

P39 : Musique des plantes



Projet réalisé par Xavier CHENOT et Rodolphe TOIN

Département Informatique - Microélectronique - Automatique

Encadrants : Emmanuelle PICHONAT - Alexandre BOE

Sommaire

Remerciements	Page 2
Introduction	Page 3
Objectif	Page 4
I Analyse du projet	Page 5
a) Analyse des concurrents	Page 5
b) Positionnement par rapport à l'existant	Page 5
c) Concept envisagé	Page 6
II Préparation du projet	Page 7
a) Cahier des charges	Page 7
b) Choix technique	Page 7
c) Calendrier prévisionnel	Page 8
III Tâches réalisé	Page 9
a) Analyse	Page 9
b) Caractérisation de notre Amplificateur d'instrumentation	Page 10
c) Alimentation, tension double	Page 12
d) Filtre coupe bande	Page 13
e) Montage sommateur et montage inverseur	Page 14
f) Programmation arduino	Page 15
g) Conception du shield Arduino	Page 16
h) Conception du boîtier et élaboration d'un logo	Page 17
IV Bilan et perspectives	Page 19
a) Difficultés rencontrées	Page 19
b) Travail effectué par rapport à l'objectif	Page 20
Conclusion.....	Page 21
Annexe	Page 22

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de notre projet et plus particulièrement :

Madame PICHONAT et Monsieur BOE, encadrants de notre projet au sein de Polytech Lille, qui nous ont confié un projet complexe et intéressant et qui nous ont apporté de précieux conseils.

Monsieur REDON, pour nous avoir suivi tout au long du projet en nous apportant ses commentaires utiles à l'avancée et à la tenue du wiki.

Enfin, nous remercions chaleureusement Monsieur FLAMENT pour nous avoir éclairé sur de nombreux aspects, ainsi que pour sa supervision dans l'impression des prototypes de carte électronique.

Introduction

La photosynthèse permet à une plante de produire de la matière organique: le dioxyde de carbone est converti en glucides lors de réactions d'oxydoréduction qui nécessitent d'une part des électrons provenant de l'eau et d'autre part de l'énergie provenant de la lumière solaire. La photosynthèse crée donc des flux d'électrons résultant en signaux électriques. Des projets récents menés par des start-ups telles que Bioo ou des entreprises telles que Plant-e cherchent à exploiter ce phénomène afin de produire de l'électricité grâce aux plantes que cela soit avec une simple plante en pot ou à l'échelle d'une rizière toute entière.

Dans une visée plus proche du divertissement artistique et de la curiosité scientifique, notre projet consiste à capter le biorythme d'une plante et de le transformer en concert sonore. Grâce à deux électrodes placées sur le végétal, nous allons capter les impulsions électriques occasionnées par la photosynthèse et transmettre le tout sous la forme d'un signal exploitable par une enceinte ou un instrument.

Durant ce projet, nous allons connecter deux électrodes à deux endroits distincts d'une plante (feuille-feuille, feuille-racine, etc) afin de mesurer son biorythme. Nous allons ensuite amplifier et filtrer ce signal afin de le transformer en musique. Notre dispositif disposera de quelques réglages (volume, aigu, grave ...), d'une enceinte pour pouvoir écouter directement le son, d'une prise jack pour pouvoir utiliser un casque ou une enceinte externe, d'une prise MIDI permettant notamment de connecter un instrument pour profiter de sa gamme et enfin des Leds pour créer une ambiance visuelle en accord avec l'ambiance sonore. Le dispositif sera portable afin de pouvoir facilement l'utiliser chez soi ou en extérieur: cela implique une alimentation par batterie.

Objectif

L'objectif minimal de notre projet est de parvenir à récupérer le signal électrique issu de la photosynthèse d'une plante et de le restituer de manière sonore à l'aide d'une enceinte. Nous souhaitons néanmoins aller plus loin en offrant davantage de moyens d'exploitation du signal (Leds, piano numérique). Le projet sera découpé en deux étapes principales: dans un premier temps, il s'agira de réaliser un dispositif permettant de capter les signaux électriques d'une plante puis de les traiter numériquement à l'aide notamment d'amplificateur(s) et de filtre(s) afin d'éliminer les signaux parasites et d'extraire l'information que nous évaluerons comme utile et représentative du biorythme de la plante. Dans un second temps, nous créerons un dispositif permettant de transformer le signal extrait en un concert musical. Il s'agira de munir ce dispositif d'une enceinte et d'une prise jack afin de pouvoir écouter le biorythme de la plante. Nous implémenterons également des Leds afin de créer une ambiance visuelle en adéquation avec l'ambiance sonore et nous ajouterons un port MIDI afin de pouvoir connecter un instrument comme un piano numérique dans le but de pouvoir profiter de sa gamme. Un ultime point serait de pouvoir "monitorer" sa plante en analysant le signal électrique mesuré afin de déterminer si l'activité photosynthétique de la plante est suffisante et, si elle ne l'est pas, d'informer l'utilisateur avec une LED afin que ce dernier essaye d'y remédier en arrosant davantage sa plante ou en l'exposant mieux au soleil. Nous allons cependant attendre d'observer les signaux électriques avant de déterminer si cette fonctionnalité est envisageable.

I. Analyse du projet

A) Analyse des concurrents

Il existe peu de produits réalisant les mêmes fonctions que notre projet: seules deux marques se distinguent en proposant des produits solides: Devodama avec un produit haut de gamme et MIDI Sprout avec un produit plus compact et abordable.

Le boîtier proposé par la marque Devodama est nommé "Music of the Plants" et vendu 750€. Le produit se revendique comme l'aboutissement de 40 ans de recherche et propose un ensemble de réglages poussés grâce à une interface complète. Le boîtier propose 2 sorties: une sortie jack et une sortie MIDI. Il s'alimente sur secteur.

MIDI Sprout est notre second concurrent, il propose un boîtier à partir de 200€. Le produit ne présente aucun bouton de réglage extérieur et se présente dans une boîte écologique en carton. Il présente les 2 mêmes sorties que le boîtier de Devodama: une prise jack et une prise MIDI. Ce produit est nettement plus compact et fonctionne avec des piles.

B) Positionnement par rapport à l'existant

Comme évoqué ci-dessus, les quelques produits disponibles sont vendus entre 200 et 750 euros. L'objectif principal de notre projet est de fournir un produit réalisant des fonctions similaires, de qualité convenable, mais à un prix nettement inférieur. Nous chercherons donc tout au long de la conception de notre produit à choisir le matériel aux meilleures qualités/prix afin de limiter au maximum le coût du produit fini. Nous ne cherchons pas à réaliser une interface aussi détaillée que le boîtier de Devodama, mais nous aimerions avoir au moins 2 ou 3 boutons de réglage, contrairement à MIDI Sprout qui n'en présente pas. Nous pensons également partir sur un boîtier de petite taille fonctionnant sur batterie afin d'offrir un produit portatif simple d'utilisation. Une enceinte intégrée permettrait aussi un fonctionnement autonome, même nous craignons de devoir y renoncer si le son s'avère de trop mauvaise qualité. Nous pensons aussi offrir une représentation différente du biorythme de la plante grâce à nos Leds et, si cela s'avère réalisable, offrir une fonction de "monitoring" de la plante.

