

# expYES-17



Manuel Utilisateur  
Expériences pour  
Jeunes Ingénieurs et Scientifiques

<http://expeyes.in>

du

Projet PHOENIX  
Inter-University Accelerator Centre  
(centre de recherche de l'UGC)  
New Delhi 110 067  
[www.iuac.res.in](http://www.iuac.res.in)

Traduction : Georges Khaznadar

## Préface

Le projet PHOENIX (PHYSICS WITH HOME-MADE EQUIPMENT & INNOVATIVE EXPERIMENTS : Physique avec un matériel « maison » & des expériences innovantes) a démarré en 2004 au INTER-UNIVERSITY ACCELERATOR CENTRE avec l'objectif d'améliorer l'enseignement des sciences dans les Universités Indiennes. Le développement de matériel de laboratoire à bas coût et la formation des enseignants sont les deux activités principales de ce projet.

EXPEYES-17 est une version avancée du EXPEYES publié plus tôt. Il est conçu pour être un outil d'apprentissage par l'exploration, valide pour les classes de lycée et au-dessus. Nous avons essayé d'optimiser la conception pour la rendre simple, flexible, robuste et bon marché. Le prix bas le rend accessible aux individus et nous espérons voir des étudiants réaliser des expériences en dehors des quatre murs du laboratoire, qui ferme à la sonnerie de la cloche.

Ce logiciel est publié sous les licences GNU GENERAL PUBLIC LICENSE et CERN OPEN HARDWARE LICENCE. Le projet a avancé grâce aux participations actives et contributions de la communauté des utilisateurs et de plusieurs autres personnes en dehors de l'IUAC. Nous remercions le Dr D Kanjilal pour les étapes nécessaires à l'élaboration de cette nouvelle version à partir du travail de son développeur, Jithin B P, de CSpark Research.

Le manuel utilisateur de EXPEYES-17 est distribué sous la licence GNU FREE DOCUMENTATION.

Ajith Kumar B.P. (ajith@iuac.res.in) <http://expeyes.in>  
V V V Satyanarayana

---

## Table des matières

---

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Le matériel</b>	<b>3</b>
2.1	Connexions externes . . . . .	3
2.2	Kit d'accessoires . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Installation du logiciel</b>	<b>9</b>
3.1	Pour toute distribution GNU/Linux: . . . . .	9
3.2	Distributions GNU/Linux Debian ou Ubuntu . . . . .	9
3.3	Le CD vif expEYES / La clé USB vive . . . . .	10
3.4	Sous MSWindows . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Le programme graphique principal</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Se familiariser avec ExpEYES17</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Expériences néescolaires</b>	<b>17</b>
6.1	Mesurer une tension . . . . .	17
6.2	Mesurer une Résistance . . . . .	18
6.3	Mesure de résistances en série . . . . .	18
6.4	Mesure de résistances en parallèle . . . . .	19
6.5	Mesurer une Capacité . . . . .	20
6.6	Mesure de la capacité de condensateurs en série . . . . .	20
6.7	Mesure de la capacité de condensateurs en parallèle . . . . .	21
6.8	Mesurer des résistances par comparaison . . . . .	22
6.9	Courants continu et alternatif . . . . .	23
6.10	Signal d'antenne alternatif dû au secteur . . . . .	25
6.11	Séparation des composantes continue et alternative . . . . .	26
6.12	Le corps humain comme conducteur . . . . .	27
6.13	Résistance électrique du corps humain . . . . .	29
6.14	Photo-résistances . . . . .	30
6.15	Tension d'une pile-citron . . . . .	30
6.16	Un générateur alternatif simple . . . . .	31
6.17	Transformateur de courant alternatif . . . . .	32
6.18	Résistance de l'eau, en courant alternatif . . . . .	33
6.19	Générer un son . . . . .	35
6.20	Numériser un son . . . . .	35

6.21	Stroboscope . . . . .	36
<b>7</b>	<b>Expériences délectronique</b>	<b>39</b>
7.1	Oscilloscope à quatre canaux, et plus . . . . .	39
7.2	Redressement demi-onde à laide dune jonction PN . . . . .	42
7.3	Redressement double alternance avec des jonctions PN . . . . .	45
7.4	Écrêtage à laide dune diode à jonction PN . . . . .	47
7.5	Décalage à laide dun diode à jonction PN . . . . .	48
7.6	Oscillateur à IC555 . . . . .	49
7.7	Amplificateur à transistor (EC) . . . . .	51
7.8	Amplificateur inverseur . . . . .	52
7.9	Amplificateur non-inverseur . . . . .	54
7.10	Amplificateur additionneur . . . . .	55
7.11	Portes logiques . . . . .	56
7.12	Diviseur dhorloge . . . . .	58
7.13	Caractéristique U-I dune diode . . . . .	60
7.14	Caractéristique de la sortie dun transistor en mode EC . . . . .	62
7.15	Caractéristique dun transistor PNP en mode EC . . . . .	63
<b>8</b>	<b>Expériences délectricité et magnétisme</b>	<b>67</b>
8.1	Courbe I-U . . . . .	67
8.2	Courbes XY . . . . .	68
8.3	Circuits RLC, réponse en régime stationnaire . . . . .	70
8.4	RLC et la résonance série . . . . .	71
8.5	Réponse de circuits RC en régime transitoire . . . . .	73
8.6	Réponse transitoire de circuits RL . . . . .	74
8.7	Réponses transitoires de circuits RLC . . . . .	76
8.8	Réponse en fréquence dun circuit de filtrage . . . . .	77
8.9	Induction électromagnétique . . . . .	78
<b>9</b>	<b>Expériences sur le son</b>	<b>81</b>
9.1	Réponse en fréquence dun disque piézo-electrique . . . . .	81
9.2	Vitesse du son . . . . .	82
9.3	Battements sonores . . . . .	84
<b>10</b>	<b>Expériences de mécanique</b>	<b>85</b>
10.1	Accélération de la pesanteur à laide dun pendule pesant . . . . .	85
10.2	Vitesse angulaire dun pendule . . . . .	86
10.3	Résonance dun pendule forcé . . . . .	87
10.4	Mesure de distance, par écho ultrasonore . . . . .	88
10.5	Mesure de gravité par temps de vol . . . . .	89
<b>11</b>	<b>Autres expériences</b>	<b>91</b>
11.1	Mesure de température à laide dune sonde PT100 . . . . .	91
11.2	Enregistreur de données . . . . .	92
11.3	Enregistreur de données avancé . . . . .	93
<b>12</b>	<b>Modules I2C</b>	<b>95</b>
12.1	Courbe B-H . . . . .	95
12.2	Enregistreur de capteur de lumière . . . . .	96
12.3	MPU6050 . . . . .	97
12.4	Enregistreur I2C . . . . .	97
<b>13</b>	<b>Coder en Python pour expEYES-17</b>	<b>99</b>
13.1	Programmer ExpEYES à laide de Python . . . . .	99

# CHAPITRE 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 des expérimentations et des 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 corrélérer 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-17* avec plusieurs expériences, et il y a aussi un manuel du programmeur.



