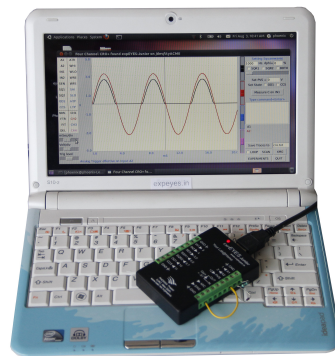


# expEYES Junior



Manuel de l'utilisateur

## EYES-JUNIOR

<http://expeyes.in>

d'après le

Projet PHOENIX

Inter-University Accelerator Centre

(un centre de recherche de l'UGC)

New Delhi 110 067

[www.iuac.res.in](http://www.iuac.res.in)

## Préface

Le projet PHOENIX (Physics with Home-made Equipment & Innovative Experiments) a démarré en 2004 par le Centre Inter-Universitaire d'Accélérateurs (IUAC) avec pour objectif l'amélioration de la formation scientifique dans les universités indiennes. Les deux activités principales de ce projet sont le développement de matériel de laboratoire à bas coût et la formation de professeurs.

expEYES Junior est une version modifiée de l'expEYES créé précédemment. Il est conçu comme un outil pour apprendre par l'expérience, adapté à l'enseignement secondaire et plus. Nous avons essayé d'en optimiser la conception pour en faire un outil simple, flexible, robuste et peu coûteux. Le prix très bas le rend accessible aux particuliers et nous espérons voir des étudiants réaliser des expériences en dehors des quatre murs d'un laboratoire, qui ferme quand sonne la cloche.

La conception du matériel est ouverte et libre de droits. Le logiciel est distribué sous la licence GNU General Public License. Le projet a bénéficié de la participation active et des contributions de la communauté d'utilisateurs et de nombreuses autres personnes en dehors de l'IUAC. Ce document a été relu par S Venkaramanan en refaisant les expériences décrites.

Le manuel utilisateur d'expEYES Junior est distribué sous la licence GNU Free Documentation License. Pour plus de détails au sujet du projet visitez le site web *expeyes.in*

Ajith Kumar B.P. (ajith@iuac.res.in)  
V V V Satyanarayana  
Jimson Sacharias

traduction française : Georges Khaznadar

# Contents

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Pour commencer</b>                                 | <b>7</b>  |
| 1.1      | Introduction . . . . .                                | 7         |
| 1.2      | Le matériel . . . . .                                 | 8         |
| 1.2.1    | Connexions externes . . . . .                         | 9         |
| 1.2.2    | Ensemble d'accessoires . . . . .                      | 13        |
| 1.3      | Installation du logiciel . . . . .                    | 14        |
| 1.4      | Le programme graphique principal . . . . .            | 16        |
| 1.5      | Mesures de base à l'aide d'expEYES . . . . .          | 19        |
| 1.5.1    | Générer & mesurer des tension . . . . .               | 19        |
| 1.5.2    | Observer des signaux de tension . . . . .             | 20        |
| 1.5.3    | Mesurer une fréquence & un rapport cyclique . . . . . | 20        |
| 1.5.4    | Précision et résolution . . . . .                     | 20        |
| 1.6      | Expériences . . . . .                                 | 21        |
| <b>2</b> | <b>Électricité</b>                                    | <b>23</b> |
| 2.1      | Mesurer la tension . . . . .                          | 24        |
| 2.2      | Tension, courant & résistance . . . . .               | 25        |
| 2.3      | Calibration de la source de courant . . . . .         | 26        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.4      | Résistances en série . . . . .   | 27        |
| 2.5      | Résistances en parallèle . . . . .                                       | 28        |
| 2.6      | Mesurer une résistance par comparaison . . . . .                         | 28        |
| 2.7      | Tension d'une pile à citron . . . . .                                    | 30        |
| 2.8      | Courant continu, courant alternatif, et effet d'antenne . . . . .        | 31        |
| 2.9      | Composantes continue et alternative d'un signal de tension . . . . .     | 32        |
| 2.10     | Résistance du corps humain . . . . .                                     | 34        |
| 2.11     | Résistances variant avec la température . . . . .                        | 35        |
| 2.12     | Résistance dépendant de la lumière . . . . .                             | 35        |
| 2.13     | Conductivité de l'eau, étudiée à l'aide de courant continu et alternatif | 37        |
| 2.14     | Mesurer une capacité électrique . . . . .                                | 38        |
| 2.15     | Mesure d'une constante diélectrique . . . . .                            | 40        |
| 2.16     | Déphasage en alternatif dans des circuits RC . . . . .                   | 41        |
| 2.17     | Déphasage en alternatif dans des circuits RL . . . . .                   | 42        |
| 2.18     | Réponse transitoire de circuits RC . . . . .                             | 44        |
| 2.19     | Réponse transitoire de circuits RL . . . . .                             | 45        |
| 2.20     | Réponse transitoire de circuits RLC . . . . .                            | 47        |
| 2.21     | Intégration et différentiation RC . . . . .                              | 49        |
| 2.22     | Analyse de Fourier . . . . .   | 51        |
| <b>3</b> | <b>Électricité et magnétisme</b>   | <b>53</b> |
| 3.1      | Induction électromagnétique . . . . .                                    | 53        |
| 3.2      | Induction mutuelle, transformateur . . . . .                             | 54        |
| 3.3      | Un générateur alternatif simple . . . . .                                | 56        |
| <b>4</b> | <b>Électronique</b>  | <b>59</b> |
| 4.1      | Redresseur demi-onde, jonction PN . . . . .                              | 59        |
| 4.2      | Signaux sinusoïdaux déphasés de $180^\circ$ . . . . .                    | 61        |
| 4.3      | Redressement double alternance . . . . .                                 | 62        |
| 4.4      | Caractéristique tension-courant d'une diode . . . . .                    | 63        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.5      | Caractéristique collecteur/émetteur d'un transistor . . . . . | 65        |
| 4.6      | Transmission de lumière, photo-transistor . . . . .           | 66        |
| 4.7      | Transmission d'un signal opto-électrique . . . . .            | 67        |
| 4.8      | Oscillateur IC555 . . . . .                                   | 69        |
| 4.9      | Multivibrateur monostable IC555 . . . . .                     | 69        |
| 4.10     | Portes logiques . . . . .                                     | 71        |
| 4.11     | Diviseur de signal d'horloge . . . . .                        | 73        |
| 4.12     | Amplificateur non-inverseur . . . . .                         | 74        |
| 4.13     | Modulation d'amplitude et de fréquence . . . . .              | 75        |
| <b>5</b> | <b>Le son</b>   | <b>79</b> |
| 5.1      | Fréquence du son . . . . .                                    | 80        |
| 5.2      | Réponse en fréquence d'un disque piézo . . . . .              | 81        |
| 5.3      | Vitesse du son . . . . .                                      | 82        |
| 5.4      | Interférences sonores . . . . .                               | 83        |
| 5.5      | Oscillations forcées d'un cristal piézo-électrique . . . . .  | 85        |
| 5.6      | Capturer une impulsion sonore . . . . .                       | 86        |
| <b>6</b> | <b>Mécanique, Optique et chaleur</b>                          | <b>89</b> |
| 6.1      | Résonance d'un pendule excité . . . . .                       | 89        |
| 6.2      | Valeur de g, pendule-barreau . . . . .                        | 90        |
| 6.3      | Oscillations d'un pendule . . . . .                           | 91        |
| 6.4      | Mesure de température, sonde Pt100 . . . . .                  | 92        |
| 6.5      | Stroboscope . . . . .   | 94        |
| 6.6      | Vitesse de rotation d'un moteur . . . . .                     | 95        |
| <b>7</b> | <b>Programmer expEYES en Python</b>                           | <b>97</b> |



# Chapter 1

## Pour commencer

### 1.1 Introduction

La science est l'étude du monde physique par des observations systématiques et des expériences. Une bonne éducation scientifique est essentielle pour cultiver une société où le raisonnement et la pensée logique prévalent au lieu de la superstition et des croyances irrationnelles. L'éducation scientifique est aussi essentielle pour former suffisamment de techniciens, d'ingénieurs et de scientifiques pour l'économie du monde moderne. On admet largement que l'expérience personnelle issue d'expérimentations et d'observations réalisées soit par les étudiants, soit par des enseignants à titre de démonstration, soit essentielle à la pédagogie de la science. Cependant, presque partout la science est enseignée en grande partie à partir de livres de cours sans donner d'importance à l'expérimentation, en partie à cause du manque d'équipements. Sans surprise, la plupart des étudiants échouent à corréler leurs connaissances acquises en classe aux problèmes rencontrés dans la vie quotidienne. On peut

jusqu'à un certain point corriger cela en enseignant la science à l'aide de questionnements et d'expériences.

L'avènement des ordinateurs personnels et leur banalisation a ouvert une nouvelle voie pour faire des expériences de laboratoire. L'ajout d'un peu de matériel à un ordinateur ordinaire peut le convertir en un laboratoire de sciences. Réaliser des mesures rapides avec une bonne précision autorise l'étude d'une large palette de phénomènes. Les expériences scientifiques impliquent en général la mesure et le contrôle de certains paramètres physiques comme la température, la pression, la vitesse, l'accélération, la force, la tension, le courant, etc. Si la grandeur physique étudiée évolue rapidement, il faut automatiser la mesure et un ordinateur devient utile. Par exemple, comprendre la variation de la tension alternative du secteur nécessite de la mesurer à chaque milliseconde.

La possibilité de réaliser des expériences avec une précision raisonnable ouvre aussi la possibilité d'une éducation scientifique orientée sur la recherche. Les étudiants peuvent comparer les données expérimentales avec des modèles mathématiques et examiner les lois fondamentales qui régissent de nombreux phénomènes. Le kit expEYES ( expEriments for Young Engineers & Scientists) est conçu pour permettre une grande variété d'expériences, de l'école à l'université. Il est aussi utilisable comme un équipement de test pour des ingénieurs en électronique ou des bricoleurs. L'architecture simple et ouverte d'expEYES permet aux utilisateurs de développer de nouvelles expériences, sans rentrer dans les détails de l'électronique et de la programmation d'ordinateurs. Ce manuel utilisateur décrit *expEYES* Junior avec plusieurs expériences, et il y a aussi un manuel du programmeur.

## 1.2 Le matériel

ExpEYES Junior est interfacé et alimenté grâce au port USB de l'ordinateur. Pour y connecter des signaux externes, il a plusieurs entrées/sorties, situées de chaque côté, comme montré sur la figure 1.1. Il peut surveiller et contrôler des tensions



à ses connexions. Pour mesurer d'autres paramètres (tels que la température, la pression, etc.), on a besoin de les convertir en signaux électriques à l'aide de capteurs adéquats.

Bien que notre premier objectif soit de faire des expériences, nous vous conseillons de lire la brève description du matériel ci-dessous. L'appareil peut être aussi utilisé comme matériel de test pour des expériences d'électricité et d'électronique.

**IMPORTANT :** *Les tensions extérieures connectées à expEYES doivent être comprises dans les limites autorisées. Les entrées A1 et A2 doivent être dans l'intervalle  $\pm 5$  V et les entrées IN1 et IN2 doivent être dans l'intervalle de 0 à 5 V. Si on dépasse ces limites, un message d'erreur clignotant apparaît. Si le programme cesse de fonctionner, terminez-le et reconnectez le câble USB pour relancer l'appareil. Des tensions excessives peuvent provoquer des dommages permanents. Pour mesurer des tensions plus hautes, diminuez-les en utilisant des diviseurs de tensions.*

### 1.2.1 Connexions externes

Les fonctions des bornes des entrées/sorties externes sont expliquées brièvement ci-dessous.

#### **Source de tension programmable, *Programmable Voltage Source (PVS)***

: On peut la régler, par logiciel, à toute valeur de l'intervalle de 0 à +5 V. La résolution est de 12 bit, ce qui implique un échelon de tension minimal de quelques 1.25 mV. Il y a un affichage de contrôle pour vérifier la tension de PVS.

**Entrées analogiques  $\pm 5$  V, *Analog Inputs (A1 & A2)* :** Celles-ci peuvent mesurer des tensions dans l'intervalle  $\pm 5$  V. La résolution du convertisseur analogique-numérique (ADC) utilisé est de 12 bits. On peut afficher la tension

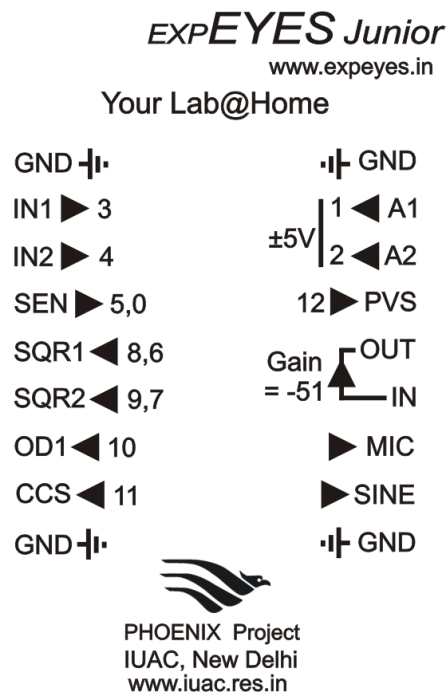


Figure 1.1: La face avant d'ExpEYES avec les connexions externes des deux côtés. Les numéros de canal apparaissant à certaines bornes sont destinés à ceux qui écrivent des logiciels pour y accéder. Les flèches indiquent la direction des signaux, par exemple la flèche de  $A1 \Rightarrow 1$  signifie que le signal de la borne A1 va vers le canal numéro 1.

à ces bornes en fonction du temps, ce qui remplit une fonction d'oscilloscope à basse fréquence. La plus grande vitesse d'échantillonnage est de 250 000 mesures par seconde.

**Entrées analogiques 0 – 5 V, *Analog Inputs* (IN1 & IN2):** Ces bornes peuvent mesurer des tensions dans l'intervalle de 0 à 5 V.

**Entrée pour capteur résistif, *Resistive Sensor Input* (SEN):** Elle est conçue principalement pour des capteurs comme des photo-résistances, des photo-transistors, etc. SEN est reliée à +5 V à l'aide d'une résistance de  $5.1k\Omega$ . Elle est aussi reliée à un comparateur analogique interne.

**Entrées numériques, *Digital Inputs* (IN1 & IN2):** Les entrées IN1, IN2 peuvent être utilisées comme entrées analogiques ou comme entrées numériques. Dans le mode numérique, toute tension inférieure à 1 V est considérée comme un 0 logique (BAS) et toute tension supérieure à 2,5 V est considérée comme un 1 logique (HAUT). Si la tension d'entrée change périodiquement entre BAS et HAUT, ces bornes permettent de mesurer la fréquence et le rapport cyclique du signal connecté. L'intervalle de temps entre les changements de tension à ces bornes peut être mesuré avec une résolution de l'ordre de la micro-seconde.

**Sortie numérique, *Digital Output* (OD1) :** La tension à OD1 peut être réglée à 0 ou 5 V, par logiciel.

**Signaux carrés, *Square Waves* SQR1 & SQR2 :** La tension de ces sorties oscille entre 0 et 5 V et la fréquence peut varier de 0,7 Hz à 100 kHz. Toutes les valeurs intermédiaires de fréquences ne sont pas possibles. Il est possible de régler SQR1 et SQR2 à des fréquences différentes. Il est aussi possible de les régler à la même fréquence, avec une différence de phase spécifique entre les deux. Ces

sorties peuvent aussi être programmées pour générer des signaux par modulation d'impulsions, *Pulse Width Modulation* (PWM). SQR1 est connectée au canal 6 pour la lecture de contrôle et SQR2 est connectée au canal 7.

Si on règle la fréquence à 0 Hz, ça force la sortie à HAUT et si on la règle à  $-1$  ça la force à BAS ; dans les deux cas la génération de signal carré est désactivée. Quand la génération de signal carré est désactivée, SQR1 et SQR2 peuvent servir de sorties numériques sur les canaux 8 et 9 respectivement.

La sortie SQR1 a une **résistance en série** de  $100\,\Omega$  qui lui permet de piloter des DELs directement. Un protocole de transmission infrarouge est implémenté sur SQR1.

**Transmission infrarouge** Une diode infrarouge connectée à SQR1 peut transmettre des données en utilisant un protocole de transmission par infrarouges. La transmission à 4 octets peut être utilisée pour émuler les télécommandes TV ordinaires. Elle supporte aussi une transmission à un octet qui peut être reçue par un programme fonctionnant sur un micro-contrôleur<sup>1</sup>.