C) Concept envisagé

Pour un adulte, notre produit serait une manière d'expérimenter et d'interagir avec le monde végétal. Il pourrait être un outil de relaxation utilisé à bas volume afin de se laisser bercer par la mélodie d'une plante pour se reposer. Il pourrait être un outil de découverte et de curiosité en étant utilisé sur toutes les plantes de la maison et du jardin pour découvrir diverses mélodies et des fonctionnements différents entre différentes plantes. Il pourrait être un outil de création en utilisant les simples chants des plantes pour créer des morceaux musicaux plus complexes (s'il s'avère que vous êtes musicien). Il pourrait être un outil d'apprentissage pour faire découvrir à ses enfants que les plantes sont bel et bien vivantes et les introduire auprès de notions scientifiques telles que la photosynthèse. Ce produit se revendique avant tout comme une expérience à part entière, il ne se revendique pas comme utile, c'est un stimulateur de sens avant tout.

II Préparation du projet

a) Cahier des charges

Notre projet est constitué de deux parties principales, la première étant de récupérer le signal émis par la plante et le second la réalisation du dispositif permettant d'exploiter ce signal .

Cette première partie est l'objectif principal, car la récupération de ce signal pourra s'avérer difficile à récupérer dû à la très faible puissance véhiculée et aux parasites extérieurs qui viendront perturber ce signal.

Les tâches à effectuer sont :

- Récupération du signal émis par la plante
- Amplifier ce signal
- Suppression des composantes indésirables
- Conversion analogique-numérique
- Concevoir une carte électronique qui embarque les fonctionnalités précédentes
- Programmation arduino qui transforme ce signal en son
- Réaliser un boîtier
- Exploitation de la gamme sonore d'un clavier numérique
- Interaction du produit avec une application mobile par Bluetooth

b) Choix technique

Pour réaliser le dispositif nous avons eu besoin des différents composants ci-dessous :

- Une plante et des électrodes
- Un amplificateur d'instrumentation
- Quelques composants de base en électronique (résistances, capacités, AOP)
- Un Arduino Mega avec un module Bluetooth
- Une batterie
- Un haut-parleur
- Des interrupteurs et des leds pour le boîtier final
- Connecteurs MIDI et Jack (un jack en entrée pour brancher les électrodes, un en sortie pour brancher des écouteurs)

Pour la conception de la carte électronique, nous avons utilisé le logiciel **Kicad**. Pour la programmation de l'arduino, l'**IDE Arduino** et pour la programmation de l'application mobile, **Android Studio** . Tous les logiciels utilisés sont libres et disponibles pour les plateformes PC/MAC/Linux.

c) Calendrier prévisionnel

En annexe, nous pouvons trouver notre planning prévisionnel complété par un planning réel, cela nous a permis de suivre l'avancée du projet sur toutes les tâches à réaliser. Nous pouvons observer, au début, on a travaillé en parallèle plusieurs tâches du projet et dues aux difficultés rencontrées lors de la récupération du signal, nous avons pris du retard sur toute l'avancée du projet. Nous avons privilégié par la suite cette partie qui est notre objectif principal.

III Tâches réalisées

a) Analyse

Au début de notre projet une grande partie du temps a été consacrée à déterminer comment le signal électrique recherché est émis par une plante et quels sont les caractéristiques d'un tel signal. Nous sommes notamment rentré en contact avec Monsieur Jean THOBY, propriétaire d'une pépinière botanique, qui est un détenteur de l'appareil Devodama et qui effectue de nombreuses démonstrations de cet appareil. Toutes ses recherches nous ont conduit aux résultats suivant :

- L'activité de surface d'un végétal théorique observable serait de **0,01 mV à 1mV** contrairement à l'activité interne du bois qui peut aller jusqu'à 30 mV.
- D'un point de vue génomique, les sons émis par les végétaux au niveau des acides aminés qui se suivent au niveau du ribosome, sont de l'ordre de 10 puissances 23 hertz. Cette fréquences étant très importantes, nous ne serons pas capable de traiter ces signaux.
- La photosynthèse n'est pas le seul facteur lié à l'activité électrique d'une plante, la **phytoneurologie** est l'activité électrique de surface d'un végétal (qui peut être comparé à notre activité cérébrale) cette activité peut-être très importante même la nuit.

Nous avons alors choisi de traiter l'activité de surface d'un végétal qui est de l'ordre de 0,01 mV à 1 mV pour le transformer en mélodie.

Le second point recherché a été la méthode à utiliser pour capter des signaux de très faible puissance. Pour traiter ce problème, nous nous sommes reporté à des travaux publiés sur l'électroencéphalographie ou EEG qui est l'étude de l'activité électrique du cerveau. L'EEG consiste à capter des signaux d'environ 100 microvolts. Pour cela, des électrodes en carbones sont utilisées. Ces électrodes sont liées à de simples câbles, pas forcément blindés ou torsadés mais cela peut être un plus. Ensuite, le signal passe par un filtre passe-bas au moins du 4e ordre pour acquérir les signaux dans la plage 0,5-35 Hz puis à un filtre coupe-bande de 50Hz.

Nous avons donc décidé de suivre cet exemple: nous allons utiliser des électrodes en carbones, amplifier le signal à l'aide d'un amplificateur d'instrumentation, filtrer les composantes indésirables à l'aide d'un filtre passif coupe-bande 50Hz et réinjecter le signal sur une carte Arduino Mega. Avant de réinjecter le signal sur l'Arduino, il faudra s'assurer que ce signal se situe entre 0V et 5V pour que le convertisseur analogique numérique embarqué sur notre carte Arduino Mega puisse le convertir convenablement. Ultimement, notre microcontrôleur pourra traiter et associer ce signal numérique à une mélodie unique en offrant des capacités de modulations.

b) Caractérisation de notre Amplificateur d'Instrumentation

Nous avons choisi d'utiliser l'amplificateur d'instrumentation INA 125 de Texas Instrument. L'INA 125 est un amplificateur d'instrumentation haute précision et basse consommation. Il fournit une amplification à entrée différentielle. Il est possible de régler le gain de sa sortie à l'aide d'une résistance externe, le faisant varier entre 4 et 10 000. De plus, il est possible de l'alimenter avec une tension unique ou double et la tension de référence peut être sélectionnable par des broches, 2,5V 5V ou 10V.

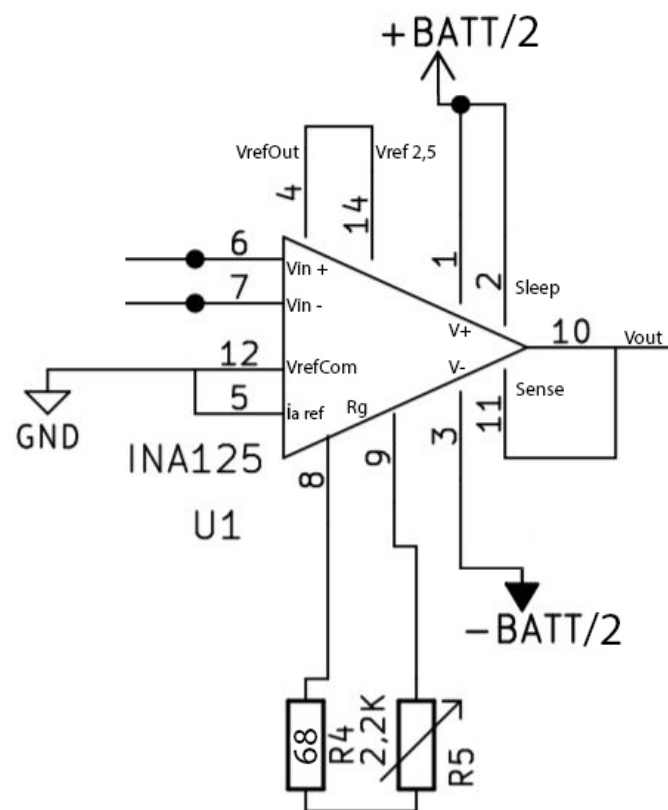


fig 1 : INA 125

Ci-dessus, nous pouvons voir le branchement de notre amplificateur d'instrumentation. Nous fournissons à notre composant le signal provenant de la plante sur les pins 6 et 7 et en sortie nous obtenons la différence de potentiel entre ces deux pins avec un gain réglable à l'aide de la résistance variable R5 entre les pins 8 et 9. La résistance R4 permet d'assurer la présence d'une résistance minimale quand R5 est nulle.

