympathiques, avec une réelle envie de me permettre de réaliser mon stage dans les meilleures conditions possibles. La découverte du travail en bureau d'études m'a aussi beaucoup intéressé, étant donné que j'ai pour projet d'en rejoindre un plus tard ou, à défaut, de prendre part à des démarches de recherche et développement.

Le projet sur lequel j'ai travaillé aura été très enrichissant à plusieurs niveaux. Premièrement pour l'aspect du développement de mes compétences techniques puisque qu'il m'a demandé de mobiliser beaucoup d'éléments vus au cours du BUT GEII, mais surtout pour la partie découverte du domaine d'application. J'ai reçu plusieurs « formations » de la part de ma tutrice ou d'autres membres de l'équipe sur des notions de physique nucléaire, de sécurité et de gestion du cycle de vie d'un produit. Ces interactions m'ont alors permis de consolider mes connaissances dans des milieux

n'ayant à première vue pas de rapport avec les sujets traités lors de la formation à l'IUT, mais qui se révèlent en réalité être un environnement propice à l'application des compétences que j'ai pu développer au cours des dernières années.

Enfin, un des points que j'ai le plus apprécié au cours de ce stage aura été le fait que j'ai été considéré comme un membre à part entière de l'équipe pendant ces 14 semaines. J'ai pu prendre part à certaines réunions et donner mon avis quant à la direction que je souhaitais faire prendre au projet, et je n'ai jamais été restreint dans la réalisation de mon travail. J'ai par exemple obtenu le soutien de mon manager lorsque j'ai eu besoin de faire fabriquer des cartes électroniques rapidement, bien que cela implique une nette augmentation des tarifs. Ce sentiment d'appartenance a joué un rôle majeur sur mon implication dans le projet car j'avais réellement l'envie de fournir le meilleur de moi-même dans toutes les tâches qui m'ont été confiées et de faire avancer l'équipe autant que possible. Mon seul grand regret à l'issue de ce stage est donc de ne pas avoir eu plus de temps pour travailler sur cet outil et de ne pas pouvoir poursuivre mes travaux.

Conclusion

En conclusion, au cours de ce stage au sein de Mirion Technologies, j'ai pu prendre part au développement d'un outil d'essai de cartes de mesure de rayonnements radioactifs à destination des LP(D)U de la gamme Ramsys. Ce stage m'a permis de comprendre le fonctionnement du bureau d'études et d'approfondir ma connaissance du métier d'ingénieur spécialisé dans l'électronique et les systèmes embarqués. Ce nouvel environnement m'aura ainsi aidé à développer une nouvelle façon de travailler, mais aussi d'entrevoir ce à quoi ressemble le monde de la recherche et du développement. En effet, j'ai beaucoup apprécié cet aspect de travail en autonomie et de découverte de nouveaux éléments à presque toutes les étapes du projet. Cela m'a ainsi poussé à tenter différentes approches dans la résolution d'un problème et à réfléchir à varier les méthodes utilisées. Le fait que mon sujet de stage n'a pas déjà été réalisé par un membre de l'équipe auparavant a aussi joué sur l'implication qu'il y a eue de ma part.

Ce projet était intéressant aussi bien d'un point de vue universitaire que professionnel, me permettant de travailler mes compétences techniques, et d'enrichir mes connaissances et aptitudes personnelles. Je pense qu'il m'a offert l'opportunité de faire une synthèse des éléments vus en cours pendant ces 3 dernières années, et qu'il conclut parfaitement ce premier cycle d'études supérieures.

Ce stage est également parfaitement en lien avec la suite de mon parcours professionnel puisque je souhaite toujours devenir Ingénieur en Électronique et Systèmes Embarqués par la voie de l'apprentissage. Ce stage m'a donc conforté dans l'idée de poursuivre dans cette direction et dans ce domaine, et m'a aussi ouvert l'esprit quant à l'idée de pouvoir travailler dans le secteur de la sécurité nucléaire. Une entreprise comme Mirion Technologies Lamanon pourrait alors être un endroit dans lequel je puisse envisager travailler plus tard, et le métier d'ingénieur du bureau d'études reste toujours un de mes objectifs principaux.