**Sortie sinusoïdale SINE :** C'est un générateur de signal sinusoïdal à fréquence fixe, la fréquence est de quelques 150 Hz. Il s'agit d'un signal bipolaire avec une amplitude proche de 4 V.

**Source de courant constant, *Constant Current Source* (CCS) :** La source de courant constant peut être allumée et éteinte par logiciel. Sa valeur nominale est 1 mA mais peut varier d'un appareil à l'autre, suivant les tolérances des composants. Pour mesurer sa valeur exacte, connectez un ampèremètre entre CCS et la masse GND. Une autre méthode consiste à connecter une résistance connue (de l'ordre de  $3,3\,k\Omega$ ) et à mesurer la chute de tension entre ses bornes. La résistance de charge doit être inférieure à  $4\,k\Omega$  pour cette source de courant.

---

<sup>1</sup><http://expeyes.in/micro-controllers-for-hobby-projects-and-education>

**Microphone (MIC) :** Il y a un microphone à condensateur intégré, près de CCS. Sa sortie, amplifiée 51 fois, est disponible sur la sortie MIC. Il suffit de la connecter à A1 ou A2 pour la visualiser.

**Amplificateur inverseur (IN->OUT) :** L'amplificateur inverseur est implémenté à l'aide d'un amplificateur opérationnel TL084.  $R_f = 51\text{ k}\Omega$  et  $R_i = 1000\text{ }\Omega$ , ce qui donne le gain maximal de  $\frac{51000}{1000} = 51$ . On peut réduire le gain en connectant l'entrée à travers une résistance en série. Par exemple si on utilise une résistance en série de valeur  $50\text{ k}\Omega$ , on en fait un inverseur à gain unitaire.

**Masse, *Ground* (GND) :** Les quatre bornes marquées GND sont les masses de référence. Toutes les tensions mesurées/générées sont définies par rapport à ces bornes.

### 1.2.2 Ensemble d'accessoires

Quelques accessoires sont livrés avec expEYES Junior, une photographie est présentée sur le dos de couverture du manuel.

- Pincettes crocodile équipées de fils (4) : s'il est question de changer la connexion à n'importe quelle borne plusieurs fois pendant une expérience, il est plus facile de faire la connexion à l'aide de la pince crocodile fournie.
- Bobines 3000 tours (2) : fil de cuivre émaillé 44SWG, inductance  $\approx 125\text{ mH}$ , résistance  $\approx 560\text{ }\Omega$ . On utilise ces bobines pour l'étude de l'inductance, l'induction électromagnétique, etc.
- Disques piézo-électriques (2) : leur fréquence de résonance est d'environ  $3,5\text{ kHz}$ . On peut les alimenter avec SQR1 ou SQR2. Les disques sont montés dans une coquille plastique formant une cavité de résonance, qui augmente l'amplitude du son produit.

- Moteur à courant continu : à alimenter par une tension continue de moins de 3 V.
- Aimants permanents : (a) diamètre et longueur 10 mm, (b) diamètre 5 mm et longueur 10 mm, (c) aimants boutons (2).
- DELs 5 mm : rouge, bleue, verte, blanche.
- Condensateurs :  $47\ \mu F$ ,  $1\ \mu F$ ,  $0,1\ \mu F$ , et  $0,01\ \mu F$ .
- Résistances :  $560\ \Omega$ ,  $1\ k\Omega$ ,  $2,2\ k\Omega$ ,  $10\ k\Omega$ ,  $51\ k\Omega$  et  $200\ k\Omega$ .
- Photorésistance et thermistance.
- Deux diodes au silicium (1N4148) et un transistor (2N2222)
- 5 bouts de fil électrique (8 cm) et un tournevis.

### 1.3 Installation du logiciel

ExpEYES peut fonctionner sur tout ordinateur disposant d'un interpréteur Python et d'un module Python pour accéder au port série. L'interface USB est prise en charge par le programme pilote qui présente le port USB comme un port RS232 aux programmes d'applications. La communication avec le boîtier expEYES est réalisée à l'aide d'une bibliothèque écrite en langage Python (aussi disponible avec une source en langage C). Des programmes avec une interface utilisateur graphique ont été écrits pour de nombreuses expériences. Il y a plusieurs façons de mettre en route le logiciel :

### Le CDROM vif (Live CD) expEYES

La façon la plus simple de commencer est de démarrer votre PC avec le CDROM vif expEYES. Assurez-vous dans le BIOS du PC que le lecteur de CDROM soit le premier disque de démarrage, insérez le CDROM vif et démarrez votre PC. Un bureau va apparaître et vous pouvez lancer expEYES Junior depuis le menu **Applications->Science->EYES-Junior**. On peut aussi le lancer depuis un Terminal à l'aide de la commande :

```
$ expeyes-junior
```

### Installation dans une distribution GNU/Linux Debian ou Ubuntu

Installez le paquet officiel **expeyes** ; par le jeu des dépendances, vous aurez en plus tous les autres paquets nécessaires au bon fonctionnement.

### Pour les autres distributions GNU/Linux

Téléchargez **expeyes-junior.tgz** depuis **<http://expeyes.in>** et suivez les instructions du fichier README. Il est important de donner des droits de lecture/écriture à tous les utilisateurs pour le port USB où expEYES est connecté.

### Sur MSWindows

Même si expEYES est un logiciel libre développé à l'aide de logiciels libres et ouverts, il fonctionne aussi sur des plate-formes non-libres. Pour l'installer sur MSWindows, il vous faut (1) des pilotes MCP2200, (2) Python-2.x , python-serial, python-tk, python-numpy et python-scipy, et (3) expeyes-junior.zip

Dézipper le fichier **expeyes-junior.zip**, et double-cliquer sur **croplus.py** dans le répertoire nouvellement créé, de nom EYES. Si vous avez le CDROM vif expEYES,

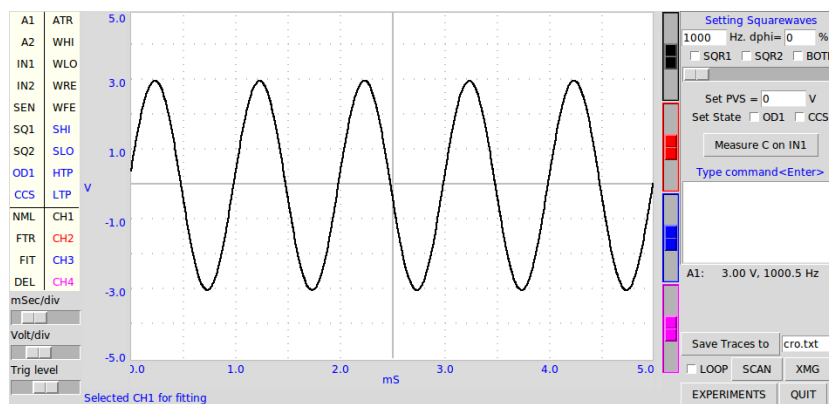


Figure 1.2: L'écran de croplus affichant un signal sinusoïdal connecté à A1.

naviguez dans le répertoire nommé EYESJUN. Tous les fichiers mentionnés ci-dessus sont dans ce répertoire. Double-cliquer ces fichiers dans l'ordre cité ci-dessus pour les installer. Voir la section logicielle dans le site web expeyes pour plus de détails.

## 1.4 Le programme graphique principal

Démarrez Applications->Science->EYES-Junior depuis le menu. Un écran d'oscilloscope à quatre voies avec de nombreuses possibilités supplémentaires va s'ouvrir comme montré à la figure 1.2. Le bouton **EXPÉRIENCES** ouvre un menu surgissant pour plusieurs expériences.



## La fenêtre des graphiques

La fenêtre des graphiques fonctionne comme un oscilloscope à quatre voies à basse fréquence. La vitesse d'échantillonnage maximale est de 250 Hz seulement, ce qui suffit quand même pour explorer le domaine des fréquences audio. Une brève description de ce programme graphique est donnée ci-dessous.

- À gauche, les entrées (A1,A2,IN1,IN2,SEN et les retours en lecture de SQR1 & SQR2) sont affichés. *Un clic sur n'importe lequel d'entre eux affichera la tension/le niveau logique présent.* Pour tracer la courbe de l'un d'entre eux, tirer-glisser celui-ci sur la voie désirée (CH1 à CH4). Les noms des entrées sélectionnées pour l'affichage sont montrés à la droite de la fenêtre des graphiques, avec une couleur particulière pour chaque voie.
- Pour l'aide en ligne, placer le curseur sur n'importe quel item, et maintenir pressé le bouton gauche de la souris.
- Les graphiques sont générés en capturant la tension aux entrées sélectionnées. Des actions supplémentaires peut être faites pour chaque capture. Par exemple, si on tire-glisse ATR sur A1, on sélectionne A1 comme source du trigger (détecteur de seuil) analogique, ce qui est similaire à ce qu'on fait avec un oscilloscope ordinaire. D'autres sortes de modificateurs sont aussi implémentés. Par exemple, quand on tire-glisse SHI sur OD1, cela force OD1 à HAUT au début de chaque capture et le force à BAS à la fin.
- Quand on tire-glisse n'importe laquelle des voies, CH1 à CH4, vers FIT, on déclenche le calcul de l'amplitude et de la fréquence en modélisant les données à l'aide de l'équation  $V = V_0 \sin(2\pi ft + \theta) + C$ ,  $V_0$  et  $f$  seront affichés. Quand on tire-glisse la voie vers NML on désactive l'option FIT.
- Un clic droit sur IN1, IN2, SEN, SQR1 ou SQR2 permet de mesurer la fréquence et le rapport cyclique du signal de tension présent à cette borne.

- Si deux canaux adjacents sont affectés, en cliquant-droit sur le premier on calcule la fréquence et la différence de phase entre les deux entrées.
- Quand on tire-glisse une voie sur FTR on affiche le spectre de Fourier du signal dans une fenêtre distincte.
- Pour retirer une voie de l’affichage, il faut la tirer-glisser vers DEL.
- Il y a un réglage d’échelle horizontale (ms/division). On le règle au minimum et on l’augmente pour visualiser plus de cycles sur l’écran.
- Il y a un réglage d’échelle verticale (V/division). La valeur maximale est de 5 V par division.
- Des ascenseurs de décalage vertical sont fournis pour chaque voie pour décaler sa trace vers le haut ou vers le bas.
- Le bouton à cocher BOUCLE permet de choisir le mode monocoup/permanent pour le mode de scan.
- Les traces peuvent être transférées à une fenêtre graphique Grace, à l’aide du bouton XMG.
- Il y a un bouton Enregistrer pour enregistrer les données dans un fichier en format texte à deux colonnes.

En plus de ces propriétés d’oscilloscope, on peut aussi contrôler SQR1, SQR2, PVS etc. depuis l’interface graphique. On peut exécuter des fonction Python pour accéder au matériel depuis une fenêtre de commande.

- Pour les signaux carrés, la fréquence et la différence de phase en pourcentage sont entrées dans deux champs testes. On peut assigner à SQR1 & SQR2 deux fréquences différentes ou la même fréquence avec une différence de phase

donnée. Ré-activez les boutons à cocher après avoir modifié la fréquence ou la différence de phase.

- On peut aussi régler SQR1 à l'aide d'un curseur graphique.
- Pour régler PVS, entrez la tension (entre 0 et 5) et appuyez sur la touche Entrée. La sortie PVS dispose d'un afficheur de contrôle et sa valeur s'affiche dans le champ de message.
- Des boutons à cocher sont fournis pour contrôler OD1 et CCS.
- On peut mesurer des condensateurs branchés entre IN1 et la masse GND.
- On peut entrer des fonctions Python pour communiquer avec le matériel dans une fenêtre de commande.

## 1.5 Mesures de base à l'aide d'expEYES

Avant de commencer les expériences, faisons quelques exercices simples pour nous familiariser avec expEYES Junior. Démarrez votre ordinateur avec le CDROM vif, connectez l'appareil à un port USB et démarrez le programme EYES Junior depuis le menu Applications->Science.

### 1.5.1 Générer & mesurer des tension

- Connecter PVS à IN1 et assigner IN1 à CH1
- Régler PVS à une tension quelconque et observer la trace
- Cliquer sur IN1 pour afficher la tension.

### 1.5.2 Observer des signaux de tension

- Connecter SINE à A1 et assigner A1 à CH1
- Ajuster l'échelle horizontale (ms/Div) pour voir 4 ou 5 cycles du signal carré
- Régler la fréquence à 100 et cocher SQR1.
- Assigner SQR1 à CH2
- Changer la fréquence. Décocher et cocher à nouveau SQR1.
- Essayer les options FIT et FTR.

### 1.5.3 Mesurer une fréquence & un rapport cyclique

- Régler SQR1 à 1000
- Cliquer droit sur SQR1 pour afficher la fréquence et le rapport cyclique.
- Pour régler la fréquence à 488 Hz et le rapport cyclique à 30%, entrer  $set\_sqr1\_pwm(30)^2$  dans la fenêtre de commande.
- Recommencer la mesure en faisant un clic droit sur SQR1.

### 1.5.4 Précision et résolution

La figure 1.2 montre un signal sinusoïdal de 3 V, 3000,5 Hz issu d'un générateur de fonction Agilent 33220A, connecté à A1. La tension présente en IN1 est mesurée à l'aide d'un multimètre Keithley 2100, comme 3,000 V avec une précision de 2 mV. La fréquence du signal sinusoïdal audio est mesurée avec une erreur inférieure à 0,1 %. La mesure de tension a une résolution de 12 bits mais la précision absolue peut légèrement varier avec la température ambiante.

---

<sup>2</sup>Pour des informations au sujet des commandes, se référer au manuel du programmeur.

## 1.6 Expériences

Le matériel d'expEYES peut générer/mesurer différentes sortes de signaux de tension. Pour mesurer n'importe quel autre paramètre, il faut le convertir en une tension, à l'aide de capteurs appropriés. Par exemple un capteur de température donnera une tension indiquant la température.

Un programme avec interface graphique est fourni pour chaque expérience décrite dans ce manuel. Cependant, il est possible d'en faire autant en écrivant quelques lignes de code en langage Python. Toute la communication avec expEYES est réalisée à l'aide d'une bibliothèque Python nommée *eyesj.py*. L'analyse des données et leur affichage est aussi réalisé en Python. Si ça vous intéresse de développer de nouvelles expériences basées sur ExpEYES, ce serait une bonne idée d'étudier le langage de programmation Python. Pratiquement chaque expérience peut être étendue d'une façon ou d'une autre et quelques suggestions sont faites dans ce sens.

Les chapitres suivants décrivent des expériences sur divers sujets comme l'électricité, le magnétisme, l'électronique, le son, la chaleur, etc. Comme le kit expEYES est destiné à l'auto-apprentissage, nous avons inclus quelques expériences extrêmement triviales au début.



## Chapter 2

# Électricité

Nous commencerons avec la tâche très simple de mesurer la tension d'une pile. Ensuite nous introduirons le courant et la résistance, et ensuite des résistances qui changent en fonction de la température et de la lumière. Le concept de Courant Alternatif est introduit en traçant la tension en fonction du temps. Le comportement de circuits comme des condensateurs et des bobinages en courant alternatif et continu est examiné, en mesurant des éléments tels que l'amplitude, la fréquence et la phase. La réponse transitoire d'une résistance et d'un condensateur en série est utilisée pour mesurer la capacité. L'inductance est aussi mesurée de la même façon. L'analyse de Fourier de signaux est réalisée pour étudier des harmoniques. L'intégration et la différenciation d'un signal carré à l'aide de circuits RC est aussi abordée.

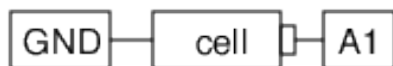
Pour chaque expérience, réalisez les connexions selon le diagramme donné.

## 2.1 Mesurer la tension

### Objectif

Apprendre à mesurer une tension à l'aide d'expEYES et se faire une idée du concept de masse électrique (GND). Une pile et deux fils sont nécessaires.

### Procédure



- Cliquer sur A1 pour afficher la tension
- Recommencer en inversant les connexions de la pile.

### Observation

Les tensions mesurées sont +1,5 et -1,5 V.