# CHAPITRE 2

---

## Le matériel

---

ExpEYES-17 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 *ExpEYES17*. 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.

La précision des mesures de tension est conditionnée par la stabilité de la référence à 3,3 V utilisée, elle varie de 50 ppm par degré Celsius. Les erreurs de gain et d'offset sont éliminées par une calibration initiale, à l'aide du convertisseur analogique-numérique 16 bits.

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 également être utilisé comme matériel de test pour des expériences délectricité et délectronique.

### **IMPORTANT:**

*Les tensions extérieures connectées à ExpEYES17 doivent être comprises dans les limites autorisées. Les entrées A1 et A2 doivent être dans l'intervalle ±16 volts et les entrées IN1 et IN2 doivent être dans l'intervalle de 0 à 3,3V. Des tensions excessives peuvent provoquer des dommages permanents. Pour mesurer des tensions plus hautes, diminuez-les en utilisant des diviseurs de tensions.*

## 2.1 Connexions externes

Les fonctions des connexions externes sont expliquées brièvement ci-dessous. Toutes les bornes de couleur noire sont des masses (0V), toutes les autres tensions sont mesurées par rapport à elles.

### 2.1.1 Les sorties:

#### **Source de courant constant (CCS):**

La source de courant constant peut être activée ou désactivée (ON et OFF) sous contrôle logiciel. La valeur nominale est 1,1mA mais peut varier d'une unité à l'autre, à cause de la tolérance des composants. Pour mesurer sa valeur exacte,

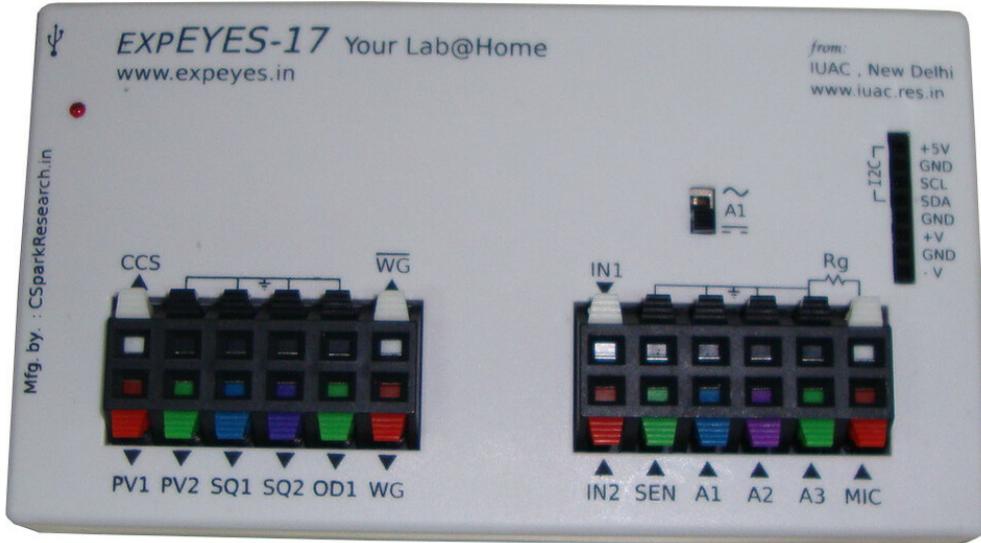


Fig. 1 – ExpYES17  
La face avant d'expEYES17 avec les connexions externes sur le dessus.

connecter un ampèremètre entre CCS et GND. Une autre méthode consiste à connecter une résistance connue (environ  $1\text{ k}\Omega$ ) et mesurer la différence de potentiel à ses bornes. La résistance de charge doit être inférieure à  $3\text{ k}\Omega$  pour cette source de courant.

### 2.1.2 Tension programmable (PV1) :

Elle peut être réglée, par logiciel, à toute valeur comprise dans l'intervalle de  $-5\text{ V}$  à  $+5\text{ V}$ . La résolution est 12 bits, ce qui implique une résolution en tension d'environ  $2,5\text{ mV}$ .

#### Tension programmable (PV2) :

Elle peut être réglée, par logiciel, à toute valeur comprise dans l'intervalle de  $-3,3\text{ V}$  à  $+3,3\text{ V}$ . La résolution est 12 bits.

#### Signal carré SQ1 :

La sortie oscille entre 0 et  $5\text{ V}$  et la fréquence peut être ajustée entre  $10\text{ Hz}$  et  $100\text{ kHz}$ . Toutes les valeurs intermédiaires de fréquence ne sont pas possibles. On peut programmer le rapport cyclique. Quand on règle la fréquence à  $0\text{ Hz}$  provoque un état HAUT à la sortie, et si on la règle à  $-1\text{ Hz}$ , la sortie passe à l'état BAS; dans les deux cas la génération de signal carré est désactivée. La sortie SQ1 comporte une **résistance série** de  $100\ \Omega$  intégrée si bien qu'elle peut commander des DELs directement.

#### Signal carré SQ2 :

La sortie oscille entre 0 et  $5\text{ V}$  et la fréquence peut être ajustée entre  $10\text{ Hz}$  et  $100\text{ kHz}$ . Toutes les valeurs intermédiaires de fréquence ne sont pas possibles. On peut programmer le rapport cyclique. La sortie SQ2 n'est pas disponible quand on active WG.

### **Sortie numérique (OD1) :**

La tension en OD1 peut être réglée à 0 ou 5V, par logiciel.

### **Signal Sinusoïdal/Triangulaire WG:**

Sa fréquence peut être ajustée entre 5Hz et 5kHz. La valeur crête peut être réglées à 3V, 1,0V ou 80mV. La forme du signal est programmable. À l'aide de l'interface utilisateur on peut sélectionner une forme sinusoïdale ou triangulaire.  $\overline{WG}$  est le signal de WG, inversé..

### **2.1.3 Entrées:**

#### **Mesure de capacité en IN1:**

On peut mesurer la valeur d'un condensateur connecté entre IN1 et GND. Ça marche mieux pour de petites valeurs de capacité, jusqu'à 10nF, les résultats sont moins précis au-delà.