Lexique

PileUp : Ce terme désigne le cas de figure où un capteur perçoit deux pulses au même moment ou presque. Les LP(D)U doivent être en mesure d'identifier ce phénomène pour ne pas fausser leurs analyses.

Pulse : Le mot pulse est le mot anglais pour désigner une impulsion. Dans le contexte du bureau d'études Ramsys, ce mot est utilisé pour parler des impulsions spécifiques aux rayons ionisants perçus par les LP(D)U.

Via : Ce terme désigne un procédé de conception d'un circuit imprimé lors duquel un trou est percé entre les différentes couches de cuivre de la carte.

Table des acronymes

AOP : Amplificateur OPérationnel

API : Application Programming Interface

CAN : Controller Area Network

DC : Direct Current (Fr : CC : Courant Continu)

ESP-IDF : ESPressif Iot Development Framework

FPGA : Field-Programmable Gate Array

I2C : Inter-Integrated Circuit

IDE : Integrated Development Environment

IHM : Interface Homme Machine

LED : Light-Emitting Diode (Fr : DEL : Diode ElectroLuminescente)

LPDU : Local Processing Display Unit

LPU : Local Processing Unit

LVGL : Light and Versatile Graphics Library

PCB : Printed Circuit Board (Fr : CI : Circuit Imprimé)