On mesure la différence de potentiel entre deux points. L'un d'eux peut être traité comme étant à zéro volt, ou le potentiel de la masse (Ground, GND). Les points de mesure de la tension d'expEYES mesurent la tension relative aux bornes marquées GND. Nous avons connecté la borne négative de la pile à la masse (GND). La borne positive est à +1,5 V par rapport à la borne négative. *Est-ce que la tension correcte sera affichée si GND n'est pas connecté ?*

Si la tension d'entrée est dans l'intervalle de 0 à 5 V, utilisez iN1, qui est directement connectée à l'entrée du convertisseur analogique-numérique. La résolution des entrées bipolaires A1 et A2 est moitié moins fine que celle de IN1. Des erreurs de décalage et de gain des amplificateurs-décaleurs peuvent aussi affecter la précision de A1 & A2.



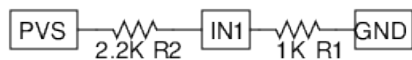
## 2.2 Tension, courant & résistance

### Objectif

Étudier le courant, la résistance et la loi d'Ohm, à l'aide d'une paire de résistances. La tension aux bornes d'un conducteur ohmique est directement proportionnelle au courant qui le traverse. La constante de proportionnalité s'appelle la résistance. Ceci est connu sous le nom de Loi d'Ohm, selon l'expression mathématique

$$U \propto I ; \quad U = RI \quad \text{ou} \quad R = \frac{U}{I}$$

### Procédure



- Régler PVS. Notez la valeur réelle de la tension depuis le champ de message.
- Cliquer sur IN1 pour mesurer sa tension.
- Répéter pour diverses valeurs de PVS.
- Répéter pour d'autres valeurs de résistance.

### Observation

On mesure la tension totale et la tension aux bornes de  $R_1$ . La tension aux bornes de  $R_2$  est  $U_{PVS} - U_{R1}$ . Le courant qui traverse  $R_1$ ,  $I = U_{R1}/R1$ . La même quantité de courant traverse  $R_2$  et la tension aux bornes de  $R_2$  peut se calculer à l'aide de  $U_{R1} = R_1 I$ .

| $V_{PVS}$ | $U_{IN1} = U_{R1}$ | $I = \frac{U_{IN1}}{1000} \text{ A}$ | $U_{R2} = U_{PVS} - U_{IN1}$ | $U_{R2} = I \times 2.2k$ |
|-----------|--------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 1         | 0,313              | 0,313                                | 0,687                        | 0,688                    |
| 2         | 0,626              | 0,626                                | 1,374                        | 1,377                    |
| 3         | 0,94               | 0,94                                 | 2,06                         | 2,07                     |

On peut généraliser ça en connectant trois résistances en série et en connectant les jonctions à IN1 et IN2. On peut aussi connecter une résistance de  $5,1 k\Omega$  de SEN à GND et mesurer la tension au niveau de SEN. Notez bien que SEN est connectée intérieurement à 5 V à l'aide d'une résistance de  $5,1 k\Omega$ .

## 2.3 Calibration de la source de courant

### Objectif

La valeur réelle du courant issu de la source de courant constant peut être différente de la valeur nominale  $1 mA$ , à cause de la tolérance des composants utilisés. On peut mesurer sa valeur en connectant un ampèremètre entre CCS et GND, ou en connectant une résistance connue à CCS et en mesurant la tension à ses bornes. La résistance doit avoir une valeur comprise entre  $2 k\Omega$  et  $4 k\Omega$ .

### Procédure



- Activer CCS

### Observation

La valeur mesurée de la résistance est  $3,876 k\Omega$  et la tension est  $3,725 V$ . La vraie valeur du courant constant est dans ce cas  $3,725/3,876 = 0,961 mA$ .

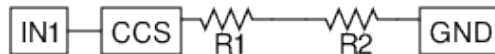
Pour une meilleure précision, la valeur corrigée devrait être utilisée dans les expériences qui mettent en jeu CCS.

## 2.4 Résistances en série

### Objectif

Trouver la résistance qui résulte de la mise en série de conducteurs ohmiques,  $R = R_1 + R_2 + \dots$ , à l'aide d'une source de courant constant. On utilise des résistances de  $560\Omega$  et de  $1k\Omega$ .

### Procédure



- Connecter  $R_1$ ,  $R_2$  séparément puis ensemble.
- Mesurer IN1 dans chaque cas.

### Observation

| $R (\Omega)$ | $U_{IN1} (V)$ |
|--------------|---------------|
| 560          | 0,558         |
| 1000         | 0,998         |
| 1000+560     | 1,556         |

Comme le courant est le même, la chute de potentiel totale donne la résistance effective. On peut voir qu'elle est la somme des valeurs individuelles, à l'erreur de mesure près. Pour des valeurs plus précises, utilisez la valeur du courant mesurée comme expliqué à la partie 2.3, au lieu de  $1mA$ .

## 2.5 Résistances en parallèle

### Objectif

Trouver la résistance effective de la mise en parallèle de conducteurs ohmiques donnés, théoriquement donnée par  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

### Procédure



- Connecter une résistance de  $1\text{ k}\Omega$  entre CCS et la masse GND.
- En faire autant avec deux résistances connectées en parallèle.

### Observation

| $R_{\text{connectée}}(\Omega)$ | $U_{\text{mesurée}}(V)$ |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1000                           | 1.008                   |
| $1000\parallel 1000$           | 0.503                   |

Comme nous connaissons le courant, nous pouvons calculer la résistance à partir de la tension mesurée. Selon la tension mesurée, la résistance de la combinaison en parallèle est  $\frac{0.503\text{ V}}{0.001\text{ A}} = 503\ \Omega$ .

## 2.6 Mesurer une résistance par comparaison

### Objectif

Apprendre à utiliser la loi d'Ohm pour trouver la valeur d'une résistance inconnue en la comparant avec une résistance connue. La différence de potentiel aux bornes

d'une résistance est donnée par  $U = RI$ . Si la même valeur de courant traverse les deux résistances différentes, le quotient des tensions sera le même que le quotient des résistances,  $I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$ .

## Procédure



- Connecter la résistance inconnue  $R$  entre PVS et IN1.<sup>1</sup>
- Connecter  $1\text{ k}\Omega$  ( $R_1$ ) entre IN1 et la masse GND.
- Régler PVS à  $4\text{ V}$ .
- Mesurer la tension en IN1

## Observation

La tension en IN1 vaut  $1,254\text{ V}$ , ce qui implique que la chute de potentiel à travers la résistance inconnue est  $4 - 1,254 = 2,746\text{ V}$ .

Le courant,  $I = \frac{1,254}{1000} = 1,254\text{ mA}$ . La résistance inconnue vaut :  $\frac{2,746}{1,254} = 2,19\text{ k}\Omega$

Quelle est la limitation de cette méthode ? Comment choisir la résistance de référence ? Supposons que la valeur inconnue soit en méga-ohm, quelle serait la chute de potentiel à travers une résistance de référence de  $1\text{ k}\Omega$  ? Notre mesure de tension possède une résolution de  $\frac{1}{4095}$ .

Nous utiliserons plus tard cette méthode pour mesurer la résistance de solutions, en courant alternatif.

---

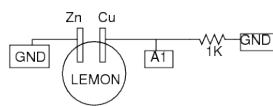
<sup>1</sup>On utilise IN1 ou IN2 quand le potentiel est entre 0 et 5 V, pour une meilleure résolution.

## 2.7 Tension d'une pile à citron

### Objectif

Réaliser une source de tension en insérant des plaques de Zinc et de Cuivre dans un citron. Examiner la possibilité de fournir du courant et la résistance interne.

### Procédure



- Cliquer sur A1 pour mesurer la tension
- Mesurer la tension avec et sans la résistance de  $1\text{ k}\Omega$

### Observation

La différence de potentiel entre les bornes de Cuivre et de Zinc est proche de  $0,9\text{ V}$ . Quand on connecte la résistance ça réduit cette différence de potentiel à  $0,33\text{ V}$ . Quand elle est connectée, le courant commence à s'écouler dans la résistance. Mais pourquoi la tension diminue-t-elle ?

Quelle est la résistance interne de la pile ?

Le courant est un déplacement de charges électriques et il doit parcourir un circuit complet. Cela signifie que le courant doit aussi traverser la pile. Selon la résistance interne de la pile, une part de la tension est perdue dans la pile elle-même. Est-ce qu'il en est de même avec une pile ordinaire neuve ?

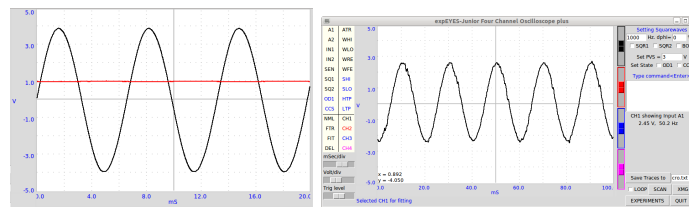


Figure 2.1: Graphiques de tension en fonction du temps. (a) graphiques de tensions continue et alternative (b) effet d'antenne d'u à la tension du secteur

## 2.8 Courant continu, courant alternatif, et effet d'antenne

### Objectif

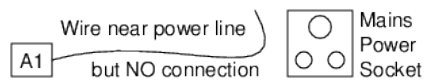
Introduire la notion de tension dépendante du temps, en utilisant un graphique  $U(t)$ . Comparer le graphique en courant alternatif et continu. Étudier la tension alternative du secteur. Examiner le phénomène de propagation de tension alternative à travers l'espace vide.

### Procédure



- Assigner A1 à CH1 et A2 à CH2
- Régler PVS à 1 V
- Assigner CH1 à FIT, pour déterminer les paramètres de la tension alternative.

- Désactiver SINE et connecter un long fil à A2



## Observation

La figure 2.1(a) montre que le graphique d'une tension continue est une ligne horizontale et que pour le courant alternatif celui-ci change de direction et de valeur avec le temps. Il devient négatif et positif environ 150 fois par seconde. Ce signal sinusoïdal est généré grâce à des circuits électroniques.

Quand l'option FIT est activée, l'amplitude et la fréquence sont calculées en modélisant les données par l'équation  $U = U_0 \sin(2\pi ft + \theta)$ , où  $U_0$  est l'amplitude et  $f$  est la fréquence. Quelle est la signification de  $\theta$  dans cette équation ?

L'effet d'antenne dû à la tension du secteur est montré dans la figure 2.1(b). La fréquence est obtenue par modélisation des données. Sans réaliser aucune connexion, comment recevons-nous cette tension alternative depuis le secteur ?

## 2.9 Composantes continue et alternative d'un signal de tension

### Objectif

Séparer les composantes alternative et continue d'un signal de tension à l'aide d'un condensateur.



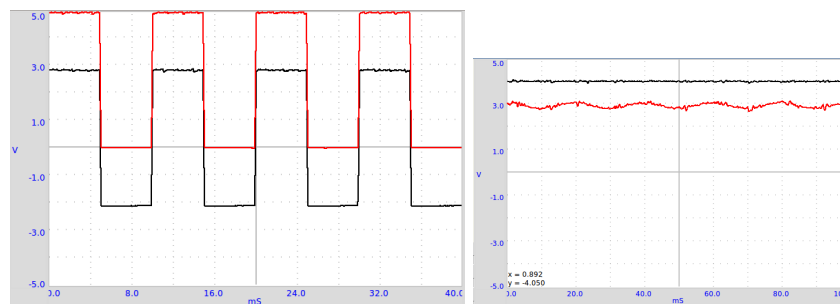
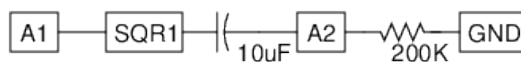


Figure 2.2: (a) Un signal entre 0 et 5 V, avec la composante continue bloquée (b) Une mesure de la résistance électrique d'un corps humain

## Procédure



- Régler SQR1 à 500  $Hz$
- Assigner SQR1 à CH1 et A2 à CH2
- Ajuster l'échelle horizontale pour observer plusieurs cycles.

## Observation

Les signaux observés avec et sans le condensateur en série sont montrés dans la figure 2.2(a). La tension varie entre 0 et 5 V. Après passage à travers le condensateur, le signal de tension varie de -2,5 V à +2,5 V.

Qu'obtient-on si on soustrait 2,5 de l'ordonnée (y) de chaque point du premier graphique ? C'est ça que le condensateur a fait. Il n'a pas laissé passer la composante continue. Le signal carré d'origine peut être considéré comme une tension continue de 2,5 V superposée avec un signal alternatif de 2,5 V.

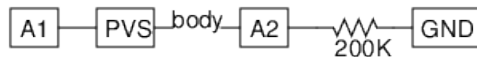
Il se peut que vous deviez connecter une résistance entre A2 et GND pour observer un signal variant entre -2,5 V et + 2,5 V. Retirer la résistance et observer le résultat.

## 2.10 Résistance du corps humain

### Objectif

Se faire une idée de la résistance de la peau et comment celle-ci varie.

### Procédure



- Assigner A1 à CH1 et A2 à CH2, activer FIT
- Relier PVS et A2, à travers votre corps et mesurer la tension en CH2
- Calculer la résistance du corps, comme indiqué à la partie 2.6

### Observation

Le signal observé est montré à la figure 2.2(b). La tension en A2 vaut 3 V, la variation est due à l'effet d'antenne à 50 Hz. Recommencez cette expérience à l'aide d'une tension alternative, utilisez SINE au lieu de PVS.

## 2.11 Résistances variant avec la température

### Objectif

Montrer la dépendance entre résistance et température, à l'aide d'une thermistance,  $1\text{ k}\Omega$  @  $25^\circ\text{C}$ , avec un coefficient de température négatif. Introduire le capteur de température.

### Procédure



- Cliquer sur IN1 pour mesurer la tension
- Recommencer à plusieurs températures différentes

### Observation

| Circonstances          | $U = RI$         | $R = \frac{U}{I}$ |
|------------------------|------------------|-------------------|
| Dans de l'eau glacée   | $1,2\text{ V}$   | $1200\ \Omega$    |
| À température ambiante | $0,935\text{ V}$ | $935\ \Omega$     |

## 2.12 Résistance dépendant de la lumière

### Objectif

Étudier une photorésistance, *Light Depending Resistor*, LDR. Mesurer l'intensité de la lumière et sa variation avec l'éloignement de la source. Utiliser la méthode de comparaison pour trouver la valeur de la résistance.

## Procédure



- Régler PVS à 4 V et prendre note du réglage
- Cliquer sur IN1 pour en mesurer la tension, assigner IN1 à CH1.
- Calculer la résistance de la photorésistance (LDR), comme expliqué à 2.6
- Recommencer en modifiant l'intensité de la lumière arrivant sur la photorésistance
- Régler SQR1 à 10 Hz et
- Placer la Diode électroluminescente au-dessus de la photorésistance, puis observer le signal en IN1

## Observation

La résistance varie de  $1\text{ k}\Omega$  à environ  $100\text{ k}\Omega$  selon l'intensité de la lumière qui l'éclaire. La résistance diminue avec l'intensité de la lumière. Si on utilise une source de lumière ponctuelle, la résistance devrait augmenter comme le carré de la distance.

Illuminez la photorésistance à l'aide d'une lampe fluorescente et observez le signal en CH1. La fréquence de l'ondulation est en rapport avec la fréquence du secteur.

## 2.13 Conductivité de l'eau, étudiée à l'aide de courant continu et alternatif

### Objectif

Mesure la résistance de solutions ioniques, en utilisant des tensions continues et alternatives. Nous avons utilisé de l'eau normale du robinet.

### Procédure

- $R_1$  devant être comparable à  $R$ , commencer avec  $10\text{ k}\Omega$ .
- Assigner A1 à CH1 et A2 à CH2, activer FIT sur les deux voies
- Calculer la résistance comme expliqué à la partie 2.6
- Recommencer en utilisant une tension continue, PVS au lieu de SINE

### Observation

|      | $U_{total}$     | $U_{10\text{ k}\Omega}$ | $U_{liq}$       | $I = \frac{U_{10\text{ k}\Omega}}{1000}$ | $R_{liq} = \frac{U_{liq}}{I}$ |
|------|-----------------|-------------------------|-----------------|--|-------------------------------|
| SINE | $3,25\text{ V}$ | $2,6\text{ V}$          | $0,65\text{ V}$ | $0,26\text{ mA}$                         | $2,5\text{ k}\Omega$          |
| PVS  | $4\text{ V}$    | $2,3\text{ V}$          | $1,7\text{ V}$  | $0,23\text{ mA}$                         | $7,4\text{ k}\Omega$          |

Les valeurs observées sont reportées dans le tableau. Les résistances en courant continu et alternatif semblent très différentes. Avec le courant continu, la résistance change avec le temps, à cause du phénomène d'électrolyse et de la formation de bulles gazeuses. La résistance dépend de la distance entre électrodes, et l'aire des électrodes a de l'effet. La résistance dépend de la concentration des ions et de la présence d'impuretés dans l'eau utilisée.