#### **Fréquencemètre en IN2:**

Celui-ci est capable de mesurer des fréquences jusqu'à plusieurs MHz.

#### **Capteur de résistance (SEN):**

Cette entrée est surtout conçue pour des capteurs comme des photo-résistances (LDR), des thermistances, des photo-transistors, etc. L'entrée SEN est connectée en interne à 3,3V à travers une résistance de 5,1 kΩ.

#### **Entrées analogiques :math :pm16V, A1 & A2:**

Celles-ci peuvent mesurer des tensions dans l'intervalle  $\pm 16 V$ . On peut choisir le calibre de 0,5V à 16V en pleine échelle. On peut visualiser la tension de ces entrées en fonction du temps, ce qui donne une fonction oscilloscope pour basses fréquences. La plus grande vitesse d'échantillonnage est 1 Méch/s pour un seul canal. Chacune des entrées a une impédance de  $1 M\Omega$ .

#### **Entrée analogique $\pm 3.3V$ A3:**

Celle-ci peut mesurer une tension dans l'intervalle  $\pm 3.3 V$ . On peut amplifier cette entrée en connectant une résistance entre  $R_g$  et GND, gain =  $1 + \frac{R_g}{10000}$ . Cela permet d'afficher des signaux de très petite amplitude. L'impédance de l'entrée A3 est  $10 M\Omega$ .

#### **Entrée Microphone MIC:**

Un microphone à condensateur peut être connecté à cette borne afin de capturer le signal à la sortie.

### **2.1.4 Interface pour les capteurs I2C:**

Les quatre connexions (+5V, GND, SCL et SDA) situées sur la bande de connexions Berg supporte les capteurs de la famille I2C. Le logiciel peut reconnaître un grand nombre de capteurs I2C disponibles dans le commerce.

### 2.1.5 Alimentation $\pm 6 V/10 mA$ à:

Les bornes VR+ et VR- sont des alimentations régulées. Elles fournissent peu de courant, mais assez pour alimenter un ampli-op.

## 2.2 Kit d'accessoires



Missing image  
(bitmap format)

Quelques accessoires sont livrés avec expEYES.

- Fils électriques, avec une borne rigide mâle et avec une pince crocodile.
- Microphone à condensateur avec ses fils.
- Bobine d'induction (2): du fil isolé 44SWG enroulé dans une bobine de diamètre 1cm. Environ 3000 tours (il peut y avoir quelques tours de plus). On peut utiliser ces bobines pour étudier l'inductance, l'induction électromagnétique, etc.
- Disque piézo-électrique (2): sa fréquence de résonance est d'environ 3500Hz. Il peut être alimenté par la sortie WG ou SQR1. Le disque est enfermé dans une coquille en plastique formant une cavité, qui augmente la puissance sonore produite.
- Moteur CC: doit être alimenté par une tension continue de moins de 3V.
- Aimants permanents: (a) diamètre et longueur 10mm (b) diamètre 5mm et longueur 10mm (c) aimants de taille bouton(2)
- DELs 5mm: rouge, bleue, verte, blanche.
- Condensateurs: 100pF, 0,1µF, 1µF et 22µF
- Inductances: 10mH / 20 Ω,
- Résistances: 560 Ω, 1 kΩ, 2,2 kΩ, 10 kΩ, 51 kΩ et 100 kΩ

- photo-résistance (LDR )
- Deux diodes silicium (1N4148) et une diode Zéner de 3,3 V
- Transistor NPN (2N2222)



# CHAPITRE 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.

Des programmes avec une interface utilisateur graphique ont été écrits pour de nombreuses expériences. Le logiciel Eyes17 dépend des paquets logiciels suivants :

- python3-serial
- python3-numpy
- python3-scipy
- python3-qt5
- python3-pyqtgraph

### 3.1 Pour toute distribution GNU/Linux :

Télécharger **eyes17-x.x.x.zip** (la dernière version) depuis <http://expeyes.in> et dézipper ce fichier, puis aller dans le nouveau dossier. Taper les commandes :

```
$ sudo sh postinst      # donne la permission d'accès à tous  
$ python main.py
```

Vous aurez des messages d'erreur pour tout paquet manquant qui pourrait être nécessaire à expeyes. Installer ces paquets et réessayer. Les programmes Python nécessaires pour de nombreuses expériences sont dans le même répertoire, ils sont appelés par `main.py`.

### 3.2 Distributions GNU/Linux Debian ou Ubuntu

Télécharger **eyes17-x.x.x.deb** (la dernière version) depuis la zone de téléchargement de <http://expeyes.in> et l'installer à l'aide de la commande :

```
$ sudo gdebi eyes17-x.x.x.deb
```

alors quon est connecté à Internet

Le paquet `eyes17` (de version supérieure à 3) ne dépend pas de versions antérieures dexpEYES, comme `expeyes-junior`. Pendant l'installation `gdebi` téléchargera automatiquement et installera les paquets requis.

**N.B.ă:** on peut aussi utiliser la commandeă:

```
$ sudo apt install eyes17
```

alors quon est connecté à Internetă; le paquet `eyes17` disponible dans la distribution (actuellement dans `debian/buster` ou `Ubuntu/bionic`) ainsi que toutes ses dépendances sera téléchargé et installé.

### 3.3 Le CD vif expEYES / La clé USB vive

L'image ISO qui offre le support pour `eyes17` est disponible ICI pour téléchargement. Créer un DVD ou une clé USB démarables à laide cette image ISO (télécharger rufus depuis <https://rufus.akeo.ie> pour faire ça sous MSWindows)

Éteindre le PC et brancher la clé USB ou insérer le CD vif, puis démarrer l'ordinateur. Entrer dans le BIOS durant la phase de démarrage, et faire en sorte que le CD ou la clé USB soit prise en compte comme premier média de démarrage. Redémarrer en enregistrant ce réglage. Un bureau apparaîtra et on peut lancer expEYES-17 depuis le menu **Applications->Éducation->ExpEYES-17**.

On peut aussi le lancer depuis un terminal à laide de la commandeă:

```
$ python /usr/share/expeyes/eyes17/main.py
```

### 3.4 Sous MSWindows

Il faut tout dabord installer le logiciel pilote pour le convertisseur USB Série MCP2200, disponible sur le site de Microchip (et aussi disponible sur le site expeyes). Après installation de ce pilote apparaîtra un port COM, quon peut tester à laide du gestionnaire de périphériques de MSWindows. Ensuite il y a deux options.