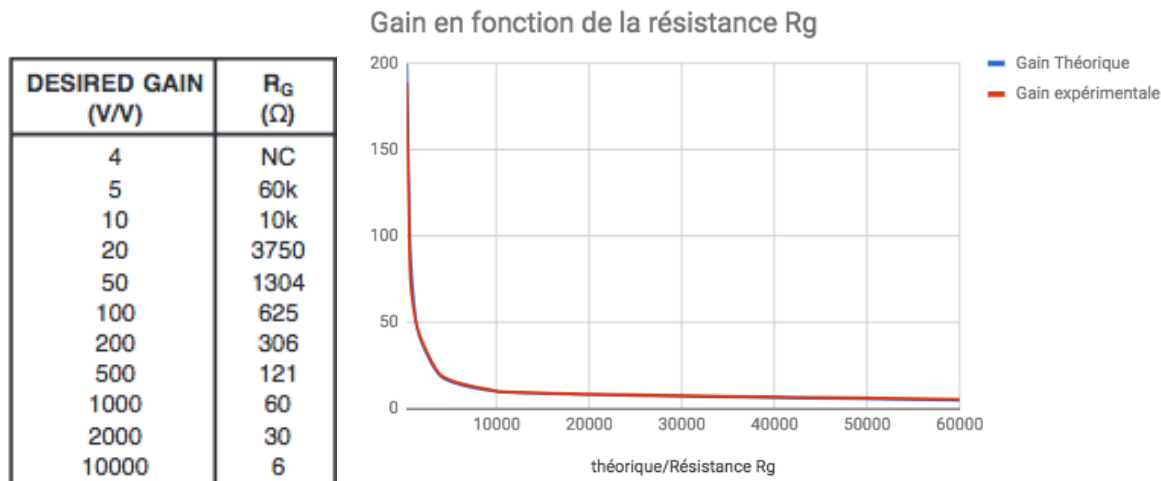


fig 2 : Caractéristique de l'INA 125

Ci-dessus, nous pouvons voir le tableau du gain théorique en fonction de la résistance R_G . Nous pouvons observer que plus la résistance est grande, plus le gain est petit et plus la résistance est basse, plus le gain est élevé.

Après la réalisation de mesures, nous avons pu tracer la courbe du gain expérimental en fonction de la résistance R_G (en rouge) et comparer son allure avec la courbe théorique (en bleu). Les résultats mesurés sont cohérents avec ceux fournis par le constructeur. Les résistances que nous avons choisi nous permettent de faire varier R_G entre 68 Ohm et 2268 Ohm et donc de travailler dans la partie linéaire de fonctionnement de l'amplificateur. Nous n'aurons jamais besoin de passer à un gain inférieur à 30 ou supérieur à 1000. Entre autre, nous avons pu constater qu'en dessous de 330 Ohms notre sortie devenait saturée.

Cependant, nous avons pu observer que lorsque nous alimentons l'amplificateur en tension simple, notre courbe expérimentale n'était pas confondue avec la courbe de gain théorique si notre signal d'entrée n'avait pas une différence de potentielle d'au moins 1V. Considérant le fait que nous cherchons à mesurer des signaux de quelques mV, nous sommes dès lors contraint d'alimenter l'amplificateur en tension double afin de s'assurer de travailler en régime linéaire. Il nous a ainsi fallu travailler sur l'élaboration d'une alimentation double à partir d'une batterie.

c) Alimentation, tension double

Nous souhaitons alimenter notre circuit final avec une batterie. Nous ne pourrions cependant pas nous contenter de brancher directement la batterie à l'Arduino car cela nous obligerait à utiliser une alimentation simple sur l'amplificateur d'instrumentation.

Suite à l'étude réalisée sur ce dernier, nous avons prévu de créer une alimentation double à partir de notre batterie afin d'alimenter convenablement notre amplificateur. Pour se faire, nous allons créer une masse virtuelle à l'aide d'un AOP alimenté par notre batterie. Ci-dessous se trouve le montage utilisé :

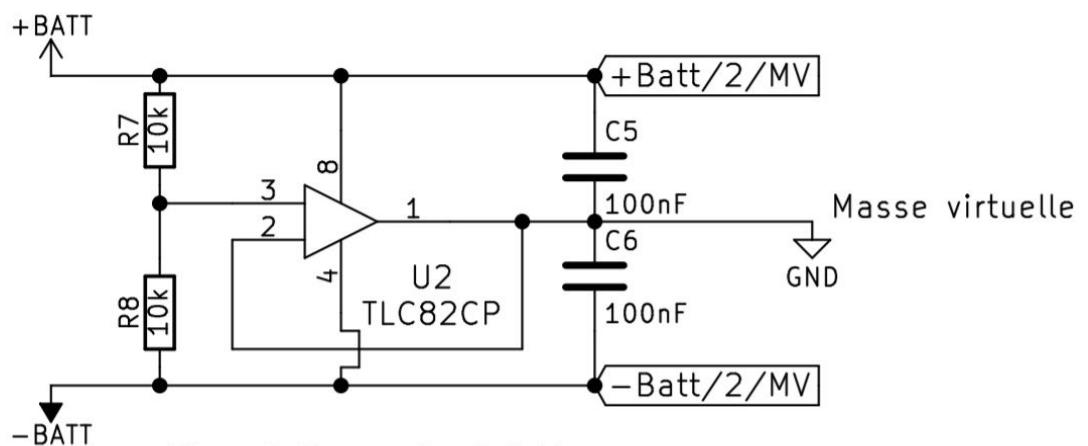


fig 3 : alimentation $\pm 2,5V$

Grâce à ce montage, nous créons une masse virtuelle qui servira de masse à tout notre circuit, et qui nous permettra d'obtenir une alimentation de $\pm 2,5V$. Plusieurs points importants sont à souligner :

- la création de cette masse virtuelle implique que la tension de sortie de notre montage total sera lue par rapport à cette masse. Or, nous souhaitons brancher cette sortie sur une pin de l'Arduino où la valeur sera lue par rapport à la masse de l'Arduino. C'est pour cela que nous devons créer cette alimentation à partir d'une batterie, et qu'une seconde batterie sera nécessaire pour alimenter l'Arduino.
- les deux condensateurs utilisés permettent de réduire le bruit de notre alimentation.
- l'AOP n'étant alimenté qu'en 0-5V, il va de soit que l'alimentation créée n'est pas strictement égale à une alimentation $\pm 2,5V$. Dans les faits, nous avons constaté que l'alimentation créée était plutôt de l'ordre de $\pm 2,35V$. Il en découle que la tension de sortie de l'amplificateur d'instrumentation sera elle aussi diminuée: nous avons constaté des valeurs ne dépassant pas $\pm 2,1V$ (la sortie est écrêtée si nous augmentons la résistance R_g associée à l'amplificateur).