Essayez de modifier la distance entre les électrodes. Essayez d'ajouter un sel ordinaire et recommencez les mesures. Pourquoi le comportement est-il différent

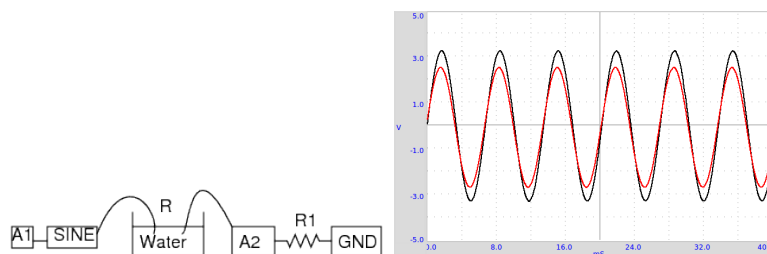


Figure 2.3: (a) Conductivité de l'eau. (b) La tension totale appliquée et la tension aux bornes de la résistance de  $10\text{ k}\Omega$ .

en alternatif et en continu ? Quels sont les porteurs de charges responsables du passage du courant à travers des solutions ? Est-ce qu'une réaction chimique se produit ?

## 2.14 Mesurer une capacité électrique

### Objectif

ExpEYES Junior dispose d'une source de courant interne programmable, qui peut être activée sur IN1. Connectez un condensateur  $C$  et établissez un courant  $I$  ( $5,5\text{ }\mu\text{A}$ ) pour une certaine durée  $t$ . La charge accumulée sera  $Q = It = CU$ . En mesurant  $U$ , la valeur de  $C$  peut être calculée. Pour de meilleurs résultats, il faut soustraire la capacité interne du dispositif. Mesurez  $C$  sans rien connecter à IN1, et soustrayez la valeur de celle mesurée avec un condensateur. Cette méthode peut être utilisée pour des capacité allant jusqu'à  $10000\text{ pF}^2$ . Si on touche le

<sup>2</sup>Au delà de cette valeur il faut utiliser la fonction Python qui spécifiera un autre courant de charge, la durée de la charge, etc.

condensateur pendant la mesure on corrompt le résultat.

## Procédure



- Mesurer la capacité  $C$  sans rien d'autre connecté, pour avoir la valeur de la capacité interne du dispositif.
- connecter le condensateur entre IN1 et la masse GND.
- Cliquer sur le bouton **Mesure de  $C$  sur IN1**
- Recommencer avec des condensateurs différents

## Observation

La borne nue mène à une mesure de  $C = 34\text{pF}$ . Plusieurs condensateurs ont été mesurés.

| Valeur nominale | Valeur mesurée (pF) - 34pF |
|-----------------|----------------------------|
| 10              | 11                         |
| 20              | 19                         |
| 680             | 664                        |
| 180             | 176                        |
| 3000            | 2900                       |

## 2.15 Mesure d'une constante diélectrique

### Objectif

Mesurer la constante diélectrique de matériaux comme le verre, le papier, le polyester, etc. en réalisant un condensateur. La capacité vaut  $C = \epsilon_0 k \frac{S}{e}$ , où  $\epsilon_0$  est la permittivité du vide,  $k$  la constante diélectrique,  $S$  la surface de recouvrement des plaques conductrices en vis-à-vis et  $e$  l'épaisseur du matériau isolant qui les sépare. On a pu utiliser une plaque de verre de  $13\text{ cm} \times 10,6\text{ cm}$  d'épaisseur  $e = 4\text{ mm}$  pour réaliser un condensateur en collant des feuilles de métal de chaque côté.

### Procédure

- connecter le condensateur entre IN1 et la masse GND.
- Cliquer sur le bouton **Mesure de C sur IN1**
- Recommencer sans rien connecter à IN1

### Observation

La capacité mesurée est  $225\text{ pF}$ . La capacité interne du dispositif est mesurée après avoir retiré le fil branché en IN1, et elle vaut  $30\text{ pF}$ , ce qui fait que  $C = 195\text{ pF}$ .  $k = \frac{Ce}{\epsilon_0 S} = \frac{195 \cdot 10^{-12} \times 0,004}{8,854 \cdot 10^{-12} \times 0,13 \times 0,106} = 6,37$ . Si on touche le condensateur durant la mesure on obtient des résultats erronés.

En utilisant deux plaques conductrices parallèles, on peut aussi mesurer la constante diélectrique de liquides.

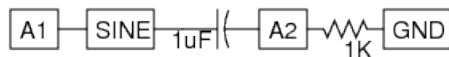


## 2.16 Déphasage en alternatif dans des circuits RC

### Objectif

Étudier l'effet d'un condensateur en série dans des circuits en alternatif, dans des conditions d'état permanent. L'impédance d'un condensateur vaut  $Z_c = \frac{1}{2\pi fC}$ , où  $f$  est la fréquence en hertz et  $C$  la capacité en farad.

### Procédure



- Assigner A1 à CH1 et A2 à CH2
- Ajuster l'échelle horizontale pour voir plus de 4 cycles.
- Faire un clic droit sur CH1 pour calculer le déphasage.

### Observation

Le signal de tension avant et après le condensateur sont montrés sur la figure 2.4(a), et les calculs sont montrés dans le tableau.

| $C (\mu F)$ | $R (\Omega)$ | $f (Hz)$ | $\Delta\Phi$ | $\arctan\left(\frac{Z_c}{Z_R}\right)$ |
|-------------|--------------|----------|--------------|---------------------------------------|
| 1           | 1000         | 147,3    | 47,7         | 47,2                                  |

où  $Z_c = \frac{1}{2\pi fC}$  est l'impédance du condensateur, la fréquence  $f = 147,3 Hz$ .  $Z_R$  est la valeur de la résistance.

Le passage d'un courant à travers un condensateur provoque une tension à ses bornes déphasée de  $90^\circ$ . Pourquoi ?

Pourquoi la tension est-elle en avance de phase ? Supposons que nous ayons connecté le courant alternatif à la plaque A et qu'à un instant  $t = t_0$  la tension

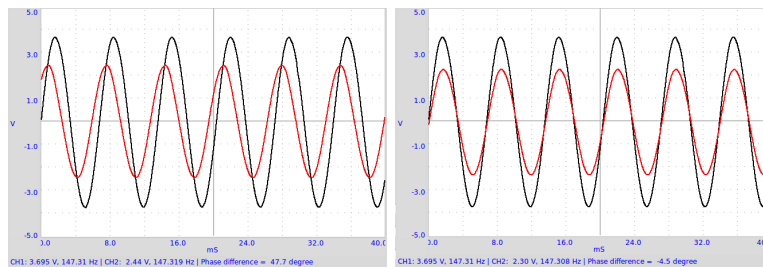


Figure 2.4: Déphasage de courant alternatif dans (a) un circuit RC (b) un circuit RL

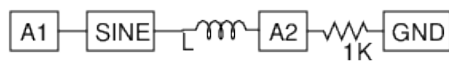
d'entrée soit zéro volt. Nous pouvons voir qu'à ce moment la pente de la courbe est maximale, c'est à dire que la vitesse de changement de la tension est maximale. Le condensateur se charge au plus vite à ce moment-là. La plaque B récolte aussi la même charge que la plaque A, c'est comme ça que fonctionne un condensateur. Le courant vers la plaque B vient de la masse à travers la résistance et nous mesurons la chute de potentiel  $RI$  à travers la résistance, qui sera positive déjà au moment où la plaque A est à tension nulle. Le résultat est l'avance de phase.

## 2.17 Déphasage en alternatif dans des circuits RL

### Objectif

Mesurer le déphasage en tension alternative dans un circuit RL. L'impédance d'un bobinage est  $Z_L = 2\pi fL$ , où  $f$  est la fréquence en hertz et  $L$  est l'inductance en henry. Dans un circuits RL, le déphasage aux bornes du bobinage est donné par l'équation  $\Delta\Phi = \arctan\left(\frac{Z_L}{Z_R}\right)$ , où  $Z_R$  est la valeur de la résistance.

## Procédure



- Assigner A1 à CH1 et A2 à CH2
- Ajuster l'échelle horizontale pour voir plus de 4 cycles.
- Faire un clic droit sur A1 pour afficher la tension, la fréquence et le déphasage.

## Observation

Les déphasages mesurés sont montrés ci-dessous. Le signal pour un bobinage d'inductance  $125\text{ mH}$  est montré à la figure 2.4(b). Il a aussi fallu prendre en compte la résistance du bobinage pour calculer le déphasage.<sup>3</sup>

| $L\text{ (mH)}$ | $R = R_{\text{bobine}} + R_{\text{ext}}\text{ (}\Omega\text{)}$ | $\Delta\Phi = \arctan\left(\frac{Z_L}{Z_R}\right)$ | $\Delta\Phi_{\text{mesurée}}$ |
|-----------------|---|--|-------------------------------|
| 125             | $565 + 560$   | 3,71   | -3,8                          |
| 25              | $42 + 560$  | 1,39   | -1,4                          |

Quand on insère un noyau en ferrite dans le bobinage on peut observer l'effet de matériaux ferromagnétiques. La self-inductance d'un solénoïde est donnée par  $L = \frac{\mu N^2 S}{l}$ , où  $N$  est le nombre de tours,  $S$  est la surface de la section du solénoïde,  $\mu$  est la perméabilité du matériau dans le solénoïde et  $l$  est la longueur de celui-ci.

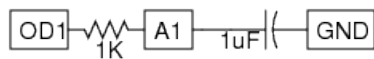
<sup>3</sup>[http://www.play-hookey.com/ac\\_theory/ac\\_inductors.html](http://www.play-hookey.com/ac_theory/ac_inductors.html)

## 2.18 Réponse transitoire de circuits RC

### Objectif

Tracer la courbe de la tension aux bornes d'un condensateur, quand celui-ci est chargé en appliquant une échelon de tension à travers une résistance. Calculer la valeur de la capacité à partir du graphique.

### Procédure



- Depuis **EXPÉRIENCES** , sélectionner **Circuit RC**
- Cliquer sur les boutons *Échelon de 0 à 5V* et *Échelon de 5 à 0V* pour tracer les graphiques
- Ajuster l'échelle horizontale, si nécessaire, et recommencer.
- Calculer la constante de temps  $RC$ .
- Utiliser CCS au lieu de OD1 pour charger le condensateur avec un courant constant.

### Observation

Quand on applique un échelon de 0 à 5 V cela fait monter la tension aux bornes du condensateur de façon exponentielle comme le montre la figure 2.5(a). En modélisant la courbe de décharge par  $U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$  , on peut extraire la constante de temps  $RC$  et en déduire la valeur de la capacité.

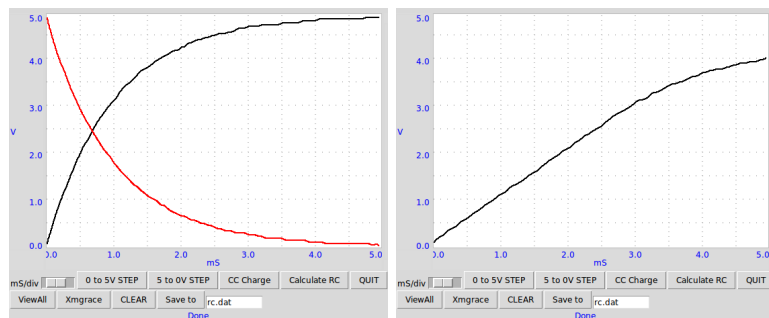


Figure 2.5: (a) Réponses transitoires d'un circuit RC. (b) Charge d'un condensateur par un courant constant.

La croissance de la tension aux bornes du condensateur suit une loi exponentielle seulement quand on le charge à travers un conducteur ohmique, comme une résistance. Quand on le charge à l'aide d'une source de courant constant, la tension augmente de façon linéaire, comme le montre la figure 2.5(b), parce que  $Q = It = CU$ , et la tension augmente linéairement avec le temps comme  $U = \left(\frac{I}{C}\right)t$ .

## 2.19 Réponse transitoire de circuits RL

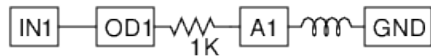
### Objectif

Étudier la nature du courant et de la tension quand un échelon de tension est appliqué à une résistance et un bobinage en série. En mesurant la tension aux bornes du bobinage en fonction du temps, on peut en calculer l'inductance.

Dans un circuit RL  $U = RI + L\frac{dI}{dt}$  et la solution de cette équation donne  $I =$

$I_0 e^{-\frac{R}{L}t}$ . Le coefficient du terme exponentiel  $R/L$  peut être extrait du graphique de la tension aux bornes du bobinage. La résistance du bobinage doit être incluse dans les calculs,  $R = R_{ext} + R_L$ .<sup>4</sup>

## Procédure



- Prendre un bobinage de 3000 tours
- Depuis **EXPÉRIENCES** sélectionner **Circuit RL**
- Cliquer sur les boutons *Échelon 0 à 5V* et *Échelon 5 à 0V* pour tracer les graphiques.
- Ajuster l'échelle horizontale, si nécessaire, et recommencer.
- Calculer la valeur de l'inductance
- Insérer un noyau de fer ou de ferrite et recommencer

## Observation

La réponse transitoire du bobinage est montrée à la figure 2.5. La courbe exponentielle est modélisée pour extraire la valeur de  $L/R$ . La résistance de la bobine est déterminée en la comparant avec la résistance externe connue en conditions de courant continu. Les inductances mesurées sont regroupées dans le tableau ci-dessous. IN1 est connecté à OD1 pour une mesure plus précise de la résistance du bobinage.

<sup>4</sup><http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/esc102/node14.html>

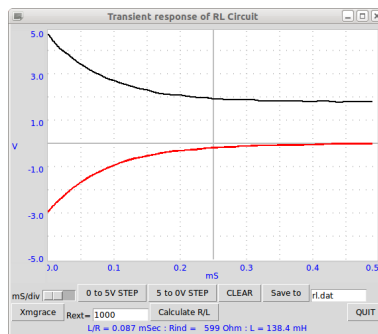


Figure 2.6: Réponse transitoire d'un circuit RL

Les tension appliquées sont positives, mais la courbe est passée par des valeurs négatives. Pourquoi ?

Quel était le courant avant le début de l'échelon de 5 à 0 V ? Qu'est ce qu'une force contre-électromotrice ?

Recommencez avec deux bobinages en série, en les plaçant (a) loin l'un de l'autre, (b) l'un sur l'autre et (c) l'un sur l'autre en en changeant le sens. On peut observer l'effet de l'induction mutuelle.

## 2.20 Réponse transitoire de circuits RLC

### Objectif

Étudier la nature oscillante de  $L$  et  $C$  en série. La fréquence de résonance d'un circuit LC vaut  $\omega_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ , le facteur d'amortissement vaut  $\frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$ , il est égal à 1

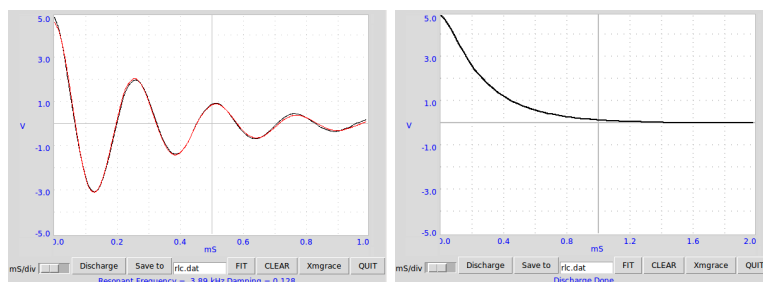


Figure 2.7: Réponse transitoire d'un circuit RLC, (a) Oscillations amorties (b) Amortissement sur-critique.

pour l'amortissement critique.<sup>5</sup> Selon la valeur de  $C/L$  et  $R$ , la réponse peut être une oscillation amortie, un amortissement critique, un amortissement sur-critique.

### Procédure



- Depuis **EXPÉRIENCES** sélectionner **Décharge RLC**
- Cliquer sur *Échelon 5 à 0V*. Ajuster l'axe des abscisses et recommencer si nécessaire.
- Modéliser le graphique (FIT) pour trouver la fréquence de résonance et l'amortissement.
- Recommencer l'expérience pour diverses valeurs de L, C et R.