Un fichier zip contenant toutes les choses nécessaires pour ExpEYES est disponible sur le site expeyes, sous le nom `eyes17win.zip`. Télécharger et dézipper ce fichier puis lancer `main.py` à partir de là. En utilisant cette méthode, on ne pourra pas écrire soi-même de code Python pour accéder à expeyesă; pour ce faire il faut installer comme suită:

- Python version 2.x
- python-serial
- python-qt4
- python-pyqtgraph
- python-numpy
- python-scipy

Télécharger le fichier `eyes17-x.x.x.zip` (la dernière version) depuis le site web. En dézippant ce fichier on obtient un dossier nommé `**eyes17**`, lancer `**main.py**` depuis là.

# CHAPITRE 4

---

## Le programme graphique principal

---

Démarrer Applications->Éducation->ExpEYES-17 depuis le menu. Un écran oscilloscope à quatre canaux avec de nombreuses fonctionnalités en plus, ouvrir comme affiché sur la figure. On peut choisir de nombreuses expériences depuis le menu.

La fenêtre principale apparaît comme un oscilloscope à basse fréquence avec quatre canaux, et plusieurs fonctionnalités en plus, à droite de l'écran. On peut sélectionner des applications pour plusieurs expériences du menu de la barre supérieure. Une brève description du programme oscilloscope est donnée ci-dessous.

- On peut activer chacune des quatre entrées (A1, A2, A3 ou MIC) en utilisant sa case à cocher. On peut sélectionner les calibres en cliquant sur le bouton à menu à droite de la case à cocher. Le calibre voulu se choisit dans le menu surgissant.
- Il y a une autre case à cocher pour activer l'ajustement mathématique des données à l'aide d'un modèle  $V = V_0 \sin(2\pi ft + \theta) + C$  pour afficher l'amplitude et la fréquence.
- L'échelle horizontale (la base de temps) peut être réglée par un curseur, depuis 0,5 ms pleine échelle jusqu'à 500 ms pleine échelle.
- Le bouton à cocher **Geler**, permet de faire une pause ou de revenir à la marche normale de l'oscilloscope.
- Le niveau de synchronisation (trigger) peut être réglé grâce à un curseur, et il y a un bouton à menu pour sélectionner la source de synchronisation.
- Pour enregistrer les traces dans un fichier, éditer le nom de fichier voulu et cliquer le bouton **Enregistrer sous**.
- Quand on clique sur **FFT** les spectres de fréquence des canaux sélectionnés sont affichés dans des fenêtres surgissantes.

En plus de l'oscilloscope, il y a plusieurs options de contrôle/mesure disponibles dans l'interface utilisateur, qui sont expliquées ci-dessous :

- Si on les sélectionne, les tensions présentes aux entrées A1, A2 et A3 sont échantillonnées chaque seconde et affichées.
- La résistance connectée entre SEN et GND est mesurée et affichée chaque seconde.
- Si on clique **Capacité en IN1**, on mesure la valeur du condensateur connecté entre IN1 et GND.
- Si on clique **Fréquence en IN2**, on mesure la fréquence d'une source externe (au standard TTL) connectée à IN2
- On peut choisir la forme du générateur de signal WG à l'aide d'un bouton de menu, la forme par défaut étant sinusoïdale. On peut changer en triangulaire. Quand l'option de signal carré est choisie, la sortie est déplacée sur SQ2. On ne peut pas utiliser un signal sinusoïdal/triangulaire et utiliser SQ2 en même temps.
- On peut ajuster la fréquence du signal de WG à l'aide d'un curseur ou bouton de menu, la forme par défaut étant sinusoïdale. On peut changer avec l'entrée texte. Les deux méthodes de saisie sont asservies l'une à l'autre :

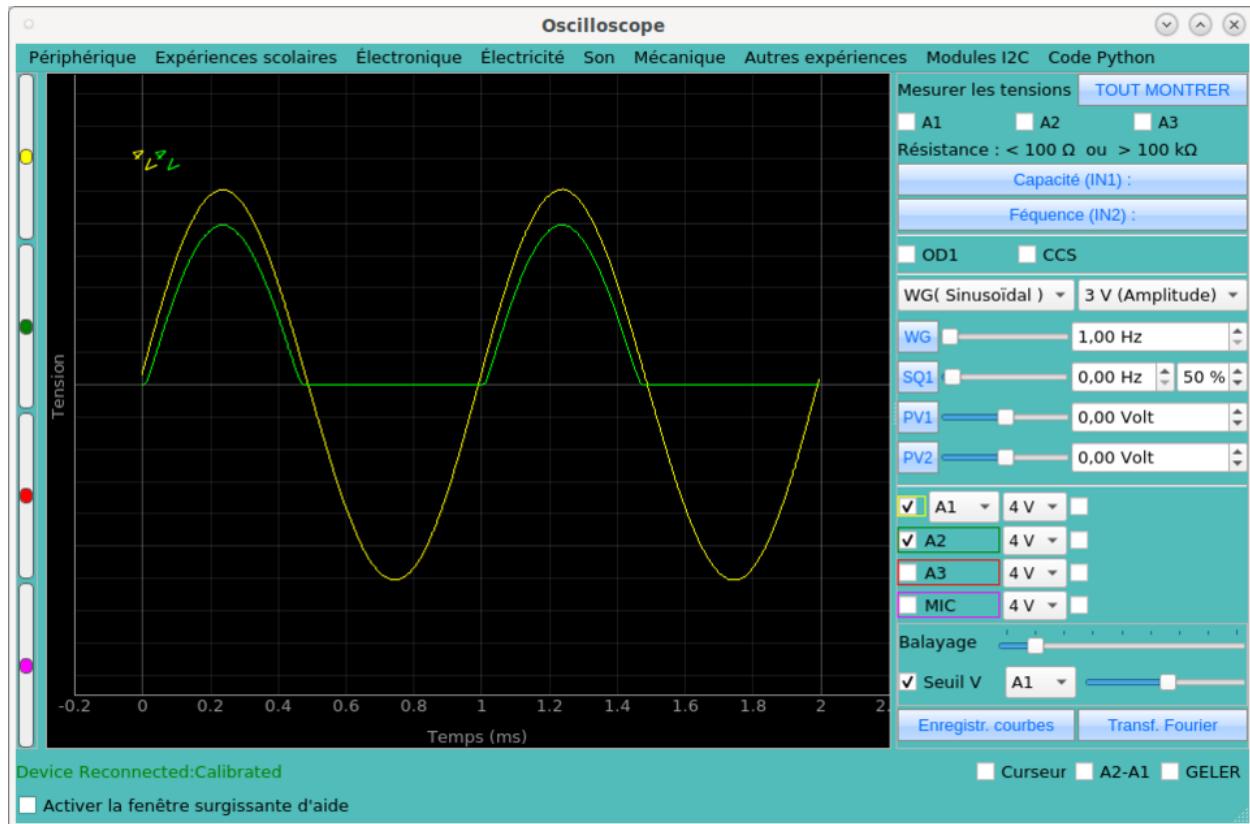


Fig. 1 – Scope17  
L'écran scope17 affichant deux traces

quand on bouge le curseur le texte est modifié, et quand on saisit un texte le curseur sajuste. La fréquence sajuste à la plus proche valeur possible et elle est affichée dans la fenêtre de message dessous. Lamplitude de la sortie WG peut être réglée à 3.9V, 1.9V ou 80.9mV.