d) Filtre coupe bande

Si l'amplification du signal à mesurer est indispensable à notre projet, son filtrage est tout aussi important. Compte tenu de la très faible amplitude des signaux à observer, notre montage sera très sensible aux perturbations extérieures et à toute forme de bruit. C'est pourquoi nous avons décidé d'ajouter un filtre notch 50Hz afin de supprimer la composante secteur EDF. Nous avons pendant un moment considéré l'utilisation d'un filtre numérique via l'Arduino, mais l'utilisation d'un filtre analogique passif nous semble plus robuste. Ci-dessous se trouve le montage utilisé :

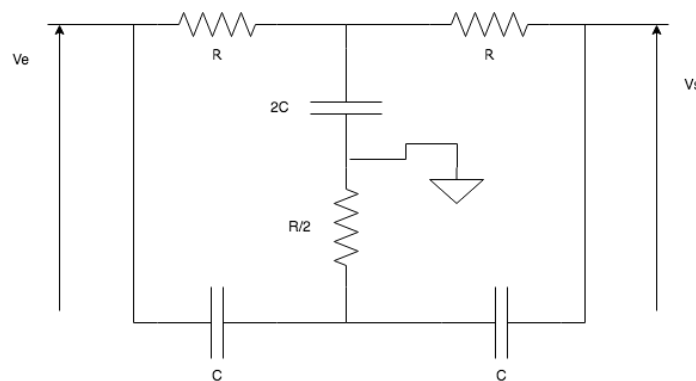


fig 4: Filtre coupe-bande 50Hz

Nous avons sélectionné une valeur de 47 Kohm pour la résistance R et une valeur de 68nF pour la capacité C. Grâce au logiciel LTSpice nous avons pu réaliser une simulation théorique du diagramme de Bode relatif à ce montage (à gauche ci-dessous). Suite à nos mesures, nous avons pu tracer le diagramme de Bode expérimental (à droite ci-dessous).

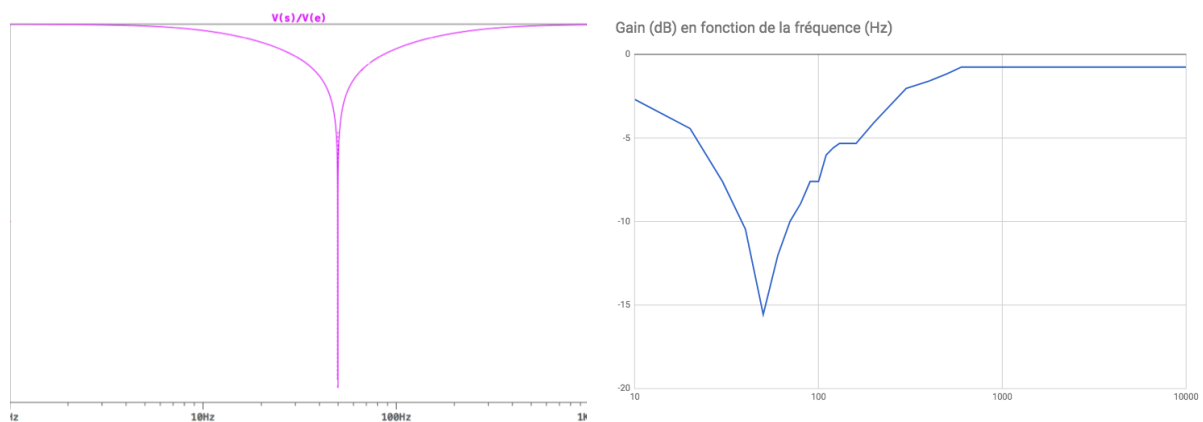


fig 5: Diagrammes de Bode du filtre coupe-bande

Nous remarquons que notre filtre a sensiblement la même forme sur l'intervalle 10 Hz - 1000Hz. Au-delà, il n'y a théoriquement plus d'atténuation liée au filtre, mais expérimentalement nous pouvons voir une très légère atténuation d'environ 1dB. Nous avons cependant validé le fonctionnement de notre filtre qui élimine de manière convenable les perturbations des 50Hz EDF.

e) Montage sommateur et montage inverseur

Comme nous alimentons notre amplificateur d'instrumentation avec une tension double de $\pm 2,5V$, nous savons que le signal en sortie de celui-ci sera compris dans l'intervalle $[-2,5 ; 2,5]V$. Nous souhaitons cependant réaliser une conversion analogique-numérique de ce signal grâce à l'Arduino: nous ne pouvons donc pas fournir de signaux de valeurs extérieures à $[0 ; 5]V$. Nous allons donc ajouter un offset de $+2,5V$ au signal en sortie de notre amplificateur d'instrumentation.

Nous souhaitons initialement ajouter cet offset à l'aide d'un montage simple conçu à partir de diodes et de résistances et/ou capacités, mais aucune méthode testée ne s'est avérée fructueuse. Nous nous sommes alors résilié à utiliser des amplificateurs opérationnel, malgré le fait que nous savions qu'ils ajouteraient du bruit au signal final. Ci-dessous se trouve le montage sommateur utilisé:

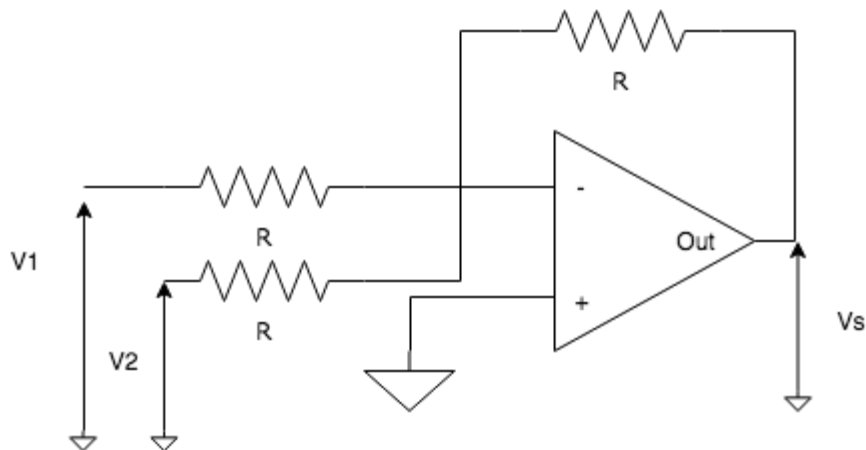


fig 6: Montage Sommateur

Si les 3 résistances R sont égales alors on a $V_s = V_1 + V_2$. Les résistances utilisées sont de 10 KOhm . Le signal V_1 injecté est le signal issu de la plante qui aura été précédemment traité par l'amplificateur opérationnel et le filtre notch 50Hz . Le signal V_2 injecté est un signal continu de $2,5\text{ V}$ réalisé à l'aide d'un pont diviseur de tension à partir de la pin $5V$ de l'Arduino. La sortie V_s est alors comprise dans l'intervalle $[-5;0]V$.

Désormais, nous souhaitons inverser ce signal afin de travailler avec des tensions positives appartenant à $[0;5]V$ (exploitable par une pin de l'Arduino). Nous avons donc utilisé un montage inverseur présenté ci-dessous:

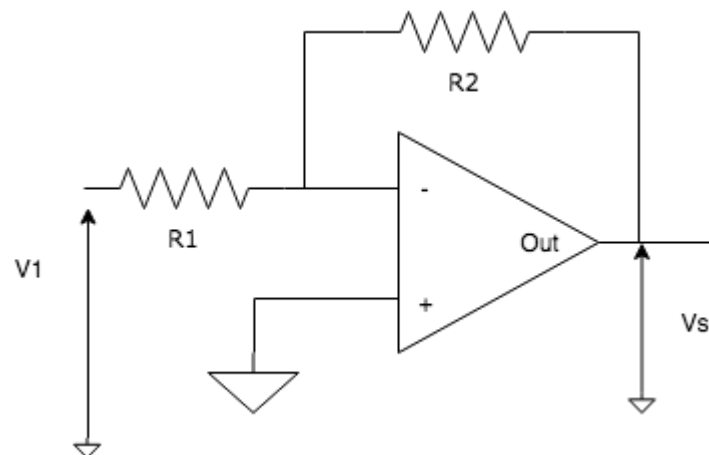


fig 7: Montage Inverseur

On a $V_s = - (R_2/R_1)V_e$ donc si $R_1 = R_2$ alors $V_s = -V_e$. Les résistances utilisées sont de 10 kOhm.