<sup>5</sup>[http://en.wikiversity.org/wiki/RLC\\_circuit](http://en.wikiversity.org/wiki/RLC_circuit)



- Recommencer avec une résistance en série.

### Observation

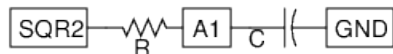
On a utilisé le bobinage de 3000 tours et un condensateur de  $0,1\mu F$ , et une résistance en série de  $2,4k\Omega$  dans le second cas. La tension aux bornes du condensateur après l'échelon de 5 à 0 V est montré à la figure 2.7 . La fréquence de résonance est en accord avec  $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$  , dans la limite de précision due à la tolérance sur les valeurs des composants.

## 2.21 Intégration et différentiation RC

### Objectif

Des circuits RC peuvent intégrer et différentier un signal de tension par rapport au temps. Un signal carré est intégré en un signal triangulaire, et par différenciation on obtient des pics aux transitions.

### Procédure



- Régler SQR2 à  $1000\text{ Hz}$
- Assigner SQR2 à CH1 et A1 à CH2
- Ajuster l'échelle horizontale pour voir plus de quatre cycles.
- Régler SQR2 à  $1\text{ kHz}$  ( $\tau = RC$ ) et à d'autres valeurs pour observer les signaux.

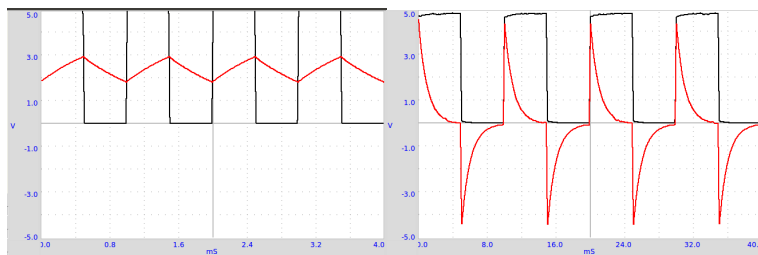
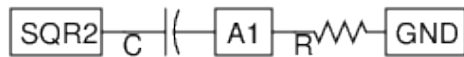


Figure 2.8: (a) Signal carré à  $1\text{ kHz}$  après intégration RC (b)  $100\text{ Hz}$  après différentiation RC

- Recommencer de même pour le différentiateur RC, à  $1000\text{ Hz}$ .



## Observation

L'intégration observée à  $1\text{ kHz}$  et la différentiation à  $100\text{ Hz}$  sont montrées à la figure 2.8, en utilisant une constante de temps  $RC$  de 1 milliseconde. Quand la période devient comparable à la valeur de  $RC$ , le signal de sortie est triangulaire. La différentiation ne peut être montrée qu'à des fréquences plus faibles parce que capturer des pics étroits requiert un oscilloscope rapide.

## 2.22 Analyse de Fourier

### Objectif

Étudier la transformée de Fourier d'un signal. Représentations temporelle et fréquentielle d'un signal.

### Procédure



- Régler SQR1 à  $150\text{ Hz}$
- Assigner A1 à CH1 et SQR1 à CH2
- Assigner CH1 & CH2 à FTR pour voir la transformée de Fourier

### Observation

Dans la courbe de la transformée de Fourier, la fréquence apparaît sur l'axe des abscisses (x) et l'axe des ordonnées (y) montre la force relative de chaque fréquence composant le signal. Ceci s'appelle la représentation fréquentielle.<sup>6</sup> Pour le signal sinusoïdal il y a un seul pic dominant, les pics plus petits sont une mesure de la distorsion du signal sinusoïdal.

La fonction d'un signal carré peut être représentée comme  $f(\theta) = \sin(\theta) + \frac{\sin(3\theta)}{3} + \frac{\sin(5\theta)}{5} + \dots$ . Dans la transformée de Fourier d'un signal carré de fréquence  $f$ , il y aura une composante à  $3f$  (avec une amplitude égale au tiers de la composante  $f$ ), une composante  $5f$  (amplitude un cinquième), etc. comme le montre la figure 2.9(b).

---

<sup>6</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/Fourier\\_transform](http://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform)

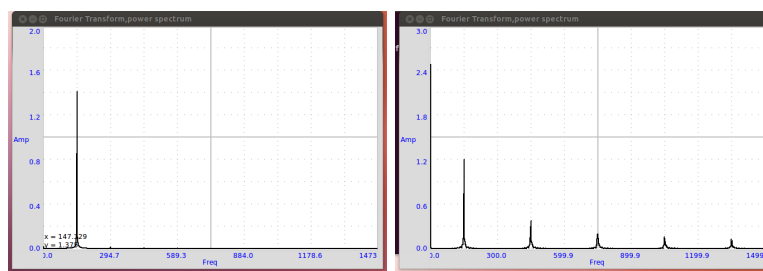


Figure 2.9: Spectre de fréquence d'un (a) signal sinusoïdal. (b) Signal carré

## Chapter 3

# Électricité et magnétisme

L'induction magnétique est démontrée à l'aide d'un aimant mobile et d'un bobinage alimenté en courant alternatif. Le fonctionnement d'un transformateur est démontré à l'aide de deux bobines. Un générateur alternatif simple, capable de générer un courant multiphasé, est réalisé à l'aide d'un aimant tournant.

### 3.1 Induction électromagnétique

#### Objectif

Étudier la tension induite aux bornes d'une bobine quand on change le champ magnétique, en laissant tomber un petit aimant cylindrique à travers la bobine. On utilise un tube pour guider l'aimant dans la bobine.

## Procédure



- Depuis **EXPÉRIENCES** ouvrir **Induction électro-magnétique**
- Cliquer sur *Démarrer l'enregistrement*. Une trace horizontale devrait apparaître
- Laisser tomber l'aimant à travers la bobine, jusqu'à ce qu'un événement soit capturé.
- Recommencer la procédure en changeant des paramètres tels que la force de l'aimant, sa vitesse, etc.

## Observation

Le résultat est montré dans la figure 3.1(a). L'amplitude augmente avec la vitesse de l'aimant. D'après le graphique, on peut trouver le temps que l'aimant a mis pour traverser la bobine.

Le deuxième pic semble plus grand que le premier. Pourquoi ? À quel endroit se situe l'aimant quand la tension induite passe par zéro ? Laisser tomber l'aimant de différentes hauteurs et représentez la tension en fonction de la racine carrée de la hauteur de chute.

## 3.2 Induction mutuelle, transformateur

### Objectif

Démontrer l'induction mutuelle en utilisant deux bobines. Une bobine est alimentée par la sortie SINE. On aligne les axes des bobines et on insère un noyau de ferrite.

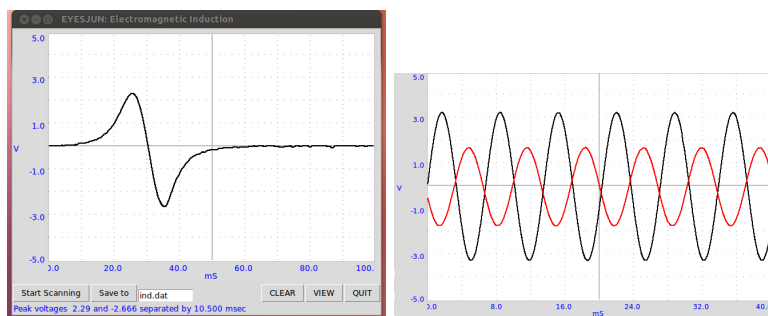


Figure 3.1: (a) Tension induite dans un bobinage par un aimant mobile. (b) Induction mutuelle entre deux bobines, les tensions appliquée et induite sont affichées

## Procédure



- Assigner A1 à CH1 et A2 à CH2

## Observation

Le signal appliqué et le signal induit sont montrés sur la figure 3.1(2). Un champ magnétique variable est la cause de la tension induite. Dans les deux expériences précédentes, le champ magnétique variable était dû à des aimants permanents en mouvement. Dans le cas présent le champ magnétique variable est dû à un courant variable dans le temps.

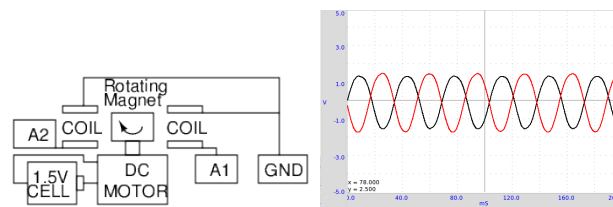


Figure 3.2: Schéma de câblage et tension de sortie du générateur alternatif, avec des bobinages placés à des extrémités opposées de l'aimant tournant..

La sortie aurait dû être en phase avec l'entrée d'après la théorie<sup>1</sup>. Cependant, cela ne se produit pas parce que le couplage est insuffisant. Avec plus de ferrite, le déphasage devient ce que la théorie annonce. Essayez de faire cette expérience à l'aide d'un signal carré à  $100\text{ Kz}$ ,  $1000\text{ Hz}$ , etc. Connectez une résistance de  $1\text{ k}\Omega$  aux bornes de la bobine secondaire pour diminuer les résonances indésirables.

### 3.3 Un générateur alternatif simple

#### Objectif

Mesurer la fréquence et l'amplitude de la tension induite à travers un solénoïde à l'aide d'un aimant tournant. Comprendre un peu les problèmes des générateurs alternatifs en examinant le signal de sortie et les inconvénients du montage. Utiliser l'aimant de  $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$  et le bobinage de 3000 tours qui sont dans le kit.

<sup>1</sup><http://sound.westhost.com/xfmr.htm>



## Procédure

- Monter l'aimant à l'horizontale et alimenter le moteur à courant continu à l'aide d'une pile 1,5 V
- Placer les bobines perpendiculairement à l'axe de rotation du moteur, près de l'aimant. Attention de ne pas le toucher.
- Assigner A1 à CH1 & A2 à CH2
- Assigner CH1 et CH2 à FIT

## Observation

Les tensions de sortie sont présentées à la figure 3.2. La différence de phase entre les deux tensions dépend de l'angle entre les axes des deux bobines.

Placez une bobine court-circuitée près de l'aimant et observez le changement de fréquence. La bobine court-circuitée puise de l'énergie dans le générateur et la vitesse de celui-ci diminue. Le champ magnétique dans ce générateur est très faible. La résistance de la bobine est élevée et quand on essaie de lui faire produire du courant il y a une chute de tension notable due à la bobine elle-même.



## Chapter 4

# Électronique

On étudie des éléments non-linéaires comme des diodes et des transistors en traçant leurs caractéristiques et en réalisant des circuits simples pour en démontrer le fonctionnement. Un photo-transistor est utilisé pour des mesures de transparence, la transmission d'un signal optique et pour mesurer la vitesse de mouvements mécaniques. On étudiera la modulation d'amplitude et de fréquence. Une platine de montage est nécessaire pour réaliser certaines des expériences décrites dans cette section.

### 4.1 Redresseur demi-onde, jonction PN

#### Objectif

Étudier le fonctionnement de la jonction PN d'une diode. Faire du courant continu à partir de courant alternatif sinusoïdal. Filtrer pour réduire la composante

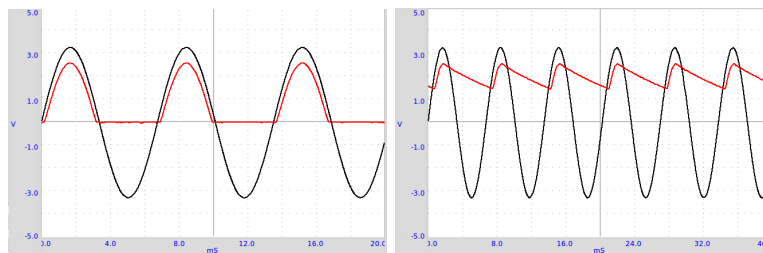
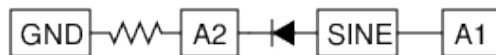


Figure 4.1: (a) Entrée et sortie d'un redresseur demi-onde. (b) Après filtrage par une condensateur.

alternative.

### Procédure



- Assigner A1 à CH1 et A2 à CH2
- Ajouter des condensateurs de filtrage de différentes valeurs entre A2 et la masse (GND).

### Observation

La partie négative du signal sinusoïdal est supprimée comme le montre la figure 4.1(a). Notez aussi que la moitié positive est diminuée d'environ  $0,7\text{ V}$ , la chute de tension due à la diode en silicium. Une résistance de charge est nécessaire au bon fonctionnement du circuit, on peut prendre une valeur supérieure à  $1\text{ k}\Omega$  mais il ne

fait pas utiliser des valeurs trop basses comme notre source de courant alternatif ne peut pas fournir plus de  $5\text{ mA}$  de courant.

L'effet d'un condensateur est montré à la figure 4.1(b). On peut voir que le condensateur se charge, et qu'il maintient la tension durant le cycle manquant. La composante alternative est appelée ondulation dans le courant continu.

Peut-on utiliser une capacité très grande pour diminuer l'ondulation ?

Pendant quelle partie du cycle passe-t-il un courant dans la diode ?

Qu'est-ce qui conditionne le courant de pic ?

## 4.2 Signaux sinusoïdaux déphasés de $180^\circ$

### Objectif

Pour montrer le fonctionnement d'un redresseur double alternance à l'aide de deux diodes, on a besoin de deux signaux déphasés de  $180^\circ$ . On y arrive en inversant la tension de la sortie SINE à l'aide d'un amplificateur inverseur. Le gain est rendu proche de l'unité en disposant une résistance en série de  $51\text{ k}\Omega$  en série avec l'entrée de l'amplificateur.

### Procédure



- Assigner A1 à CH1 et A2 à CH2
- Faire un clic droit sur CH1 pour mesurer le déphasage

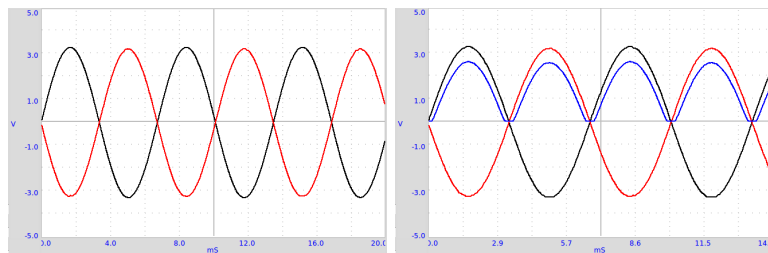


Figure 4.2: (a) Amplificateur inverseur réalisant un signal sinusoïdal déphasé de  $180^\circ$ . (b) Redresseur double alternance, les deux signaux d'entrée et la sortie.

### Observation

Le résultat est montré à la figure 4.2. Les amplitudes ne sont pas rigoureusement égales. Le gain est donné par  $G = -\frac{51000}{51000+1000}$ .

## 4.3 Redressement double alternance

### Objectif

Réaliser un redresseur double alternance, à l'aide de deux diodes. Les deux signaux alternatifs nécessaires, déphasés de  $180^\circ$ , sont réalisés comme décrit à la partie précédente. La sortie redressée est connectée à la troisième voie.

### Procédure



- Assigner A1 à CH1, A2 à CH2 et IN1 à CH3
- Ajouter un condensateur entre IN1 et la masse (GND), pour un filtrage.

### Observation

Le résultat est montré dans la figure 4.2. On peut ajouter des condensateurs pour réduire l'ondulation résiduelle à titre d'exercice. Ce montage sert seulement à démontrer le fonctionnement d'un redresseur double alternance, il est incapable de donner plus de quelques milliampère.

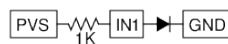
En quoi le redresseur double alternance est-il supérieur au redresseur simple alternance ?

## 4.4 Caractéristique tension-courant d'une diode

### Objectif

Tracer la caractéristique U-I d'une diode. Étudier l'équation d'une diode. La caractéristique U-I d'une jonction PN idéale est donnée par l'équation  $I = I_0 \left( e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right)$ , où  $I_0$  est le courant de saturation inverse,  $q$  la charge de l'électron,  $k$  la constante de Boltzmann,  $T$  la température en kelvin. Pour une diode non-idéale, en pratique, l'équation est  $I = I_0 \left( e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right)$ , où  $n$  est le facteur d'idéalité, égal à 1 pour une diode idéale. Pour les diodes en pratique il varie entre 1 et 2. On a utilisé une diode au silicium 1N4148.