- On peut régler SQ1 en utilisant la même méthode que ci-dessus. Le rapport cyclique peut être réglé entre 1% et 99%, sa valeur par défaut est 50%.
- Les deux sorties de tension programmables PV1 et PV2 sont aussi réglées dune façon similaire.
- Des boutons à cocher sont fournis pour contrôler OD1 et CCS.



# CHAPITRE 5

---

## Se familiariser avec ExpEYES17

---

Avant de commencer les expériences, faisons quelques exercices simples pour nous familiariser avec expEYES-17. Démarrez votre ordinateur avec le CDROM vif, connectez l'appareil à un port USB et démarrez le programme EYES-17 depuis le menu « Applications->Science ». Activez l'option « fenêtre aide surgissante » et sélectionnez les quelques premiers items du menu « Exp. scolaires ».

Les chapitres suivants sont structurés selon les menus du programme eyes17, chaque chapitre contenant les expériences disponibles sous le menu correspondant, comme « Exp. scolaires », « Electronique », « Électricité », etc. Pour réaliser l'expérience, on la sélectionne dans le menu. Une aide en ligne est disponible pour chaque expérience, de façon redondante avec ce manuel.

Les copies d'écran fournies dans ce document ne viennent pas de l'interface utilisateur, parce que les images avec un fond noir posent problème quand on les imprime. Les graphiques sont générés par un code indépendant.



# CHAPITRE 6

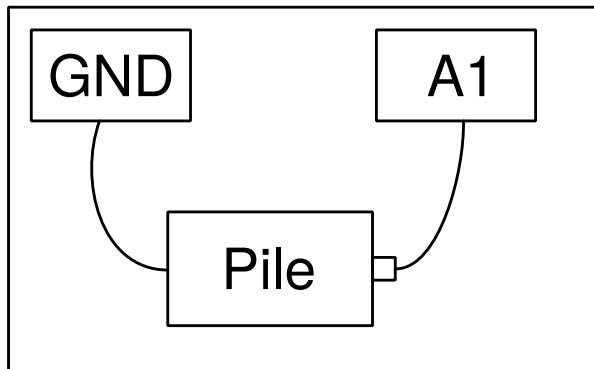
## Expériences scolaires

Dans ce chapitre on discutera des expériences et démonstrations sans beaucoup d'analyse des données, qui sont comprises dans le menu "Expériences scolaires". Des tâches simples comme mesurer une tension, une résistance, une capacité, etc. seront faites en utilisant des résistances variant avec la température ou la lumière. Le concept de courant alternatif est introduit en traçant la courbe d'une tension en fonction du temps. La génération et la numérisation du son seront pris en compte. Quand une expérience est sélectionnée, la fenêtre d'aide correspondante surgit, si on l'y a autorisée.

### 6.1 Mesurer une tension

#### 6.1.1 Objectif

Apprendre à mesurer une tension à l'aide de dexpEYES et avoir une petite idée du concept de masse électrique (GND). Il faut une pile et deux fils électriques.



#### 6.1.2 Procédure

- Observer la tension affichée pour A1.

- Recommencer en inversant les connexions à la pile. connections.

### 6.1.3 Discussion

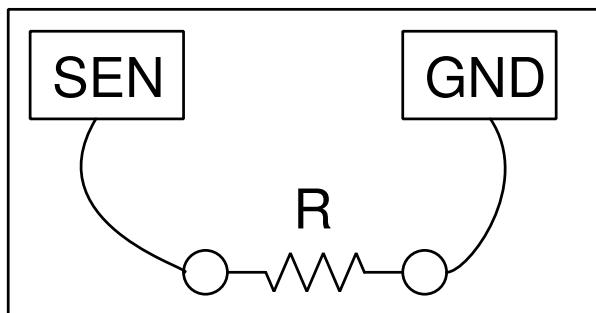
La valeur des tensions mesurées est +1,5V et elle devient -1,5V après retournement des connexions.

On mesure la différence de potentiel entre deux points. L'un d'entre eux peut être considéré comme zéro volt, ou potentiel de la masse (GND, la terre). La tension qu'affiche expEYES est une mesure de la tension relative aux bornes de masse, marquées GND. On a connecté la borne négative de la pile à GND. La borne positive est à +1,5V relativement à la borne de masse. *Est-ce que la tension correcte sera affichée si on ne connecte pas GND?*

## 6.2 Mesurer une Résistance

### 6.2.1 Objectif

ExpEYES a une borne marquée **SEN**, qu'on peut utiliser pour mesurer des résistances dans l'intervalle de  $100\ \Omega$  à  $100\ k\Omega$ .



### 6.2.2 Procédure

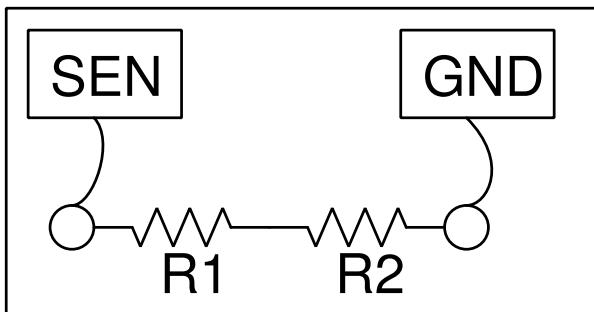
- Connecter la résistance entre SEN une borne GND
- Observer la valeur afficher dans le panneau de droite

## 6.3 Mesure de résistances en série

La résistance équivalente à une série de résistances est  $R = R_1 + R_2 + \dots$

### 6.3.1 Objectif

Mesurer la résistance d'une association de plusieurs conducteurs ohmiques en série.