Le signal d'entrée V_1 injecté est issu de la sortie du montage sommateur précédent, nous obtenons alors un signal V_s qui évolue entre 0 et 5V prêt à être traité par le convertisseur analogique numérique de l'Arduino.

f) Programmation arduino

Nous n'avons pas pu terminer la programmation sur la carte Arduino dans le temps imparti suite à des difficultés rencontrées sur la partie prioritaire qui était de récupérer le signal. Nous avons cependant effectué la configuration du module Bluetooth HC-05 par commande AT.

Nous avons également pu mettre en oeuvre l'utilisation de la bibliothèque "pitches". Il s'agit d'une bibliothèque fournie par Arduino qui utilise les fonctions "tone" et "noTone" pour envoyer un signal sur une pin qui permettra de produire un son si un haut parleur y est branché. La bibliothèque propose une gamme de 89 notes que nous avons fait correspondre à des plages de l'intervalle [0;5]V (une note correspond donc à une plage d'environ 56,2 mV). Dès lors, le signal que nous aurons récupéré de la plante pourra être associé à une note. La création d'une mélodie jouée par la plante reste arbitraire: nous pouvons en effet choisir de jouer rapidement chaque note (plusieurs notes par seconde par exemple), mais il pourrait s'avérer être plus mélodieux de jouer une note par seconde ou moins en effectuant un moyennage des valeurs plus important. Un potentiomètre permettra à l'utilisateur de choisir à quelle vitesse sont jouées les notes.

Un accompagnement visuel a également été réalisé, permettant à des LEDs d'afficher une nuance de bleu et de rouge en fonction de la note jouée.

Le code utilisé est disponible en annexe 4.

g) Conception du shield Arduino

La conception de la carte électronique a été réalisée à l'aide du logiciel de conception assistée par ordinateur Kicad. Tout d'abord, nous avons dû relier les différents blocs de notre carte sur une schematic après avoir créé les composants manquants (notamment l'INA125). Une fois le schéma validé, nous avons dû créer et associer les composants à leur empreinte physique. Enfin, nous avons réalisé le routage de la carte. Tous les composants utilisés étant traversant, nous avons facilement pu limiter la carte à une simple face.

Une fois la carte terminée sur le logiciel de CAO nous avons pu l'imprimer. La méthode utilisée pour réaliser la carte est la gravure mécanique, appelée aussi "routage". Elle consiste à enlever le cuivre aux endroits inutiles de la carte. Une fois terminée nous avons nous-mêmes soudé les composants sur la carte.

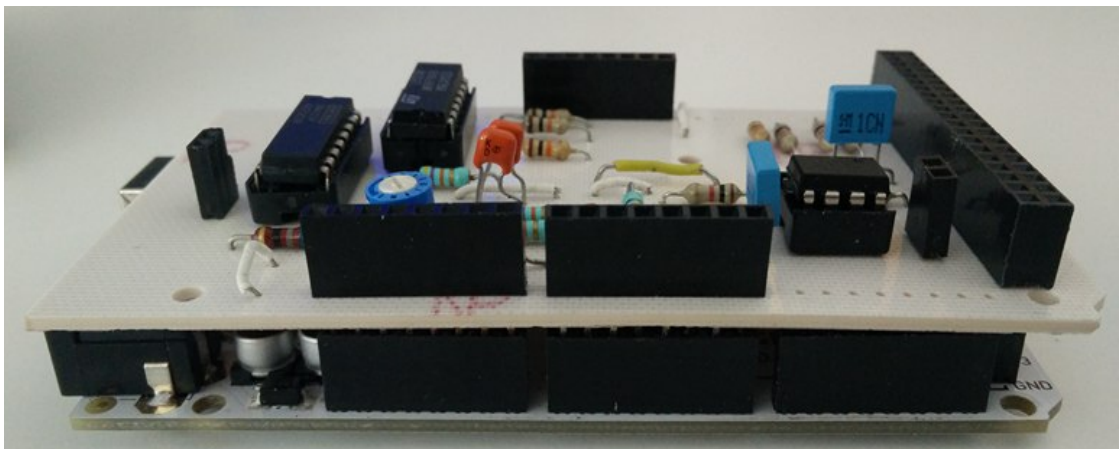


fig 8: Carte assemblé avec notre Arduino Mega

Nous avons décidé de réaliser une carte aux mêmes dimensions que la carte Arduino Mega et de la réaliser sous forme de shield permettant ainsi de faciliter les connexions entre notre carte et l'Arduino Méga. La carte présentée ci-dessus est notre seconde impression, la première carte n'ayant pas été opérationnelle et ayant dû être largement modifiée.

h) Conception du boîtier et élaboration d'un logo

Nous souhaitons également offrir à l'utilisateur un boîtier pour que l'appareil soit portable et esthétique, nous avons donc conçu une boîte en bois à l'aide de la découpeuse laser du Fabricarium de Polytech. Nous avons suivi la formation du fabricarium pour pouvoir utiliser la machine.

Tout d'abord nous avons réalisé le modèle de la boîte avec le logiciel de modélisation 3D Onshape. Ci-dessous se trouve la modélisation effectuée:

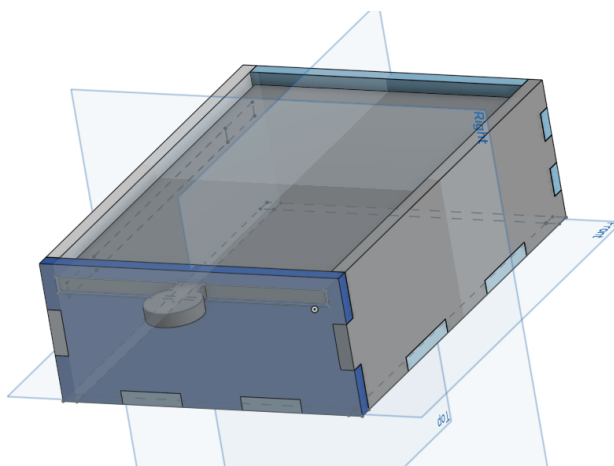


fig 9: Modélisation du boîtier

Chaque pièce de la boîte a été exportée au format DXF. Grâce au logiciel Inkscape, nous avons ensuite créé des fichiers au format SVG pour les exploiter avec la découpeuse laser du Fabricarium.

Afin d'embellir cette boîte, nous avons conçu un logo vectoriel sur le logiciel de dessin numérique Illustrator. Nous avons pu graver ce logo sur le couvercle de notre boîte. Des trous ont également été percés afin de permettre d'ajouter les prises jack ainsi que des interrupteurs.



fig 10 : boîtier assemblé

Ci-dessus notre boîtier avec notre logo graver sur le couvercle. La boîte a été réalisée de sorte que le couvercle se glisse à l'aide de la partie cylindrique (à droite sur la photo). On peut observer que l'on a également placé trois interrupteurs pour pouvoir paramétrer des réglages permettant la modulation du son par la suite. La prise jack d'entrée permet de connecter les électrodes et celle de sortie permet d'obtenir une sortie audio. Les interrupteurs peuvent être remplacés par des potentiomètres en fonction des besoins.