SOIC : Small Outline Integrated Circuit

SPI : Serial Peripheral Interface

SSH : Secure SHell

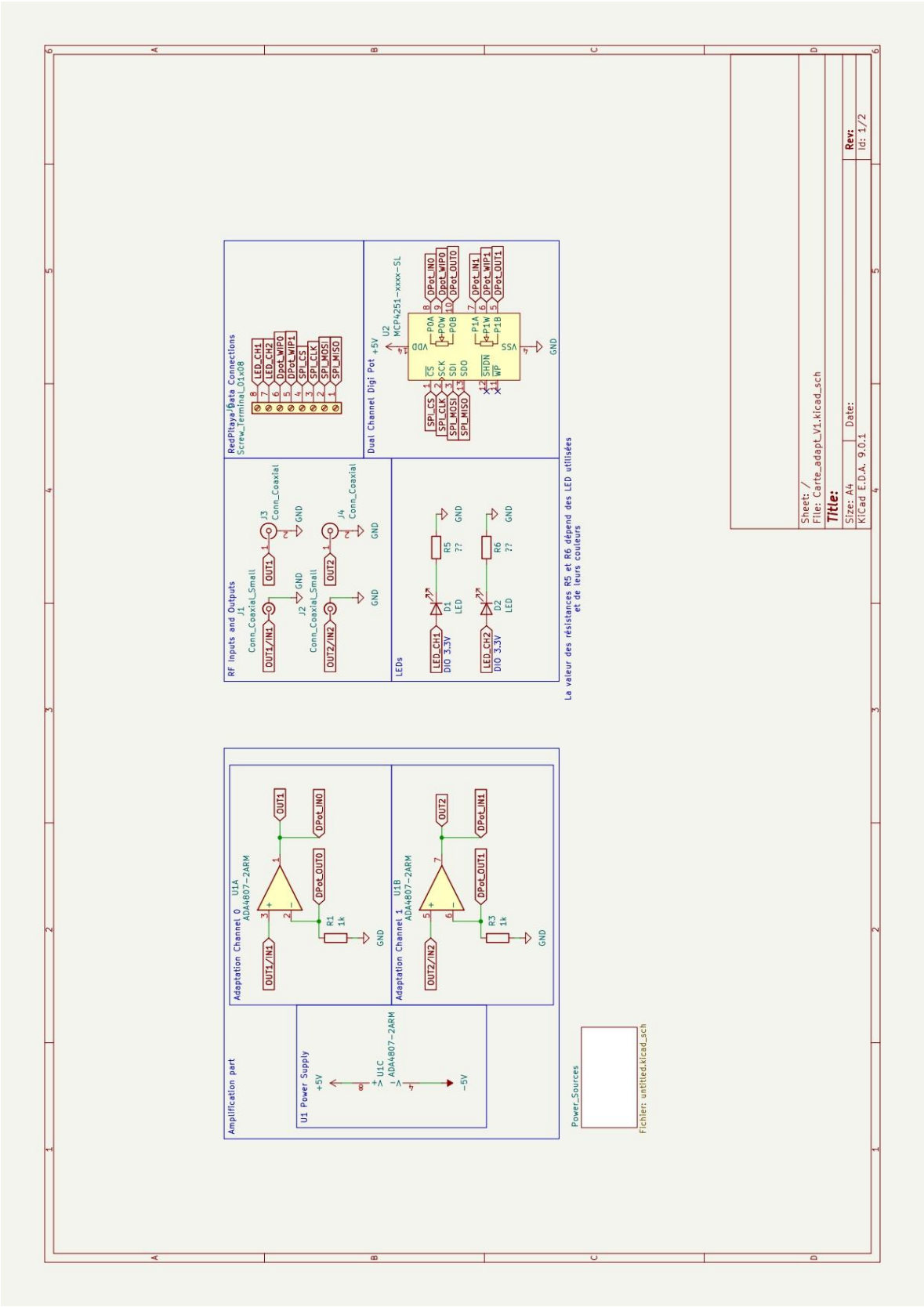
TFT : Thin Film Transistor

UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter

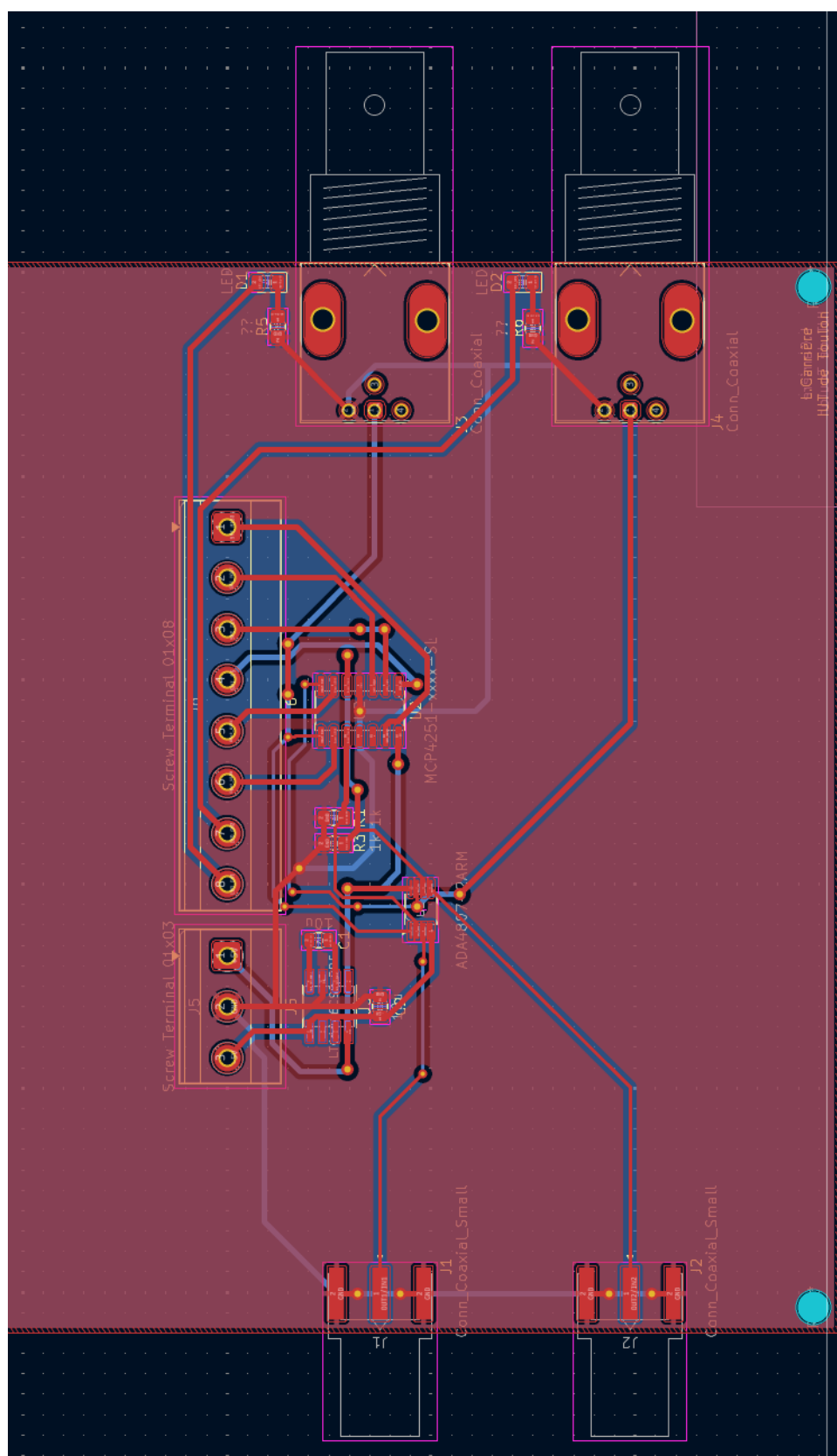
Table des annexes

ANNEXE 1 : SCHEMA DE LA PARTIE D'AMPLIFICATION DE LA PREMIERE VERSION DE LA CARTE D'ADAPTATION	1
ANNEXE 2 : SCHEMA DE LA PARTIE D'ALIMENTATION DE LA PREMIERE VERSION DE LA CARTE D'ADAPTATION	2
ANNEXE 3 : VISUALISATION DE LA PARTIE CONTENANT LES COMPOSANTS DE LA PREMIERE VERSION DE LA CARTE D'ADAPTATION	3
ANNEXE 4 : SCHEMA DE LA PARTIE D'AMPLIFICATION DE LA SECONDE VERSION DE LA CARTE D'ADAPTATION	4
ANNEXE 5 : SCHEMA DE LA PARTIE D'ALIMENTATION DE LA SECONDE VERSION DE LA CARTE D'ADAPTATION	5
ANNEXE 6 : VISUALISATION DE LA PARTIE COMPORTANT LES COMPOSANTS DE LA SECONDE VERSION DE LA CARTE D'ADAPTATION.....	6
ANNEXE 7 : COURBES OBTENUES SUR LE LOGICIEL DE SIMULATION LTSPICE POUR LA CARTE D'ADAPTATION	7