### Procédure



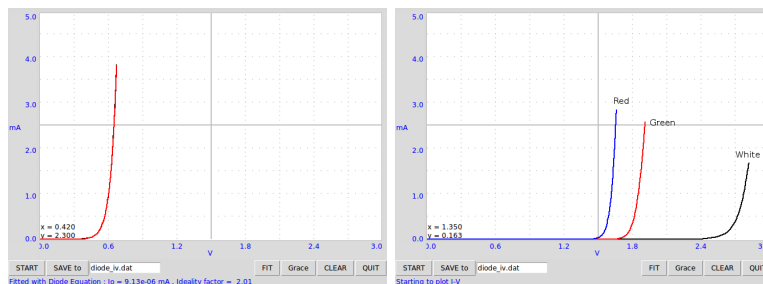


Figure 4.3: Caractéristique U-I de (a) diode silicium (b) plusieurs DELs

- Depuis **EXPÉRIENCES** sélectionner **Courbe I-U d'une diode**.
- Cliquer sur LANCER pour tracer la courbe caractéristique.
- Cliquer sur FIT pour calculer le facteur d'idéalité de la diode.
- Tracer la courbe U-I de diodes lumineuses

## Observation

Les courbes obtenues sont montrées dans la figure 4.3(a). La valeur de  $n$  pour une diode 1N4148 est proche de 2. On a calculé la valeur de  $n$  en modélisant les données expérimentales à l'aide de l'équation<sup>1</sup>. La figure 4.3(b) montre les caractéristiques U-I de quelques DELs, de diverses longueurs d'onde.

La tension à partir de laquelle une DEL commence à émettre de la lumière dépend de sa longueur d'onde et de la constante de Planck. L'énergie d'un photon

<sup>1</sup>Si l'action de FIT échoue, transférer les données dans *xmGrace* et utiliser l'option Data->Transformations->Nonlinear curve fitting avec l'équation  $y=a_0*\exp(a_1*x)$ .



est donnée par  $E = h\nu = hc/\lambda$ . Cette énergie est égale à l'énergie d'un électron qui traverse une barrière de potentiel, elle est donnée par  $E = eU_0$ . Ainsi la constante de Planck vaut  $h = eU_0\lambda/c$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde de la LED,  $e$  est la charge de l'électron et  $c$  la vitesse de la lumière.

Recommencer cette expérience en chauffant la diode à diverses températures.

## 4.5 Caractéristique collecteur/émetteur d'un transistor

### Objectif

Tracer la caractéristique collecteur/émetteur d'un transistor. On connecte le collecteur à PVS à travers une résistance de  $1\text{ k}\Omega$ . La tension de base est obtenue en filtrant des impulsions de rapport cyclique variable venant de SQR1. Le courant de base est commandé par cette tension et une résistance en série de  $200\text{ k}\Omega$ . Pour de meilleurs résultats, on peut utiliser une alimentation continue externe (par exemple un pile 1,5 V) pour la tension de base.

### Procédure

- Depuis **EXPÉRIENCES** ouvrir **Transistor en émetteur commun**
- Entrez la tension d'alimentation pour la base puis LANCER. Recommencer pour d'autres valeurs de  $V_b$ .

### Observation

Les courbes caractéristiques pour diverses valeurs du courant de base sont montrées sur la figure 4.4. Le courant de collecteur est calculé d'après la différence de

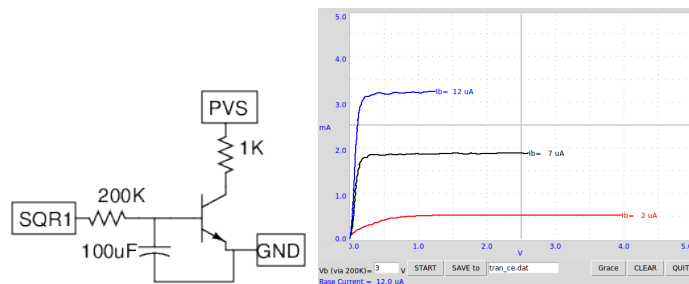


Figure 4.4: Caractéristique d'un transistor en émetteur commun

potentiel aux bornes de la résistance de  $1\text{ k}\Omega$ .

Le courant de base est réglé en définissant la tension à une extrémité de la résistance de  $200\text{ k}\Omega$ , l'autre extrémité est connectée à la base du transistor. La valeur du courant de base se calcule par  $I_b = \frac{V_b - 0,6}{200 \times 10^3} \times 10^6 \mu A$

## 4.6 Transmission de lumière, photo-transistor

### Objectif

Mesurer la transmission de lumière à travers un matériau semi-transparent à l'aide d'un photo-transistor. Le matériau est placé entre une DEL et le photo-transistor. Le courant de collecteur dépend de la quantité de lumière arrivant sur le photo-transistor.

## Procédure



- Régler SQR1 à 0 Hz, pour allumer la DEL
- Assigner SEN à CH1
- Mesurer la tension à SEN, en cliquant dessus.
- Recommencer en changeant le matériau entre la DEL et le photo-transistor.

## Observation

La tension au collecteur du photo-transistor diminue avec l'intensité de la lumière qui arrive sur lui. La tension mesurée quand on place un morceau de papier entre la DEL et le photo-transistor est montrée sur la figure 4.5(a).

## 4.7 Transmission d'un signal opto-électrique

### Objectif

Démontrer la transmission de signaux en utilisant de la lumière. Une DEL est alimentée par un signal à  $1\text{ kHz}$  et on fait arriver la lumière sur un photo-transistor. L'entrée SEN est connectée en interne à  $5\text{ V}$  à travers une résistance de  $5,1\text{ k}\Omega$ .

## Procédure



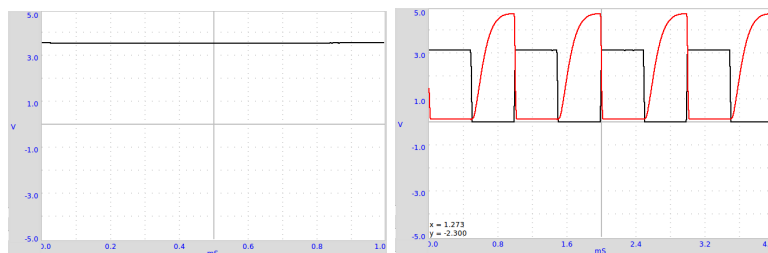


Figure 4.5: (a) Tension aux bornes du photo-transistor avec de la lumière qui traverse une feuille de papier. (b) Transmission d'impulsions, la tension d'alimentation de la DEL et la tension aux bornes du photo-transistor.

- Placer la DEL en face du photo-transistor et régler SQR1 à  $1000\text{ Hz}$
- Assigner SQR1 à CH1 et SEN à CH2
- Recommencer l'expérience en changeant la fréquence.

## Observation

La sortie du photo-transistor à  $1\text{ kHz}$  est montrée sur la figure 4.5(b). Le signal carré est la tension aux bornes de la DEL. Quand la DEL est allumée, le photo-transistor devient conducteur et la tension à ses bornes tombe à quelques  $0,2\text{ V}$ . Quand la DEL est éteinte le photo-transistor passe en mode isolant et le collecteur monte quasiment au potentiel de l'alimentation. Les temps de montée et de descente du photo-transistor semblent être différents.

Recommencer cette expérience avec une fibre optique pour guider la lumière de la DEL au photo-transistor.

## 4.8 Oscillateur IC555

### Objectif

Réaliser un oscillateur astable à l'aide d'un IC555 et mesurer sa fréquence et son rapport cyclique.

### Procédure

- Régler OD1 à HAUT, pour alimenter le IC555
- Assigner IN1 à CH1 et activer FIT sur CH1
- Cliquer droit sur IN1 pour mesurer la fréquence et le rapport cyclique.

### Observation

## 4.9 Multivibrateur monostable IC555

### Objectif

Réaliser un multivibrateur monostable à l'aide d'un IC555 et mesurer l'intervalle de temps, pour diverses valeurs de  $RC$ .

### Procédure

- Régler SQR2 à 0 Hz (Pour lui faire donner une tension continue de 5 V)
- Entrer `set_pulsewidth(1)` dans la fenêtre de commande
- Assigner LTP (Impulsion Vraie BASSE, *Low True Pulse*) à OD1, l'entrée du trigger (gâchette) du 555

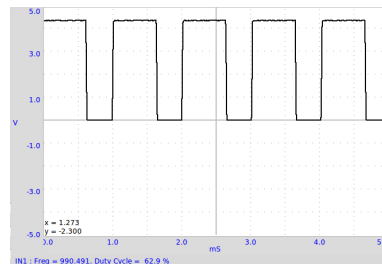
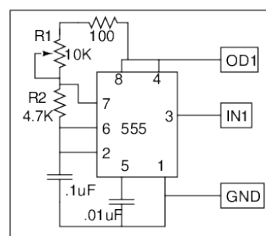


Figure 4.6: Multivibrateur astable IC555. (a) schéma (b) Signal de sortie

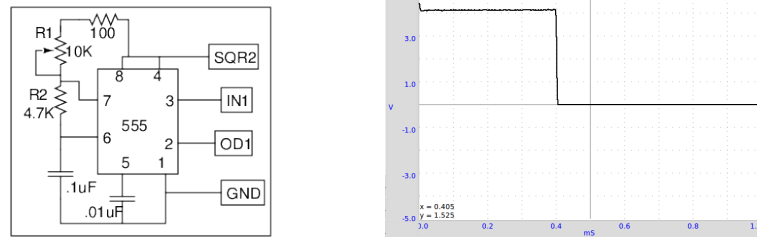


Figure 4.7: Multivibrateur monostable IC555. (a) schéma (b) Signal de sortie

- Assigner IN1 à CH1 , l'observer en variant la valeur de  $RC$  du 555.

## Observation

### 4.10 Portes logiques

#### Objectif

L'étude de portes logiques à l'aide de deux signaux carrés présentant un déphasage.

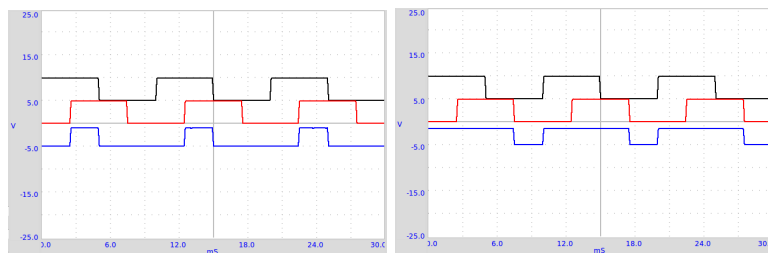


Figure 4.8: Fonctionnement de portes logiques avec des signaux carrés en entrée.  
(a) porte ET, (b) porte OU

## Procédure



- Assigner SQR1 à CH1, SQR2 à CH2 et IN1 à CH3
- Régler à 100  $Hz$ , 25 % et activer 1&2. (SQR1 & SQR2)
- Cocher OD1, pour alimenter la porte TTL 7408 (fonction ET – AND)
- Recommencer à l'aide d'un port de fonction OU – OR, de référence 7432



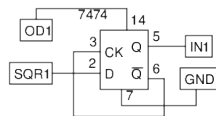
## Observation

### 4.11 Diviseur de signal d'horloge

#### Objectif

Étudier un diviseur de signal d'horloge, à l'aide d'une bascule D (7474 dans la série TTL).

#### Procédure



- Régler SQR1 à 500  $Hz$ . Assigner SQR1 à CH1 et IN1 à CH2
- Cocher OD1, pour alimenter la bascule

## Observation

La sortie change d'état à chaque front montant de l'entrée, ce qui provoque la division de la fréquence par deux. La sortie est un signal carré symétrique, quel que soit le rapport cyclique de l'impulsion d'entrée. La tension de sortie HAUTE du circuit intégré TTL est proche de 4  $V$  seulement.

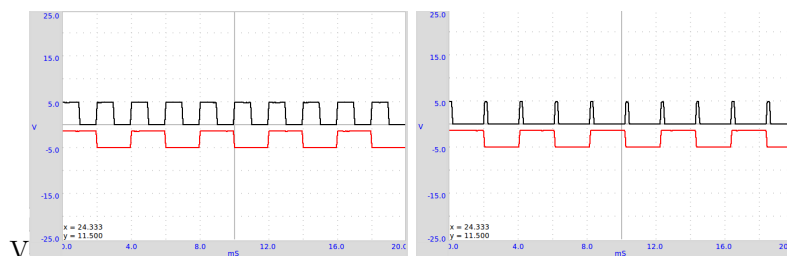


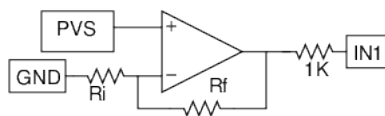
Figure 4.9: Un circuit de division de signal d'horloge, réalisé à l'aide d'une bascule D. La tension de sortie pour deux types de signaux d'entrée sont montrés.

## 4.12 Amplificateur non-inverseur

### Objectif

Réaliser une amplificateur non-inverseur, à l'aide d'un amplificateur opérationnel OP27, et mesurer le gain. le gain et la tension d'entrée doivent être choisis de façon à ce que la tension de sortie soit dans l'intervalle de 0 à 5 V, sinon le système fonctionnera mal. L'amplificateur opérationnel est alimenté par une alimentation externe  $\pm 9\text{ V}$ . Une résistance en série est ajouté pour protéger expEYES de toute tension dangereuse en provenance du système à l'essai.

### Procédure



- Pour trouver la tension de décalage, connecter l'entrée de l'amplificateur à la masse (GND) et mesurer sa tension de sortie.
- Régler PVS à 0,1 V et cliquer sur IN1 pour la tension de sortie
- Recommencer pour différentes valeurs

### Observation

| $R_i$        | $R_f$         | $1 + \frac{R_f}{R_i}$ | $V_{in}$ | $V_{out}$ | $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ |
|--------------|---------------|-----------------------|----------|-----------|--------------------------|
| 1 k $\Omega$ | 10 k $\Omega$ | 11                    | 0,1      | 1,105     | 11,05                    |

## 4.13 Modulation d'amplitude et de fréquence

### Objectif

Étudier la modulation d'amplitude et de fréquence d'un signal. Analyser la sortie de modulation d'amplitude (AM) mathématiquement pour observer les bandes latérales. Cette expérience requiert une source de signal modulé, nous avons utilisé le boîtier analogique PHOENIX.

Le boîtier analogique PHOENIX dispose d'un générateur de signal sinusoïdal (près de 100 Hz) dont l'amplitude peut être contrôlée à l'aide d'une tension de commande continue. Il dispose aussi d'un générateur de signal sinusoïdal avec des entrées de contrôle AM et FM. On utilise PVS pour changer la profondeur de modulation en contrôlant l'amplitude du signal sinusoïdal à 100 Hz.

### Procédure



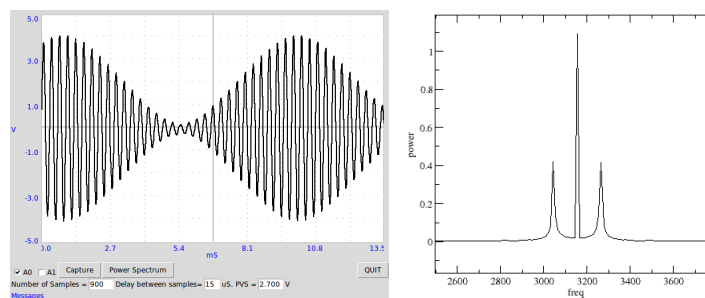


Figure 4.10: Un signal modulé et son spectre de Fourier.

- Connecter les masses (GND) du Boîtier Analogique et d'expEYES.
- Sélectionner A1 & A2
- Capturer 900 échantillons avec un intervalle de  $20\ \mu s$
- Dé-sélectionner A2 et capturer 1800 échantillons
- Cliquer sur *Spectre de puissance* pour faire une transformée de Fourier

## Observation

Un signal porteur avec une fréquence proche de  $4\ kHz$  est modulé par un signal sinusoïdal d'environ  $100\ Hz$ . Une petite portion du signal de sortie (400 points avec un intervalle de  $20\ \mu s$ ) avec le signal de modulation sont montrés dans la figure 4.10(b).

Le spectre de puissance est calculé à l'aide de la transformée de Fourier. Pour obtenir de meilleurs résultats un échantillon plus grand (1800 échantillons avec un

intervalle de  $50\mu s$ ) est utilisé. Les deux bandes latérales sont obtenues clairement de part et d'autre du pic de la porteuse, séparés par la fréquence de modulation.