IV Bilan et perspectives

a) Difficultés rencontrées

Au cours de ce projet, différents problèmes et erreurs nous ont ralentis dans notre progression. Ci-dessous se trouvent des commentaires sur chacun des problèmes majeurs rencontrés.

- Nous avons réalisé une erreur au moment de la commande du convertisseur CAN (nous avons commandé un Controller Area Network). Cela nous a obligés à apporter des modifications à notre carte électronique et à utiliser le CAN de l'Arduino, moins performant que ce que nous aurions pu implémenter.
- Ayant été contraint de réaliser notre première carte avant de recevoir notre amplificateur d'instrumentation (et donc avant de pouvoir le tester), il nous a fallu revoir notre montage. Outre un branchement incorrect, nous avons dû passer d'une alimentation simple de l'amplificateur d'instrumentation (réalisée avec la pin 5V de l'Arduino) à une alimentation double (en créant une masse virtuelle depuis la batterie). L'implémentation de cette double alimentation fut complexe, notamment à cause du fait que la masse du circuit devenait la masse virtuelle créée.
- Lors de la création de l'alimentation avec tension double réalisée à partir de la tension de la batterie, nous avons d'abord utilisé un AOP issue d'un LM324N, cependant l'alimentation était bien trop bruitée pour que le fonctionnement de notre amplificateur d'instrumentation fonctionne correctement, nous avons dû utiliser un autre AOP, le TLC82CP.
- Nous avons dû ajouter beaucoup d'éléments que nous n'avions pas prévu initialement et qui sont devenus nécessaires après le changement de mode d'alimentation. L'alimentation double et les montages sommateurs et inverseurs ont ajouté du bruit à nos mesures, chose que nous souhaitions éviter.
- Notre amplificateur d'instrumentation n'était pas disponible dans la bibliothèque de composants du logiciel Kicad, nous avons alors dû le créer ainsi que de l'associer à son empreinte physique.
- Toutefois, le plus gros problème de ce projet a été le fait que nous ne savions pas concrètement ce que nous devions observer. Toute la documentation que nous avons effectuée nous a conduits à considérer que le signal à observer devait être de seulement quelques mV mais nous ne connaissons pas concrètement la manière dont ce signal doit évoluer (pour nous il s'agit d'un signal à variation lente et non périodique). Des documents fournis par Jean THOBY, le pépiniériste que nous avons contacté, nous portent à croire que même avec l'utilisation d'un produit haut de gamme comme le Devodama, les résultats sont hautement dépendants de l'environnement et des perturbations qu'il apporte.

b) Travail effectué par rapport à l'objectif

Nous avons réalisé un dispositif permettant d'amplifier une différence de potentiel très faible, de supprimer des composantes indésirables liées aux perturbations extérieures tels que le 50Hz lié au réseau électrique. De plus, nous avons modulé ce signal pour qu'il évolue uniquement dans la plage de 0 à 5V en mettant en place différentes fonctions électroniques. Cette partie a pu être validée avec un signal issu d'un générateur de fréquence, cependant nous n'avons pas pu récupérer un quelconque signal issu de notre plante en étant certains que cela provenait d'elle et pas d'une perturbation.

De plus, nous avons réalisé un boîtier en bois ainsi qu'un logo pour démarquer notre dispositif. Nous n'avons donc pas réussi, dans le temps imparti, à réaliser un boîtier fonctionnel utilisable sur une plante.

Nous restons toujours sceptique quand à la réelle possibilité de mesurer les signaux électriques issus de la photosynthèse d'une plante. Notre dispositif était certainement non optimal, les perturbations de l'extérieur sont très importantes et la plante elle même étant gorgée d'eau rend l'isolement des signaux issus de la photosynthèse beaucoup plus complexe qu'on ne pourrait le penser initialement.

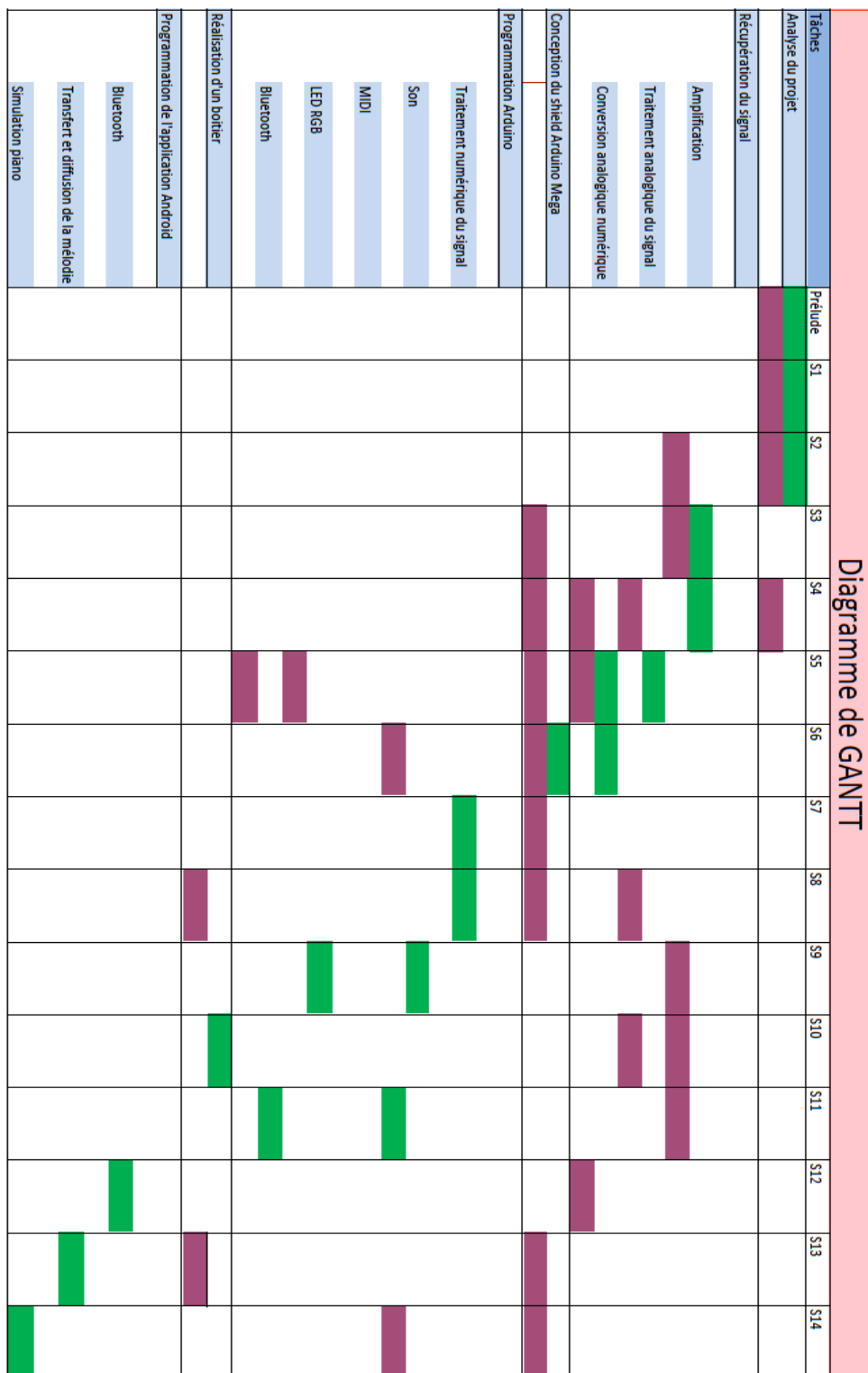
Conclusion

Ce projet étant de grande ampleur et étant basé sur des signaux de très faible intensité qu'il est difficile de capter et de sourcer, il n'est pas terminé. Nous avons cependant su lui apporter de bonnes bases sur l'exploitation d'un signal de faible intensité.