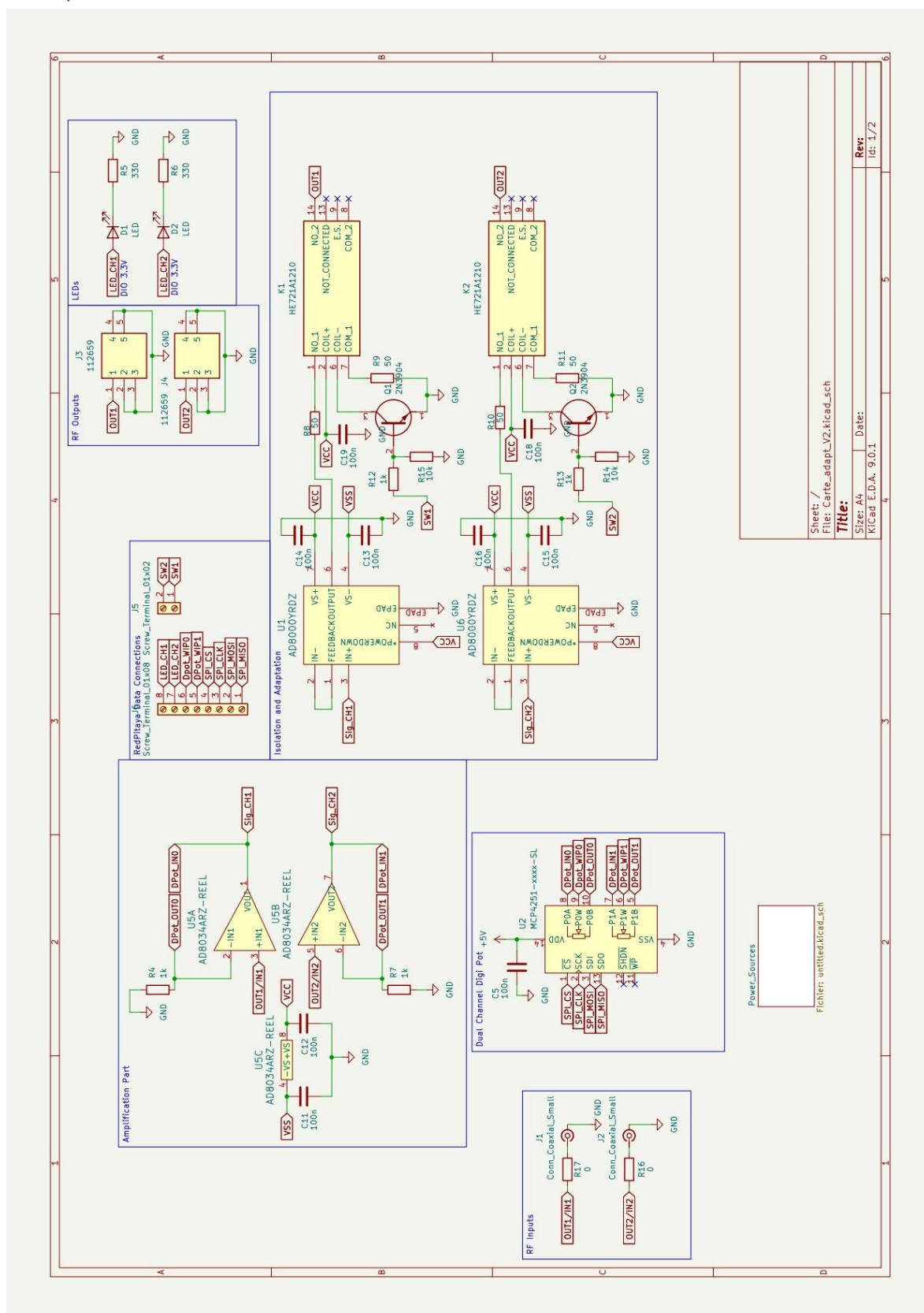
Annexe 1 : Schéma de la partie d'amplification de la première version de la carte d'adaptation