La sortie modulée en amplitude (AM) ressemble aux battements sonores que nous obtenons à la partie 5.4, mais si on prend un spectre de puissance de battements on trouve deux pics correspondant aux fréquences individuelles. Quelle est la différence malgré les ressemblances ?

À titre d'exercice, l'utilisateur changera juste la connexion de AM en FM, pour faire de la modulation de fréquence.



## Chapter 5

# Le son

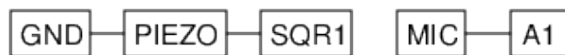
La transmission de variations de pression, autour de la pression d'équilibre, à travers un milieu, est appelée *son*. Il s'agit d'ondes longitudinales. Si on déplace une feuille de papier d'avant en arrière dans l'air on peut générer de telles ondes de pression, c'est ce que fait un haut-parleur. Quand la fréquence est dans l'intervalle de 20 à 20 000  $Hz$ , nous pouvons entendre le son. Dans ce chapitre, nous générerons du son depuis des signaux électriques, le détecter à l'aide du microphone intégré (c'est un capteur de pression) et étudier des propriétés telles que l'amplitude et la fréquence. La vitesse du son est mesurée en observant le déphasage d'un son numérique qui varie avec la distance.

## 5.1 Fréquence du son

### Objectif

Numériser un son et mesurer sa fréquence. Utiliser le buzzer piézo ou n'importe quelle autre source sonore comme un diapason.

### Procédure



- Régler SQR1 près de  $3500\text{ Hz}$ , placer le buzzer en face du microphone
- Activer FIT pour mesurer la fréquence
- Recommencer avec d'autres sources sonores

### Observation

La sortie amplifiée du microphone est montrée à la figure 5.1(a). L'amplitude est maximal près de  $3500\text{ Hz}$ , à cause de la résonance. Quand on alimente avec une fréquence de  $1200\text{ Hz}$  on obtient plus d'amplitude qu'à  $2000\text{ Hz}$  par exemple, à cause de la troisième harmonique du signal carré qui tombe sur la fréquence de résonance.

Les ondes sonores créent des variations de pression dans le milieu lorsqu'elles le traversent. Le microphone génère une tension proportionnelle à cette variation de pression. Comme le signal est très faible, nous l'amplifions 50 fois avant de le numériser. Les variations de tension sont accordées aux variations de pression. On peut considérer le microphone comme un capteur de pression, mais qui fonctionne seulement pour des pressions variables.



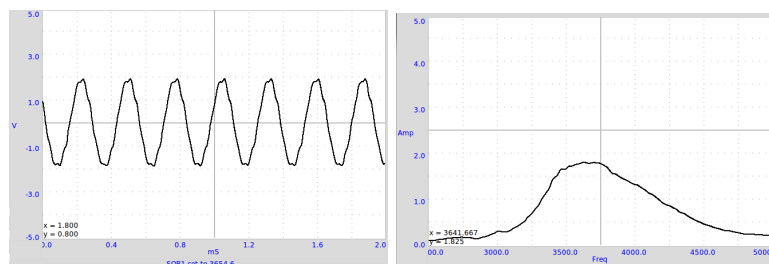


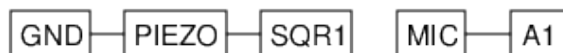
Figure 5.1: (a) Signal sonore numérisé (b) Courbe de réponse en fréquence du disque piézo

## 5.2 Réponse en fréquence d'un disque piézo

### Objectif

Tracer la courbe de réponse en fréquence du disque piézo en variant la fréquence et en mesurant l'amplitude de la sortie du microphone.

### Procédure



- Depuis **EXPÉRIENCES** sélectionner **Réponse en fréquence**
- Cliquer sur le bouton LANCER

## Observation

La courbe de l'amplitude en fonction de la fréquence est montrée à la figure 5.1(b). L'amplitude est maximale près de  $3700\text{ Hz}$ .

## 5.3 Vitesse du son

### Objectif

Calculer la vitesse du son en mesurant les variation de pression avec la distance. Le son voyage comme une série de surpressions et de dépressions. La figure 5.2(a) montre des régions de haute et basse pression le long de la direction de propagation, à côté de la sortie d'un capteur de pression aux positions correspondantes.

On peut représenter la variation de pression en chaque point par rapport à la variation de pression au point d'émission. La phase de la sortie MIC change quand on change sa distance par rapport au disque piézo. Quand on le déplace d'une longueur d'onde, la phase change de  $360$  degrés. Si la phase change de  $X$  degrés pour un changement de distance de  $\Delta D$  cm, la longueur d'onde est donnée par  $\lambda = \frac{360 \times \Delta D}{X}$ . La vitesse du son peut être calculée en multipliant cela par la fréquence.

### Procédure



- Depuis **EXPÉRIENCES** démarrer **Vitesse du son**
- Régler la fréquence pour obtenir une amplitude maximale en mesurant la réponse en fréquence 5.2

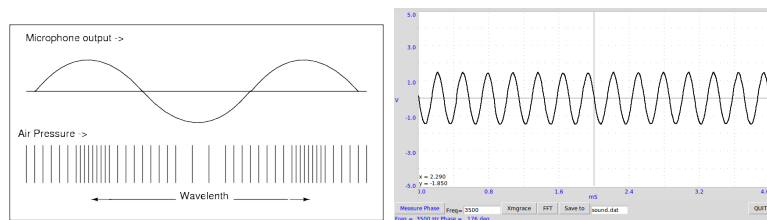


Figure 5.2: (a) Propagation d'ondes sonores, variation de la sortie du microphone avec la pression. (b) Signal de sortie du microphone

- Placer le disque piézo en face du microphone, sur le même axe
- Mesurer le déphasage à différentes distances

## Observation

À  $3500 \text{ Hz}$ , pour  $2 \text{ cm}$  de changement dans la distance, la phase passe de  $176^\circ$  à  $102^\circ$ . À l'aide de l'équation  $v = f \times \frac{360 \times \Delta D}{X} = 3500 \times \frac{360 \times 2}{(176 - 102)} = 34\,054 \text{ cm/s}$ .

## 5.4 Interférences sonores

### Objectif

Étudier des interférences sonores provenant de deux sources individuelles. Deux buzzers piézo sont alimentés par deux sources différentes et le son est envoyé vers un microphone.

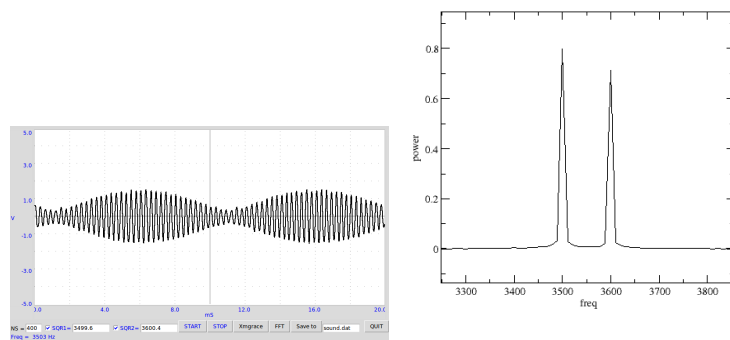


Figure 5.3: (a) Somme de deux sons possédant des fréquences voisines (b) transformée de Fourier montrant les composantes fréquentielles.

## Procédure



- Depuis **EXPÉRIENCES** démarrer *Interférences sonores*
- Régler SQR1 à 3500 Hz et SQR2 à 3600 Hz
- Ajuster les distances pour obtenir des battement sonores distincts.
- Recommencer avec d'autres valeurs de fréquences.
- Capturer avec NC=1800 et faire une transformée de Fourier

## Observation

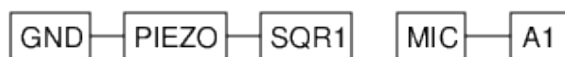
Dans la figure 5.3(a) on peut voir comment l'enveloppe à basse fréquence est créée. L'intervalle de temps entre deux points d'amplitude minimale, dans l'enveloppe, correspond à la période des battements. La transformée de Fourier est montrée dans la figure 5.3(b).

## 5.5 Oscillations forcées d'un cristal piézo-électrique

### Objectif

Étudier le comportement d'un disque piézo-électrique à des fréquences d'excitation faibles, à l'aide d'un signal carré.

## Procédure



- Depuis **EXPÉRIENCES** ouvrir **Interférences sonores**
- Cocher seulement SQR1, le régler à  $100\text{ Hz}$
- Cliquer sur LANCER pour capturer la sortie du microphone
- Essayer à différentes fréquences
- Capturer avec un NS plus grand ( $\leq 1800$ ) pour faire une transformée de Fourier.

## Observation

La fréquence de résonance d'un cristal piézoélectrique est proche de  $3600\text{ Hz}$ . Quand on l'alimente par un signal carré, le piézo reçoit une pichenette à chaque montée ou descente du signal, et il subit une série d'oscillations à sa fréquence naturelle de résonance. La transformée de Fourier montre un pic à la fréquence de résonance et des bandes latérales séparées du pic de  $200\text{ Hz}$ . Ça peut être intéressant de répéter cette expérience avec un signal sinusoïdal de fréquence variable au lieu du signal carré

## 5.6 Capturer une impulsion sonore

### Objectif

Numériser le son d'une source transitoire. Un cloche ou deux plaques métalliques peuvent être utilisées comme sources sonores. La capture du son est synchronisée

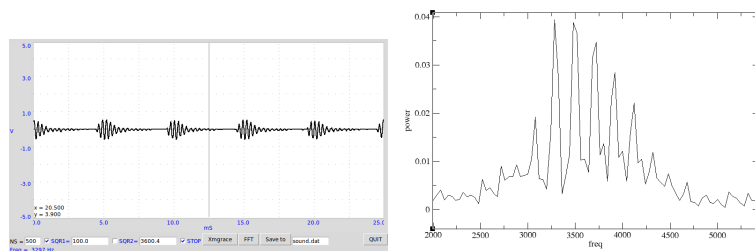
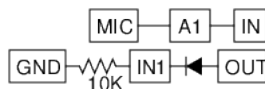


Figure 5.4: La sortie sonore du piézo, piloté par un signal carré de  $100\text{ Hz}$  et la transformée de Fourier de cette sortie.

avec l'impulsion sonore en attendant que la sortie du microphone dépasse un certain seuil. Une meilleure façon est de faire en sorte que IN1 passe à l'état HAUT au moment de l'émission du son et de synchroniser la routine de capture avec cet événement.

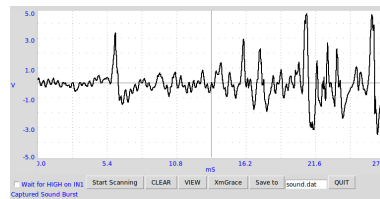
## Procédure



- Depuis **EXPÉRIENCES** sélectionner **Capture d'impulsion sonore**
- Cocher *Attente de HAUT sur IN1*, quand la diode et la résistance sont branchés.
- Cliquer sur **Démarrer la l'enregistrement** et produire le son.

## Observation

Une impulsions sonore capturée est montrée ci-dessous.





## Chapter 6

# Mécanique, Optique et chaleur

Le phénomène de résonance est étudié à l'aide d'un pendule excité. La valeur de l'accélération due à la gravité est mesurée à l'aide d'une méthode de temps de vol et aussi à l'aide d'un pendule.

### 6.1 Résonance d'un pendule excité

#### Objectif

Démontrer la résonance d'un pendule excité.

## Procédure

Réaliser un pendule à l'aide de deux aimants-boutons et d'un morceau de papier. Le suspendre et placer la bobine 3000 tours à côté. Connecter la bobine entre SQR1 et la masse (GND).

- Depuis **EXPÉRIENCES** sélectionner **Pendule excité**
- Balayer la fréquence vers le haut en commençant à 1 Hz, très lentement.

## Observation

Quand SQR1 arrive à la fréquence de résonance du pendule, l'amplitude augmente à cause de la résonance. Un pendule long de 4 cm (du centre des aimants à l'axe de l'oscillation) résonnait à environ 2,5 Hz, pratiquement en accord avec sa fréquence propre issue du calcul. La fréquence de résonance du pendule est donnée par  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\ell}}$ , où  $\ell$  est la distance du centre de l'aimant au point de suspension et  $g$  est l'accélération de la pesanteur.

Recommencer l'expérience en changeant la longueur du pendule<sup>1</sup>.

## 6.2 Valeur de g, pendule-barreau

### Objectif

Mesurer les périodes d'oscillation d'un pendule-barreau à l'aide d'une barrière photo-électrique et calculer l'accélération de la pesanteur.

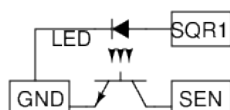
La période d'un barreau uniforme suspendu par une extrémité est donnée par  $T = 2\pi \sqrt{\frac{2\ell}{3g}}$ , où  $\ell$  est la longueur et  $g$  est l'accélération de la gravité. Le pendule

---

<sup>1</sup>SQR1 ne peut pas aller plus bas que 0,7 Hz.

(en forme de T, avec un couteau fixé à un barreau de  $6\text{ mm}$  de diamètre) est mis à osciller entre une DEL et un photo-transistor, connectés à expEYES.

### Procédure



- Depuis **EXPÉRIENCES** démarrer **Pendule pesant**
- Mettre le pendule en oscillation et cliquer sur LANCER
- Recommencer avec différentes longueurs de pendules.

### Observation

La période est mesurée 50 fois, à l'aide d'un pendule-barreau de  $14,6\text{ cm}$ , et la valeur moyenne est  $0,627\text{ s}$ . La valeur calculée de  $g$  est  $9,774\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , légèrement différente de la valeur réelle à cause des raisons suivantes : la longueur est mesurée depuis le bord du couteau jusqu'en bas et utilisée dans la formule ; mais il y a une petite masse au-dessus du fil du couteau qui n'est pas prise en compte dans le calcul. Une autre raison est que le pendule n'est peut-être pas exactement vertical dans la position de repos.

## 6.3 Oscillations d'un pendule

### Objectif

Étudier la nature des oscillations d'un pendule. Un encodeur d'angle est requis pour mesurer le déplacement angulaire en fonction du temps. Mais en utilisant

un moteur à courant continu comme capteur, il est possible de mesurer la vitesse angulaire en fonction du temps.

### Procédure

- Attacher un quelconque pendule rigide à l'axe du moteur.
- Connecter le moteur entre IN, l'entrée de l'amplificateur, et GND
- Connecter OUT à A1
- Depuis **EXPÉRIENCES** démarrer **Pendulum Waveform**.
- Mettre le pendule à osciller et LANCER la numérisation

### Observation

Le signal observé est montré à la figure 6.1(a). Quand on le modélise avec l'équation  $A = A_0 \sin(\omega t + \theta) * \exp(-dt) + C$ , à l'aide de Grace, on a obtenu une fréquence angulaire de  $10 \text{ Hz}$ .

Il convient de réaliser le pendule avec un objet massif relié à l'axe par un bâton léger. Dans ce cas le moteur à courant continu fonctionne comme un générateur.

## 6.4 Mesure de température, sonde Pt100

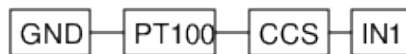
### Objectif

Enregistrer la température d'un liquide à l'aide d'un thermomètre à résistance de platine. La résistance d'un élément Pt100 est reliée à la température par l'équation  $R_T = R_0 [1 + AT + BT^2]$ , où  $A = 3,9083 \cdot 10^{-3}$  et  $B = -5.775 \cdot 10^{-7}$ .

Cela nécessite un amplificateur non-inverseur à faible tension de décalage, de telle façon qu'on puisse utiliser l'entrée IN1 entre 0 et 5 V. Comme celui-ci n'est pas disponible dans expEYES Junior, nous utilisons l'amplificateur inverseur, après avoir diminué son gain par une résistance d'entrée en série, et connectons la sortie à A1. La précision n'est pas très bonne dans ce cas mais les variations de température peuvent être étudiées.

## Procédure

Pour mesurer la résistance de l'élément Pt100, nous le connectons entre CCS et la masse (GND) et mesurons la tension à ses bornes. Le courant réel de CCS devrait être mesuré comme expliqué à la partie 2.3.