### 6.3.2 Procédure pour deux résistances

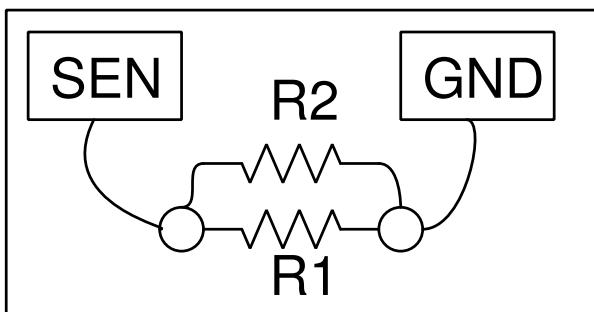
- Connecter une résistance à SEN et l'autre à GND selon la figure.
- Observer la valeur affichée sur le panneau de droite.
- Recommencer avec d'autres résistances.

## 6.4 Mesure de résistances en parallèle

Pour des résistances en parallèle, la relation suivante permet de calculer la résistance équivalente:  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

### 6.4.1 Objectif

Mesurer la résistance de combinaisons en parallèle de dipôles ohmiques. Le kit fournit les valeurs 560, 1000 et 2200  $\Omega$ .



### 6.4.2 Procédure pour deux résistances

- Mesurer les résistances séparément
- Les connecter comme sur la figure
- Observer les valeurs sur le panneau de droite
- Comparer les valeurs avec celles que donne le calcul
- Recommencer l'expérience avec diverses combinaisons de résistances.

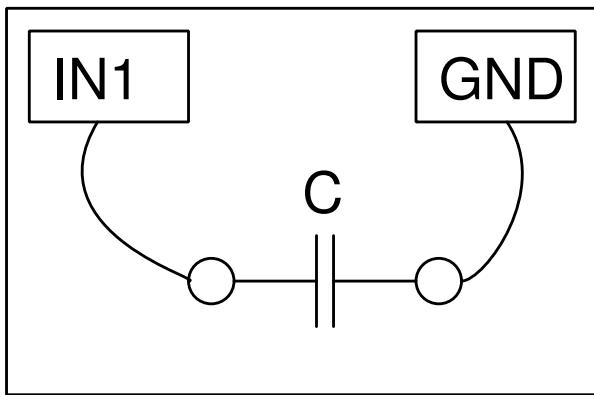
## 6.5 Mesurer une Capacité

Quand on place une charge électrique  $\mathbf{Q}$  de part et d'autre d'un isolant, il en résulte une différence de potentiel  $\mathbf{U}$  à ses bornes. Le quotient  $Q/U$  est par définition sa capacité  $C$ , la formule étant  $C = Q/U$ . Un condensateur est généralement formé par deux armatures conductrices séparées par un isolant. La capacité est le quotient de la charge que porte une armature par la différence de potentiel entre les deux armatures. La capacité dépend de la surface des armatures, de la distance qui les sépare, de la constante diélectrique de l'isolant et de la géométrie des armatures.

Pour un condensateur plan,  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$ , où  $A$  est la surface des armatures qui se font face,  $d$  est la distance qui les sépare,  $\epsilon_r$  est la constante diélectrique du matériau isolant et  $\epsilon_0$  est la permittivité du vide dont la valeur est  $8.8541878210^{-12} Fm^{-1}$ .

### 6.5.1 Objectif

Mesurer la capacité d'un condensateur.



### 6.5.2 Procédure

- Connecter le condensateur entre IN1 and GND.
- Cliquer sur "Capacité" en IN1. Il ne faut pas toucher le condensateur pendant la mesure.
- Recommencer avec différentes valeurs de capacité, en commençant par  $100\text{ pF}$ , jusqu'à plusieurs  $\mu F$ .

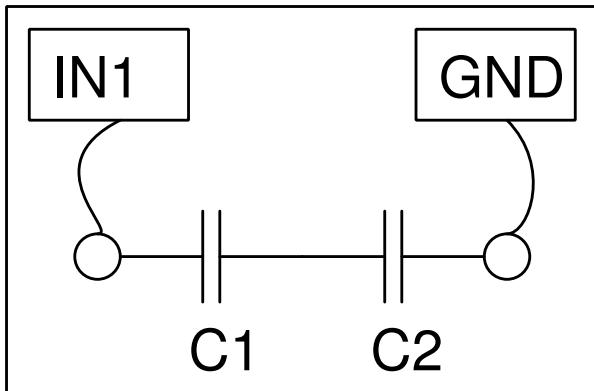
### 6.5.3 Discussion

On peut créer des condensateurs en collant de fines feuilles de métal sur les deux faces d'un isolant comme le papier, le polystyrène ou le verre. On peut déterminer la constante diélectrique des matériaux par cette méthode.

## 6.6 Mesure de la capacité de condensateurs en série

### 6.6.1 Objectif

Mesurer la capacité de condensateurs en série.



### 6.6.2 Procédure pour deux condensateurs

- Connecter les condensateurs selon la figure;
- Cliquer sur Capacité en IN1 . Il ne faut pas toucher le circuit pendant la mesure.

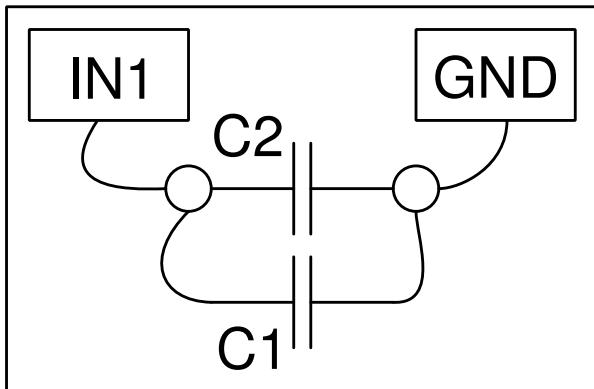
### 6.6.3 Discussion

Pour des condensateurs en série, on peut calculer la capacité équivalente à laide de la formule:  $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$

## 6.7 Mesure de la capacité de condensateurs en parallèle

### 6.7.1 Objectif

Mesurer la capacité de condensateurs en parallèle



### 6.7.2 Procédure pour deux condensateurs

- Connecter les condensateurs selon la figure;
- Cliquer sur Capacité en IN1 . Il ne faut pas toucher le circuit pendant la mesure.