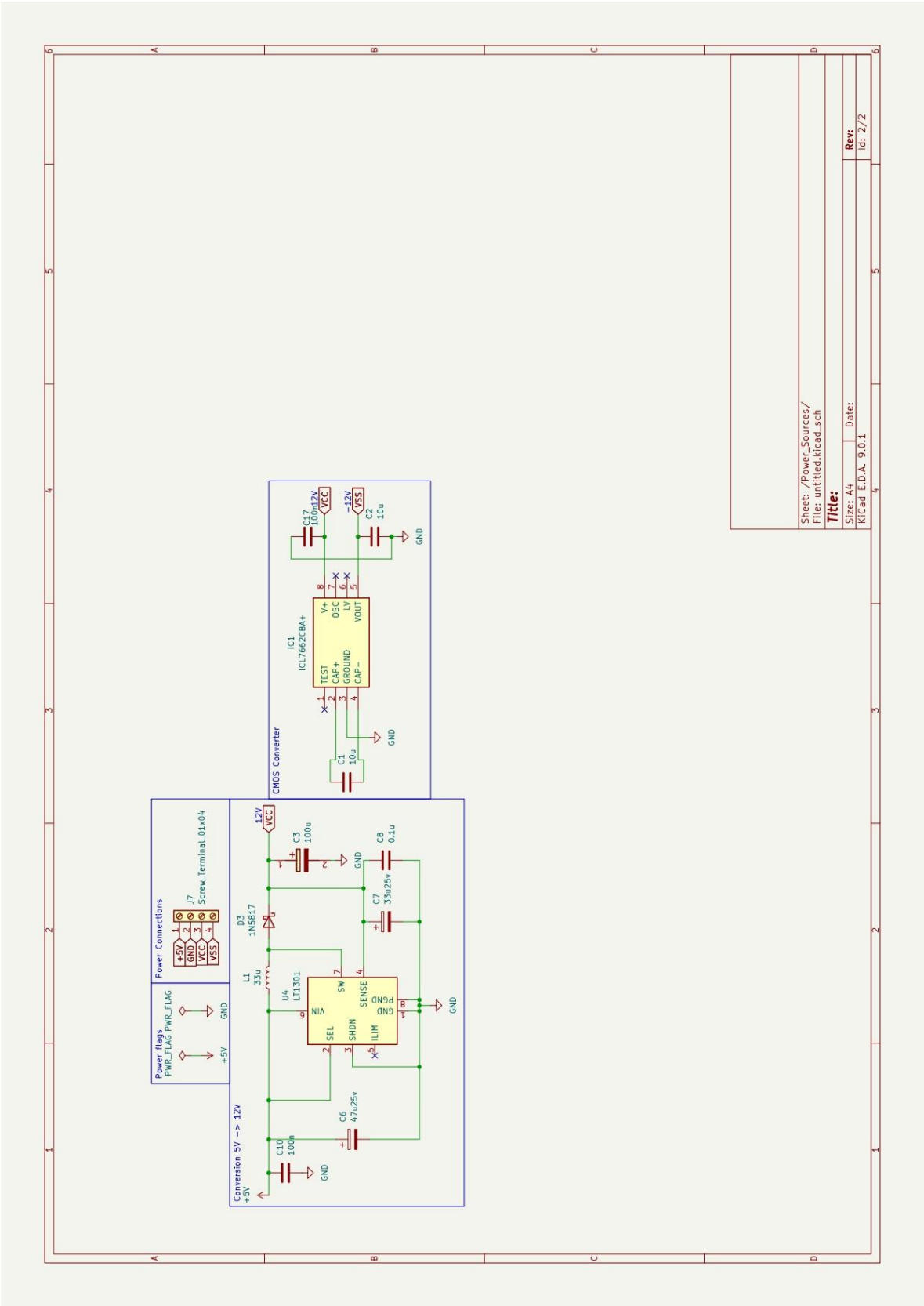
Annexe 3 : Visualisation de la partie contenant les composants de la première version de la carte d'adaptation