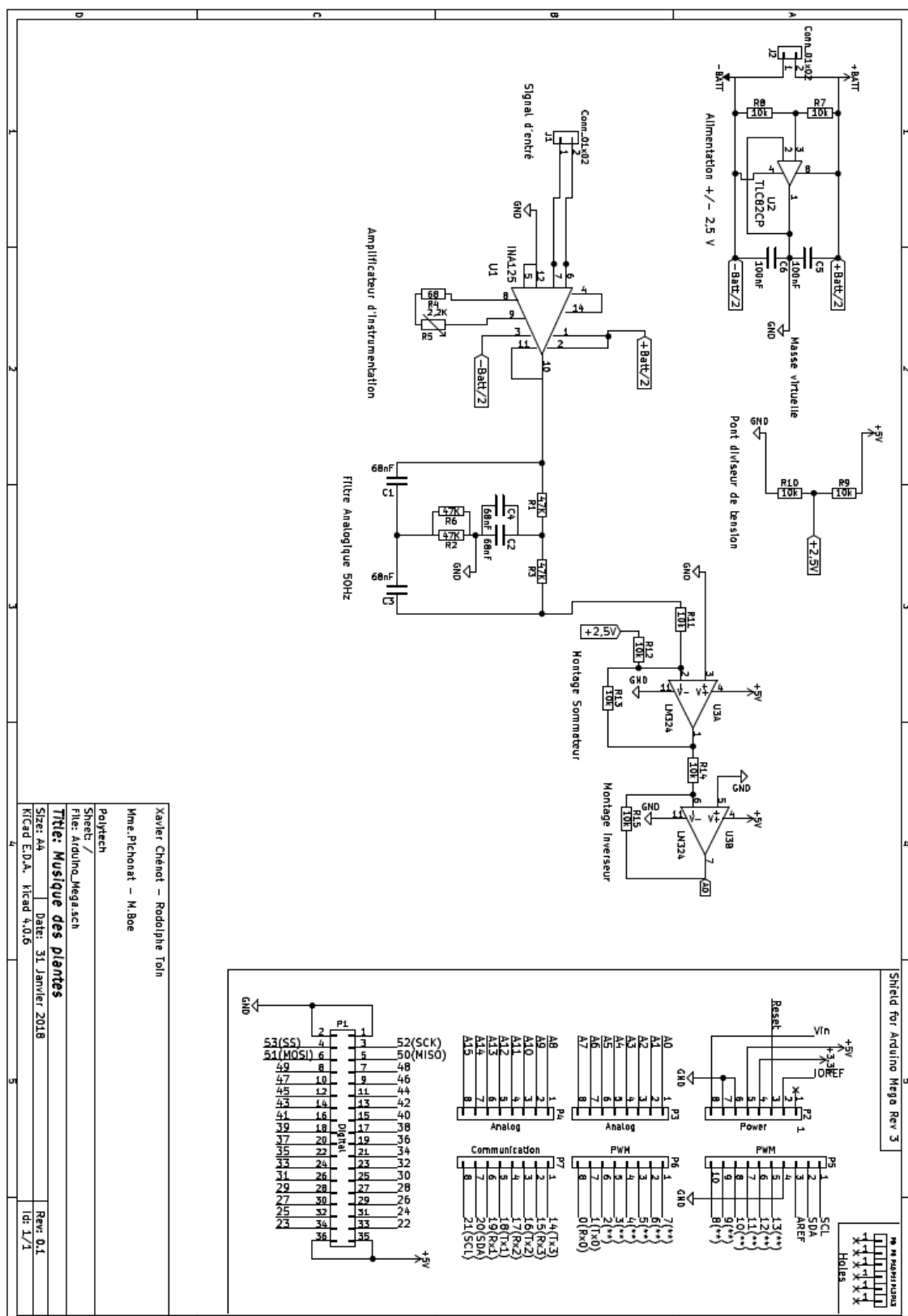
Nous restons frustrés et déçus de ne pas avoir concrétisé notre produit, mais nous restons néanmoins sceptiques quand à la possibilité de sa réalisation. Cela reste néanmoins une réelle expérience de gestion de projet avec ses aléas. Nous avons été confrontés à des problèmes et su les résoudre, et même si nous n'avons pas eu le temps de finir l'objectif dans le temps imparti nous avons pu mettre en œuvre des connaissances acquises au sein de la formation IMA, notamment en électronique, et les approfondir. Nous avons également appris beaucoup sur la gestion de projet, en partant d'une idée, d'une analyse pour arriver à la réalisation complète en passant par la conception des différentes composantes. Ce projet fut très enrichissant pour la suite de notre cursus scolaire ainsi que nos futurs projets en entreprise.