### 6.7.3 Discussion

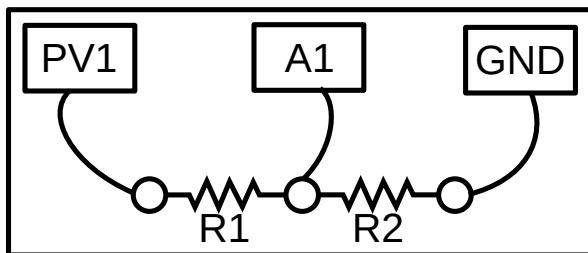
Pour des condensateurs en parallèle, on peut calculer la capacité équivalente à laide de la formuleă:  $C = C_1 + C_2 + \dots$

## 6.8 Mesurer des résistances par comparaison

Selon la loi d'Ohm, le courant dans un dipôle et la différence de potentiel à ses bornes sont proportionnels. La constante de proportionnalité se nomme la résistance. Mathématiquement:  $R = \frac{V}{I}$ . Quand deux résistances sont connectées en série, le courant est le même dans chacuneă:  $I = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{R_2}$ . Si la valeur d'une résistance et la tension à ses bornes sont connues, on peut calculer l'autre résistance par  $R_1 = R_2 \times \frac{V_1}{V_2}$

### 6.8.1 Objectif

Trouver la valeur d'une résistance inconnue en la comparant à une résistance connue, à laide des équations ci-dessus. Soit  $R_1$  la résistance inconnue et  $R_2 = 1000\Omega$



### 6.8.2 Procédure

- Placer les deux résistances en série sur la plaque de montageă;
- Connecter le năpoint milieuă à A1ă;
- Connecter l'autre extrémité de  $R_2(1 k\Omega)$  à GNDă;
- Connecter l'autre extrémité de  $R_1$  à PV1
- Régler PV1 à 4ăV.
- Activer le bouton à cocher en haut à droite, pour mesurer la tension continue en A1.

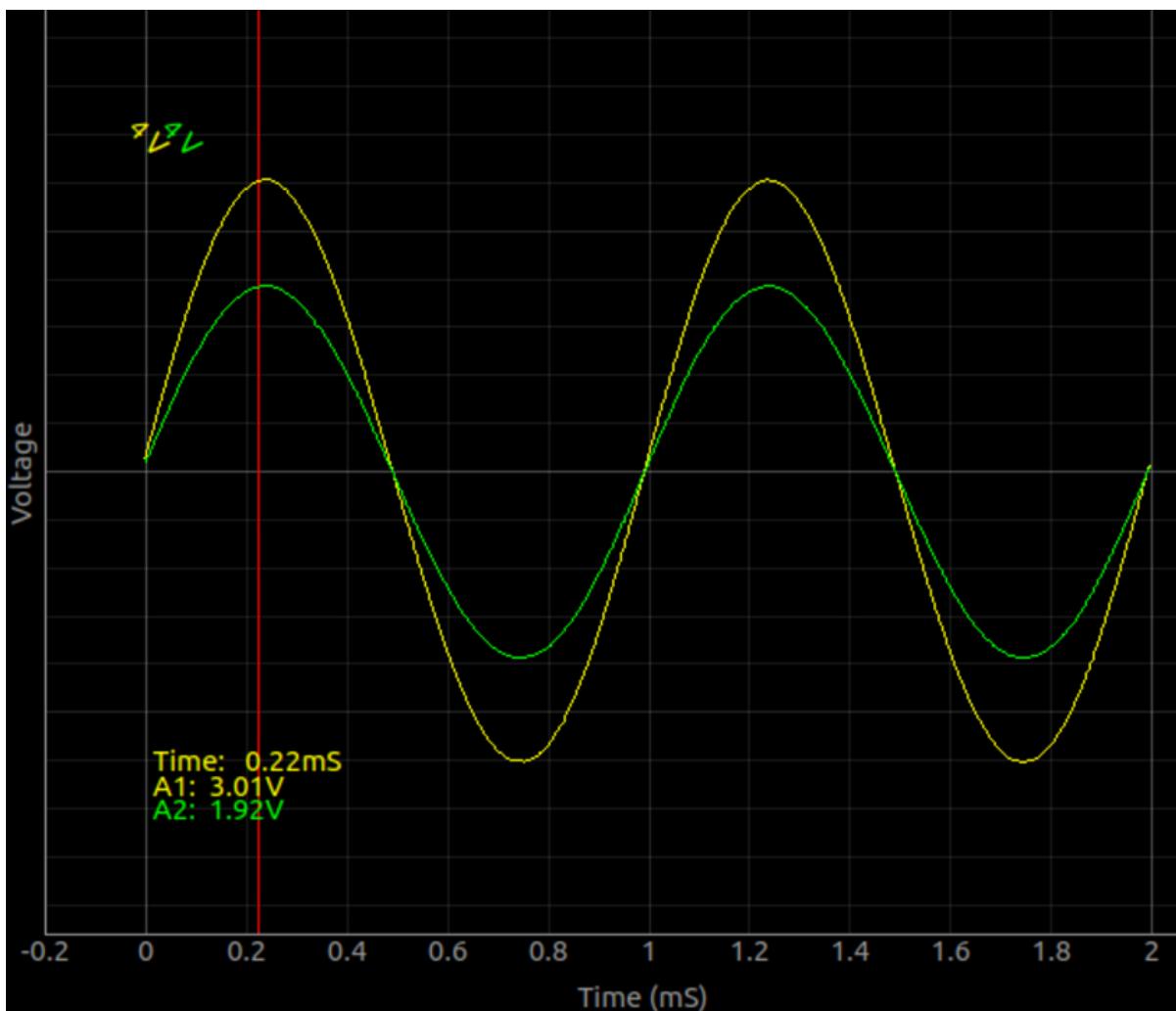
Le courant  $I = \frac{V_{A1}}{R_2}$  et  $R_1$  peuvent être calculés à laide de  $R_1 = \frac{V_{PV1}-V_{A1}}{I}$ .

### 6.8.3 La loi d'Ohm dans les circuits en courant alternatif

On peut facilement montrer que ce type de mesure peut aussi être fait en courant alternatif. On utilisera les deux entrées A1 et A2 ici.

- Placer les deux résistances en série sur la plaque de montageă;
- Connecter le năpoint milieuă à A2ă;
- Connecter l'autre extrémité de  $R_2(1 k\Omega)$  à GNDă;
- Connecter l'autre extrémité de  $R_1$  à A1 et aussi à WG
- Régler WG à 1000ăHz
- Activer A1 et A2
- Activer le bouton à cocher du curseur pour afficher les tensions au niveau du curseur

En prenant en compte les lectures de tension de la figure ci-dessous,  $I = \frac{1.92}{1000}$  and  $R1 = \frac{3.01-1.92}{0.00192} = 576.7$



#### 6.8.4 Discussion

Pour ces mesures on fait la supposition quaucun courant nest consommé par A1 et A2. Ce nest pas vrai, chacune de ces entrées a une impédance de  $1M\Omega$ . Ça commence à prendre de limportance quand on utilise des résistances dont lordre de grandeur approche du méga-ohm. Pour illustrer cela, connecter WG à A1 à laide dun fil et le même signal à A2 à travers une résistance de  $1M\Omega$ . Essayer dexpliquer le résultat en utilisant le loi dOhm.