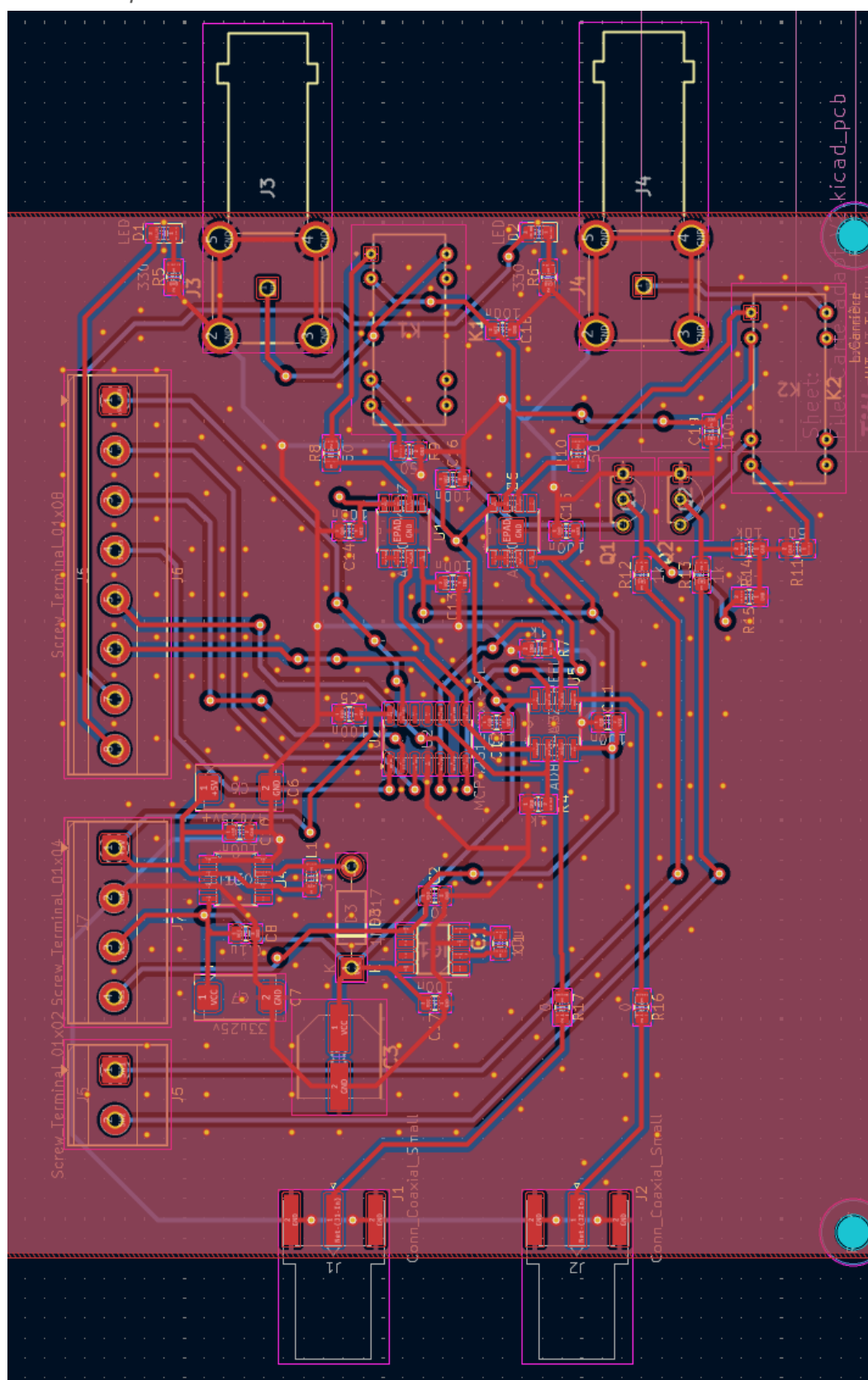
Annexe 4 : Schéma de la partie d'amplification de la seconde version de la carte d'adaptation