ANNEXE

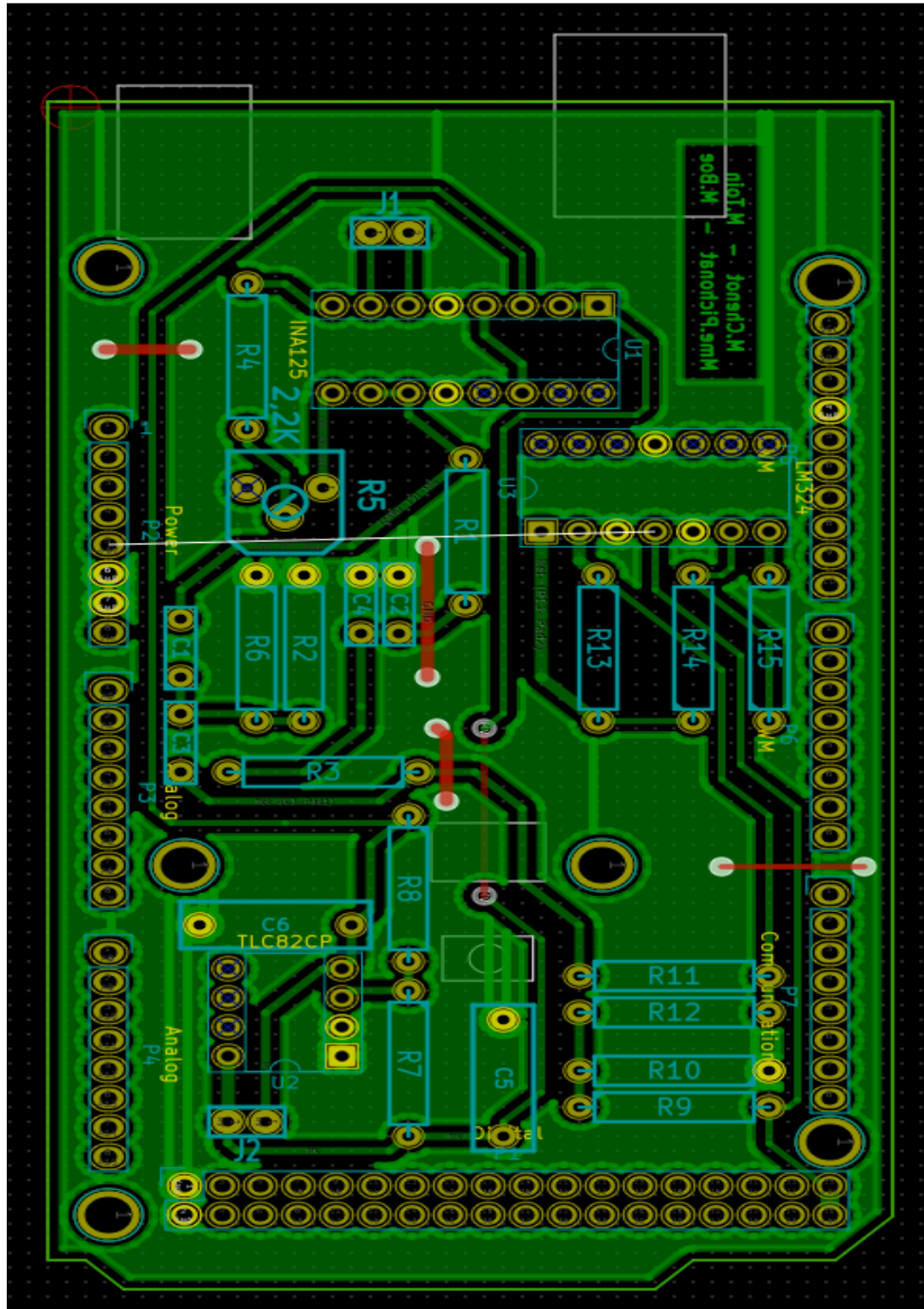
ANNEXE 1 : Diagramme de Gantt



Annexe 2 : Schematic



Annexe 3 : PCB



Annexe 4 : Code

```
Musique_Ambiance.txt pitches.h

// Une mesure analogique dans l'intervalle [0,5]V donne une valeur numérique dans l'intervalle [[0;1023]]

// *** Fonction Tone ***
// tone(pin, fréquence, durée) -- si le champ durée n'est pas renseigné, la note est infini
// noTone(pin) -- arrête le son

#include "pitches.h" //bibliothèque de notes
//Définition des pins utilisés pour les différents composants
#define L1_Rouge_Pin 4
#define L1_Vert_Pin 3
#define L1_Bleu_Pin 2
#define HP_Pin 8

//Définition d'un vecteur comprenant l'intégralité des notes fournies par la librairie pitches.h,
//plus l'indice de la note dans le tableau est grand, plus celle-ci est aigüe
int Notes[] =
{ NOTE_B0 , NOTE_C1, NOTE_CS1 , NOTE_D1 , NOTE_DS1 , NOTE_E1 , NOTE_F1 , NOTE_FS1 , NOTE_G1 , NOTE_GS1 , NOTE_A1 ,
  NOTE_AS1 , NOTE_B1 , NOTE_C2 , NOTE_CS2 , NOTE_D2 , NOTE_DS2 , NOTE_E2 , NOTE_F2 , NOTE_FS2 , NOTE_G2 , NOTE_GS2 ,
  NOTE_A2 , NOTE_AS2 , NOTE_B2 , NOTE_C3 , NOTE_CS3 , NOTE_D3 , NOTE_DS3 , NOTE_E3 , NOTE_F3 , NOTE_FS3 , NOTE_G3 ,
  NOTE_GS3 , NOTE_A3 , NOTE_AS3 , NOTE_B3 , NOTE_C4 , NOTE_CS4 , NOTE_D4 , NOTE_DS4 , NOTE_E4 , NOTE_F4 , NOTE_FS4 ,
  NOTE_G4 , NOTE_GS4 , NOTE_A4 , NOTE_AS4 , NOTE_B4 , NOTE_C5 , NOTE_CS5 , NOTE_D5 , NOTE_DS5 , NOTE_E5 , NOTE_F5 ,
  NOTE_FS5 , NOTE_G5 , NOTE_GS5 , NOTE_A5 , NOTE_AS5 , NOTE_B5 , NOTE_C6 , NOTE_CS6 , NOTE_D6 , NOTE_DS6 , NOTE_E6 ,
  NOTE_F6 , NOTE_FS6 , NOTE_G6 , NOTE_GS6 , NOTE_A6 , NOTE_AS6 , NOTE_B6 , NOTE_C7 , NOTE_CS7 , NOTE_D7 , NOTE_DS7 ,
  NOTE_E7 , NOTE_F7 , NOTE_FS7 , NOTE_G7 , NOTE_GS7 , NOTE_A7 , NOTE_AS7 , NOTE_B7 , NOTE_C8 , NOTE_CS8 , NOTE_D8 , NOTE_DS8 };

void setup() {
  pinMode(HP_Pin,OUTPUT); //réglage du pin de sortie pour le haut-parleur
  pinMode(L1_Rouge_Pin, OUTPUT); //réglages des pins de sortie pour une LED
  pinMode(L1_Vert_Pin, OUTPUT);
  pinMode(L1_Bleu_Pin, OUTPUT);

  DisplayColor(0,0,0); //permet d'éteindre les LED au démarrage
}

void loop() {

  //lecteur d'une valeur sur la pin A0 correspond au signal issu de la plante et traité par la carte
  int mesure0 = analogRead(A0);
  //lecteur d'une valeur sur la pin A1 correspondant à une tension issue d'un potentiomètre (alimenté par les pins 5V et GND de l'Arduino)
  int mesure1 = analogRead(A1);

  //la mesure0 est comprise entre 0 et 1023, et nous cherchons à la faire correspondre à l'une des 89 notes du vecteur Notes[]
  float note_float = mesure0 * ( (sizeof(Notes)/sizeof(int)-1.0) / 1023.0);
  //la note à jouer est obtenue en arrondissant le résultat précédent, la valeur finale de "note" appartient à [[0;88]]
  int note = (int) note_float;

  float duree_float = mesure1 * ( 9.0 / 1023.0);
  //par une méthode similaire à celle réalisée sur mesure0, mesure1 est ramenée à un intervalle de 10 valeurs -> [[0;9]]
  int duree_int = (int) duree_float;
  //duree correspond à la durée pendant laquelle une note sera jouée, nous avons choisi de travailler sur une fraction de 5000 ms
  int duree = 5000/(duree_int + 1)

  //Nous décidons d'allumer les LEDs en nuance de bleu et de rouge; plus le signal de la plante est faible,
  //plus les LEDs seront rouges et plus le signal est fort, plus elles seront bleues
  float couleur_float = mesure0 * ( 255.0 / 1023.0);
  // la mesure 0 est ramenée à une valeur comprise dans l'intervalle [[0;255]] afin de coder les couleurs à envoyer aux LEDs
  int couleur = (int) couleur_float;

  AfficherCouleur( couleur, 0, ~couleur); // ~couleur = 255 - couleur
}
```

```
tone( HP_Pin, Notes[resultat], duree ); //sortie sur la pin HP_Pin, note à jouer, durée de la note en ms

delay(duree*1.30); //delay conseillé pour bien distinguer les notes, proportionnel à la durée de la note

noTone(8); //arrêt de la transmission de la note

}

//La fonction AfficherCouleur permet de prendre le codage classique d'une couleur en hexadécimal,
//avec chaque couleur primaire codée avec une valeur comprise entre 0 et 255
void AfficherCouleur(byte R, byte G, byte B) {
{
    analogWrite(L1_Rouge_Pin, R); //Nous utilisons des LEDs à cathode commune, aucun besoin d'inverser la valeur R
    analogWrite(L1_Vert_Pinn, G);
    analogWrite(L1_Bleu_Pin, B);
}
}
```