- Depuis **EXPÉRIENCES** démarrer **Capteur PT100**.
- Entrez la valeur couramment mesurée.
- Sélectionnez les paramètres requis et cliquez LANCER <sup>2</sup>

## Observation

Une courbe de refroidissement de l'eau est montrée à la figure 6.1. La température change par échelons importants, on peut améliorer ça en utilisant un amplificateur

<sup>2</sup>La résistance du Pt100 vaut  $100\,\Omega$  à  $0\,^{\circ}\text{C}$ . Elle change d'environ  $0,4\,\Omega \cdot K^{-1}$ , ce qui change la tension de  $0,4\,\text{mV}$ . Le convertisseur analogique numérique 12 bit change d'un bit de poids faible pour une modification de tension de  $1,22\,\text{mV}$  à son entrée, ce qui signifie que toute variation de température de moins de 3 degrés ne sera pas détectée. On peut utiliser un amplificateur non-inverseur externe pour augmenter la résolution. Le gain de cet amplificateur devrait être tel que la température la plus haute à mesurer ne provoque pas de tension de sortie supérieure à 5 V. Modifiez le champ de gain en rapport avec votre réglage.

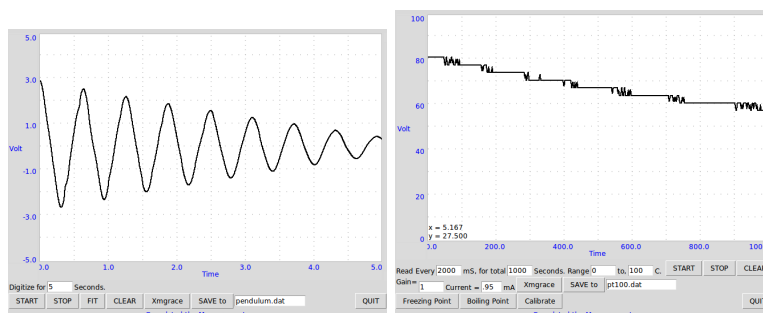


Figure 6.1: (a) Oscillations d'un pendule. (b) Courbe de refroidissement de l'eau

entre CCS et IN1, comme expliqué à la partie 4.12.

Au lieu de mesurer le courant et calculer le gain réel de l'amplificateur, on peut suivre un procédure de calibration pour obtenir les bons résultats. Cette procédure suppose une variation linéaire de la résistance avec la température. Pour réaliser une calibration, placez le capteur dans de la glace fondante et cliquer sur **point de fusion**. Plongez le capteur dans de l'eau bouillante et cliquer sur **Point d'ébullition**. Ensuite cliquez sur **Calibrer**. Une fois que la calibration est faite, la température est calculée en utilisant les constantes de calibration.

## 6.5 Stroboscope

### Objectif

Un objet en mouvement périodique apparaîtra stationnaire quand on l'illumine avec un éclair lumineux de la même fréquence, comme l'objet est éclairé à chaque fois qu'il arrive au même point. Si les fréquences sont légèrement différentes, il

apparaîtra mobile selon la différence de fréquence.

### Procédure

- Depuis **EXPÉRIENCES** sélectionner **Stroboscope**
- Connecter la DEL blanche entre SQR1 et GND
- Alimenter le moteur à l'aide d'une pile et l'éclairer avec la DEL
- Ajuster SQR1 pour que le moteur apparaisse stationnaire.

### Observation

Comme vous ajustez SQR1, le mouvement du disque sur l'axe du moteur semble ralentir et alors à moment donné il change de sens de rotation. Notez la fréquence au moment du changement de sens.

Quand on l'observe avec une source de lumière pulsée de fréquence  $11\text{ Hz}$ , un moteur qui tourne dans le sens des aiguilles d'une montre à 10 tours par seconde semblera tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre une fois par seconde. Pendant le démarrage et quand on les arrête, les ventilateurs de plafond semblent quelquefois tourner à l'envers, dans la lumière des tubes fluorescents.

Comment ajuste-t-on le nombre de tours par minutes d'un moteur d'automobile ?

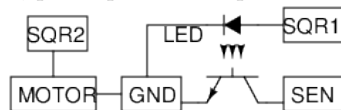
## 6.6 Vitesse de rotation d'un moteur

### Objectif

Étudier comment faire des capteurs pour détecter des mouvements mécaniques. Utiliser un photo-transistor pour trouver la vitesse de rotation d'un moteur.

## Procédure

Un cache unique est fixé au moteur et on le place entre le photo-transistor et la DEL, pour qu'il intercepte la lumière une fois à chaque tour.



- Régler SQR1 à 0 Hz pour alimenter la DEL
- Régler SQR2 à 100Hz, pour alimenter le moteur
- Assigner SEN à CH1
- Faire un clic droit sur SEN pour mesurer la fréquence (l'option FIT peut ne pas fonctionner pour ces impulsions)

## Observation

La tension de sortie du photo-transistor montre des pics quand la lumière est coupée. Les valeurs observées peuvent être vérifiées à l'aide d'un aimant et d'une bobine comme expliqué à la partie 3.3.



## Chapter 7

# Programmer expEYES en Python

Les programmes avec une interface utilisateur graphique décrits dans les parties précédentes sont prévus pour un ensemble fixe d'expériences. Pour développer de nouvelles expériences, il faut savoir comment on accède aux possibilités d'expEYES Junior par logiciel. Les appels de fonctions importants pour communiquer avec l'appareil sont donnés ci-dessous. pour plus de détails, référez-vous au *Manuel du programmeur*.

**Numéros des canaux** *Un numéro de canal est assigné pour identifier chaque signal analogique ou numérique, comme expliqué dans le tableau 7.1*

**Installation des bibliothèques Python** Le paquet d'expEYES Junior consiste en trois fichiers (`eyesj.py`, `eyepplot.py` et `eyemath.py`) dans un sous-répertoire

| N° de canal | Nom   |
|-------------|---|
| 0           | Sortie du comparateur analogique, <i>Analog Comparator output</i> |
| 1           | A1  |
| 2           | A2  |
| 3           | IN1   |
| 4           | IN2   |
| 5           | SEN   |
| 6           | rétrocontrôle de SQR1 ( <i>readback</i> )                         |
| 7           | rétrocontrôle de SQR2 ( <i>readback</i> )                         |
| 8           | sortie de SQR1  |
| 9           | sortie de SQR2  |
| 10          | sortie de OD1   |
| 11          | sortie du contrôle de CCS   |
| 12          | rétrocontrôle de PVS ( <i>readback</i> )                          |

Table 7.1: Numéros de canaux des bornes d'entrée/sortie

nommé **expeyes**. Ce sous-répertoire devrait être accessible dans votre répertoire de travail ou dans le chemin de Python (Python PATH). Si les programmes graphiques ont déjà été installés sur votre ordinateur, lancez la commande

```
$ python
```

puis à l'invite de Python, entrez : **from expeyes import eyesj** puis tapez Entrée. Si aucun message d'erreur n'apparaît, c'est que les bibliothèques nécessaires sont déjà en bonne place. Autrement, ces bibliothèques sont situées ailleurs, et le mieux est de les recopier dans votre répertoire de travail. Essayez, depuis votre répertoire de travail, de lancer la commande suivante :

```
$cp -r /usr/share/eyesjunior/expeyes
```

Ça devrait rendre le paquet disponible dans votre répertoire.

**Commencer à communiquer** Démarrez l'interpréteur Python (depuis le répertoire où vous avez le sous-répertoire **expeyes**, si les bibliothèques ne sont pas disponibles globalement), par la commande :

```
$python
```

```
Python 2.7.3 (default, Apr 20 2012, 22:44:07)
```

```
>>>
```

Le signe **>>>** signifie que vous êtes en train d'utiliser Python en mode interactif. Tapez les deux lignes suivantes pour charger la bibliothèque et établir la connexion à l'appareil.

```
>>>import expeyes.eyesj
```

```
>>>p=expeyes.eyesj.open()
```

Si vous avez un message d'erreur, vérifiez les connexions, et si un autre programme utilise déjà **expEYES**. Un seul programme peut utiliser **expEYES** à la fois. Nous allons commencer par mesurer la capacité interne à la borne **IN1** :

```
>>>p.measure_cap()    # mesure de C sur IN1
```

Une valeur entre 30 et 35  $pF$  sera affichée. Connectez un condensateur (de moins de 0,01  $\mu F$ ) entre IN1 et GND et relancez la commande. Soustrayez la capacité interne de la valeur obtenue.

Des possibilités d'entrées/sorties sont présentes. pour les tester, connectez OD1 à IN1 à l'aide d'un fil électrique et essayez ce qui suit :

```
>>>print p.get_state(3)    # statut de IN1
>>>p.set_state(10,1)      # passer OD1 à l'état logique HAUT
>>>print p.get_state(3)    # nouveau statut de IN1
```

Lors du deuxième appel, `get_state(3)` devrait afficher 1.

Commençons maintenant à générer/mesurer des signaux de tension. Connectez PVS à IN1 et essayez :

```
>>>print p.set_voltage(2.5) # renvoie la valeur du réglage
>>>print p.get_voltage(3)   # le canal 3 est IN1
```

Cela devrait afficher 2,5 V à 2~3 millivolt près.

Maintenant connectez SINE à A1 et essayez :

```
>>>print p.get_voltage(1)
```

Vous obtiendrez différents résultats à chaque fois que vous relancerez cette commande<sup>1</sup>. Il est plus raisonnable de mesurer cette tension pendant un moment et d'en faire un graphique. Nous allons importer la bibliothèque `matplotlib` pour faire des graphiques, capturer le signal sinusoïdal et en faire un graphique.

---

<sup>1</sup>on peut utiliser la flèche-haute pour rappeler les commandes précédentes

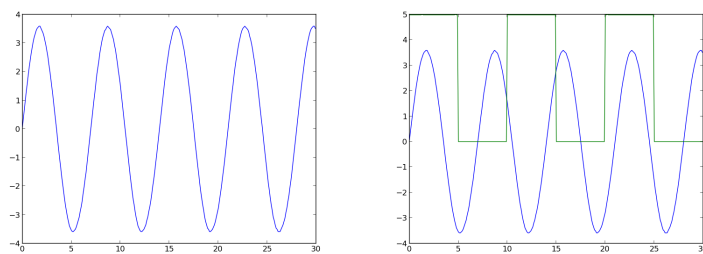


Figure 7.1: Entrées capturées et mises en graphique à l'aide de pylab (a) signal sinusoïdal (b) sinusoïde et carré

```
>>>from pylab import *
>>>ion()    # met pylab en mode interactif
>>>t,v = p.capture(1,300,100)
>>>plot(t,v)
>>>show()
```

Nous avons échantillonné la tension de A1 300 fois avec un intervalle de temps de  $100\mu s$  entre deux échantillons consécutifs, c'est à dire que la tension est capturée pendant  $30ms$ . Le nombre maximum d'échantillons autorisé est 1800, limité par la mémoire vive d'expEYES.

Le graphique apparaîtra dans une autre fenêtre, comme montré à la figure 7.1(a). pour mesurer avec une résolution plus fine, on peut utiliser `capture_hr()`, mais le nombre total d'échantillons sera limité à 900 dans ce cas.

```
>>>t,v = p.capture_hr(1,300,100)
>>>plot(t,v)
```

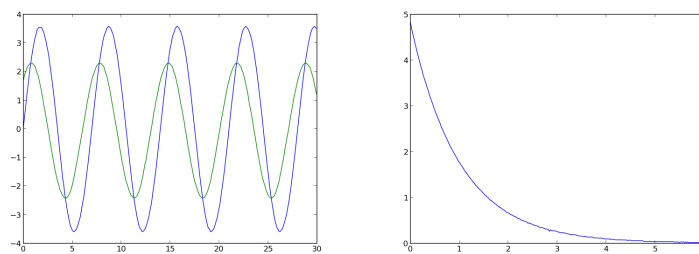


Figure 7.2: (a)Déphasage d'un signal sinusoïdal à travers un condensateur.

Ajoutons maintenant un signal carré au graphique, par :

```
>>>print p.set_sqr1(100)    # règle SQR1 à 100Hz
>>>t,v = capture(6,300,100) # le canal 6 est le rétrocontrôle de SQR1
>>>plot(t,v)
```

La sortie est montrée dans la figure 7.1(b).

Quelques expériences nécessiteront de capturer plus d'un signal corrélé dans le temps, il faut utiliser `capture2`, `capture3` ou `capture4` pour cela. Par exemple pour voir le déphasage d'un signal sinusoïdal, ajoutez  $1\mu F$  entre A1 et A2, et une résistance de  $1k\Omega$  entre A2 et GND. Capturez la tension avant et après le condensateur par :

```
>>>t1,v1,t2,v2 = capture2(1, 2,300,100) # canaux 1 & 6 en même temps
>>>plot(t1,v1, t2,v2)
```

La sortie est montrée à la figure 7.2(a).

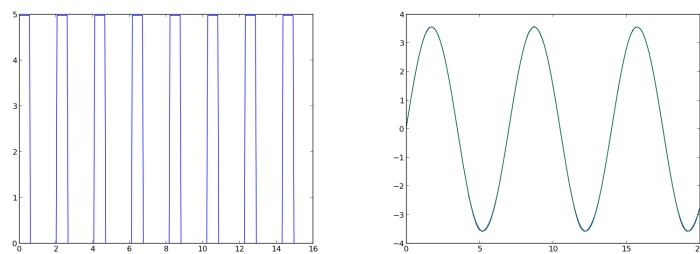


Figure 7.3: (a) signal PWM (b) signal sinusoïdal et sa modélisation

La plupart du temps la tension à capturer est générée suite à d'autres actions, comme la mise en place d'une tension. On fait cela en implémentant des modificateurs de capture. On peut expliquer ça facilement en capturant la tension aux bornes d'un condensateur juste après y avoir appliqué un échelon de tension à travers une résistance.

```
>>>p.set_state(1)          # OD1 à 5 V
>>>p.enable_set_low(10)    # Effet seulement pendant la capture
>>>t,v=p.capture_hr(1, 2,300,20) # OD1->0 avant la capture
>>>p.disable_actions()     # Pas d'autre action sur OD1
>>>plot(t,v)
```

Le résultat est montré à la figure 7.2(b)

Les sorties SQR1 et SQR2 peuvent générer des signaux carrés entre  $0,7\text{ Hz}$  et  $200\text{ kHz}$ , l'appel de fonction renvoie la fréquence effective après réglage. On peut aussi programmer ces sorties pour générer des signaux d'impulsions modulées en largeur, *Pulse Width Modulated* (PWM), à certaines fréquences fixes.

```
>>>print p.set_sqr1_pwm(30)      # rapport cyclique 30%, 488 Hz
>>>t,v=p.capture_hr(6, 300,50)  # lecture du signal
>>>plot(t,v)
```

Le résultat est montré à la figure 7.3(a).

ExpEYES peut mesurer l'intervalle de temps entre des transitions logiques aux entrées numériques. Connecter SQR1 à IN1 et essayer :

```
>>>print p.r2ftime(3,3)
>>>print p.set_sqr1(1000)      # signal carré 1kHz
>>>print p.r2ftime(3,3)      # de la montée à la descente
>>>print p.multi_r2ftime(3)  # entre deux fronts montants
>>>print p.measure_frequency(3)
```

Essayez de créer des signaux carrés à différentes fréquences et mesurez-les.

À partir d'un signal capturé, on peut mesurer son amplitude et sa fréquence par modélisation de la courbe. Les résultats sont précis avec une entrée sinusoïdale, mais la mesure de fréquence fonctionne avec d'autres formes d'onde aussi. Connecter SINE à A1 et essayer :

```
>>>import expeyes.eyemath as em
>>>t,v= p.capture_hr(1, 400,50)
>>>vfit, par = em.fit_sine(t,v)
>>>print par[0], par[1]*1000  # Amplitude & Fréquence
>>>plot(t,v,t,vfit)
```

La tension crête et la fréquence seront affichées.

Pour plus d'information lisez le *manuel du programmeur*. Vous pouvez récupérer une description brève de chacune des fonctions à l'aide de la commande



```
>>>help(expeyes.eyesj)
```

Une fois que vous connaîtrez le langage Python, il vous sera plus facile de lire le code source `eyesj.py` pour comprendre le fonctionnement du programme. En fait toutes les mesures en temps-réel sont faites par le programme en C `eyesj.c` qui tourne sur le micro-contrôleur. La bibliothèque Python envoie des commandes pour récupérer les données requises, et utilise la puissance de Python pour l'analyse des données et leur affichage.

Les versions les plus récentes de ce manuel (au format A4) peuvent être téléchargées depuis <http://expeyes.in>

Si vous trouvez des fautes, envoyez un courriel à [ajith@iuac.res](mailto:ajith@iuac.res)