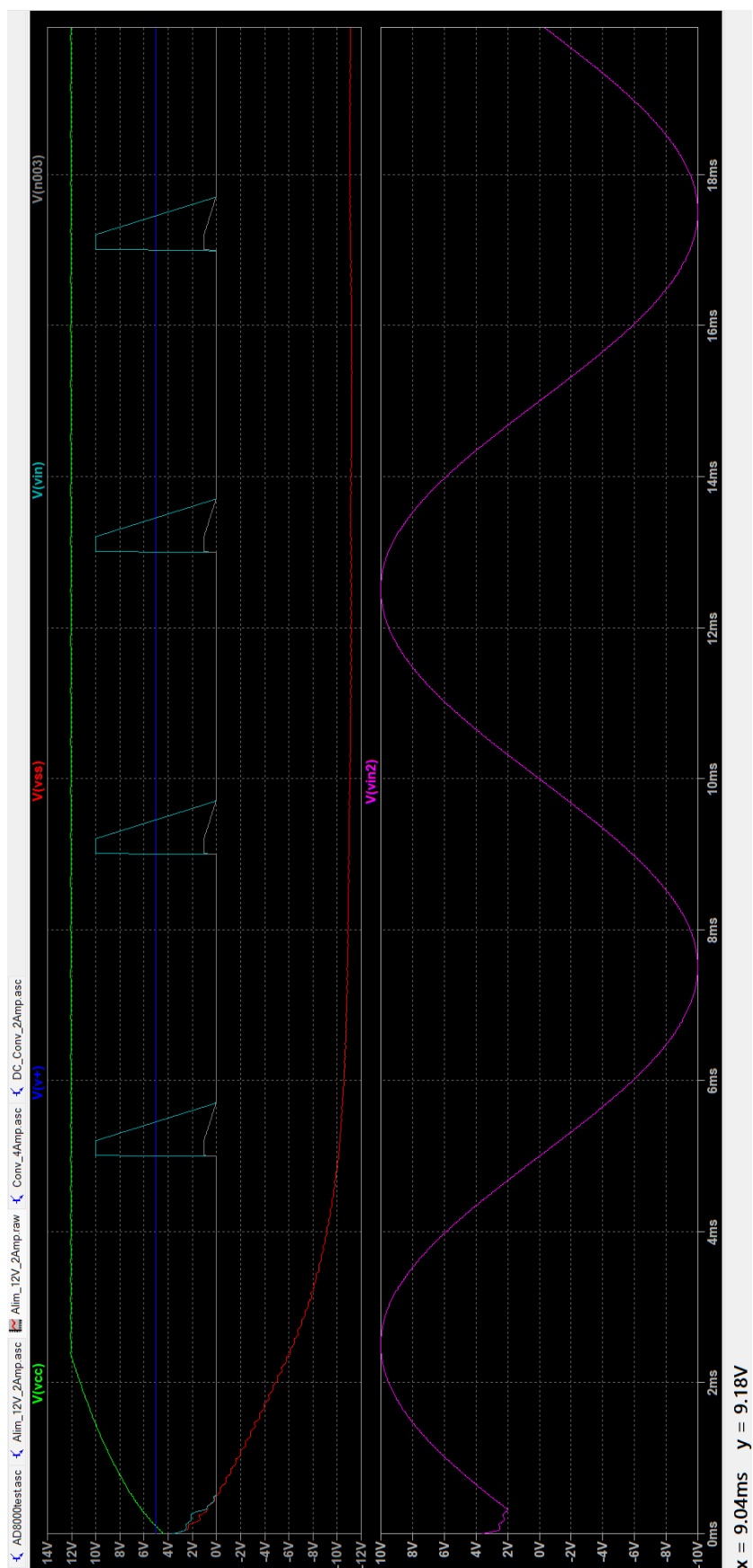
Annexe 5 : Schéma de la partie d'alimentation de la seconde version de la carte d'adaptation



Annexe 6 : Visualisation de la partie comportant les composants de la seconde version de la carte d'adaptation



Annexe 7 : Courbes obtenues sur le logiciel de simulation LTSpice pour la carte d'adaptation



Résumé

Cet écrit m'a permis de présenter les activités du groupe Mirion et de sa branche Mirion Technologies. Il m'a également permis de développer les tâches que j'ai réalisées au cours de cette période en entreprise. Ma mission fut de concevoir, d'assembler et de réaliser des tests d'un dispositif d'essai des cartes de mesure de la gamme Ramsys. Pour mener à bien cet objectif, j'ai dû prendre part à de longues phases de recherche et de réflexion pour produire les programmes, schémas et documents techniques permettant la mise en place de cet outil. Cette expérience a mobilisé les compétences techniques et théoriques vues au cours des années de BUT GEII et a permis de les enrichir.

Mots clés : Mirion Technologies, prototype d'essai, électronique, programmation, conception, systèmes embarqués.

Abstract

This writing allowed me to present the activities of the Mirion group and its branch Mirion Technologies. It also allowed me to develop the tasks I performed during this period in the company. My mission was to design, assemble, and perform tests of a test device for the measurement cards of the Ramsys product line. To achieve this goal, I had to take part in long phases of research and reflection to produce the programs, diagrams, and technical documents allowing the implementation of this tool. This experience mobilized the technical and theoretical skills seen during the years of BUT GEII and allowed to enrich them.

Keywords : Mirion Technologies, test prototype, electronics, programming, conception, embedded systems.