### 6.9 Courants continu et alternatif

L'intensité et le sens du courant électrique d'une pile ne change pas avec le temps. On l'appelle le courant continu. Le courant du secteur est de nature différente. Le courant du secteur en France est normalisé à  $230\text{V}$ ,  $50\text{Hz}$ . Une fréquence de  $50\text{Hz}$  signifie un changement de tension qui se répète toutes les 20 millisecondes. Si on mesure la tension entre la phase et le neutre d'une prise de courant domestique, la tension augmente de zéro à  $325\text{V}$  ( $230\sqrt{2}$ ) en 5ms et revient à zéro dans les 5ms suivantes. Ce type de courant est nommé courant alternatif. Pour étudier ce type de courant, il faut un oscilloscope.

### 6.9.1 Objectif

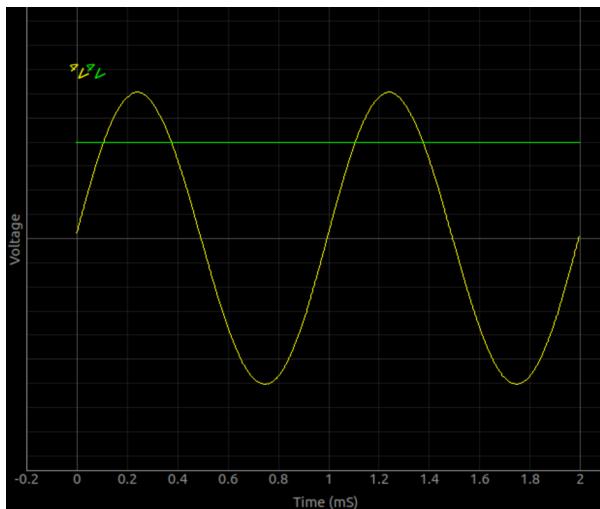
Introduire le concept de tensions variables dans le temps, à laide dun graphique  $U(t)$ . Comparer les graphiques de continu et d'alternatif.



### 6.9.2 Procédure

- Connecter WG à A1 et PV1 à A2, à laide de fils.
- Régler PV1 à 2\_V et WG à 1000Hz
- Activer l'analyse sur A1, pour mesurer l'amplitude et la fréquence.
- Activer A2

Voici, ci-dessous, une copie décran de ce qu'on peut obtenir.

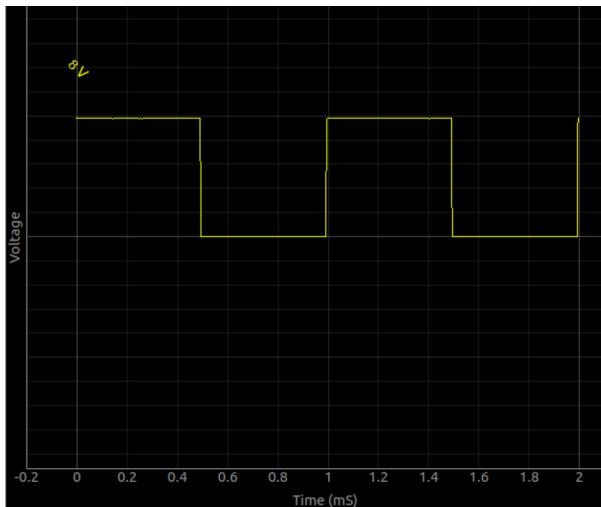


On ne doit pas en conclure que la tension soit purement continue ou alternative. Il peut y avoir une combinaison des deux. Par exemple, si on prend lexemple d'une tension carrée oscillant entre 0 et 5V.

- Connecter SQ1 à A1
- Régler le calibre de A1 à 8V. Ajuster le déclenchement pour stabiliser la trace.
- Régler PV1 à 2V et régler WG à 1000 Hz

Le graphique ci-dessous est-il alternatif ou continu? On préfère le considérer comme une valeur continue à 2,5V additionnée à une valeur alternative oscillant entre -2,5V et +2,5V.

On verra plus loin comment séparer ces composantes.



### 6.9.3 Discussion

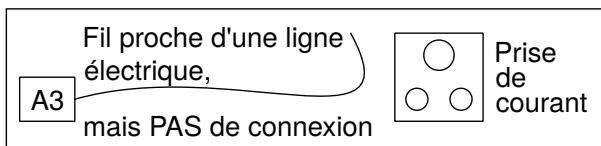
Dans le graphique, si la courbe de tension ne change pas (si elle est horizontale), cest du courant continu pur. Si la tension change avec le temps, il y a une composante alternative. Si la tension moyenne est nulle, alors cest de lalternatif pur.

## 6.10 Signal d'antenne alternatif dû au secteur

On trouve un champ magnétique variable au voisinage des lignes d'alimentation en courant alternatif. Ce champ magnétique induit une tension aux bornes d'un conducteur placé à proximité. On peut explorer cela en connectant un fil long à une extrémité, à l'appareil de mesure.

### 6.10.1 Objectif

Étudier l'alimentation du secteur en courant alternatif. Explorer le phénomène de propagation de tensions alternatives à travers l'espace.

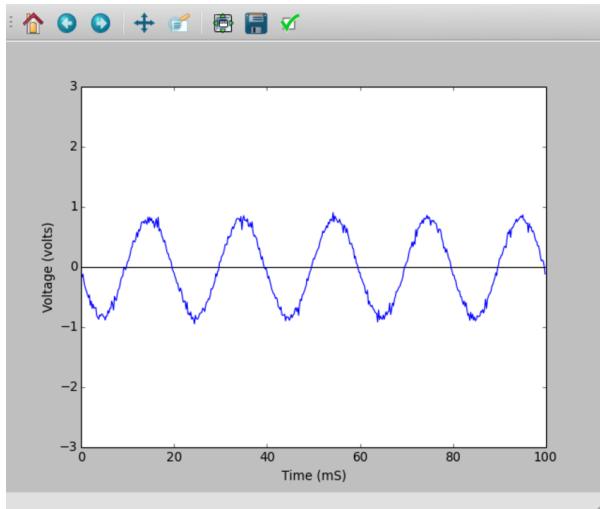


### 6.10.2 Procédure

- Connecter un long fil en A1
- Approcher une extrémité du fil près d'une ligne d'alimentation du secteur, sans toucher aucune source de tension.
- Activer A1, et son analyse.

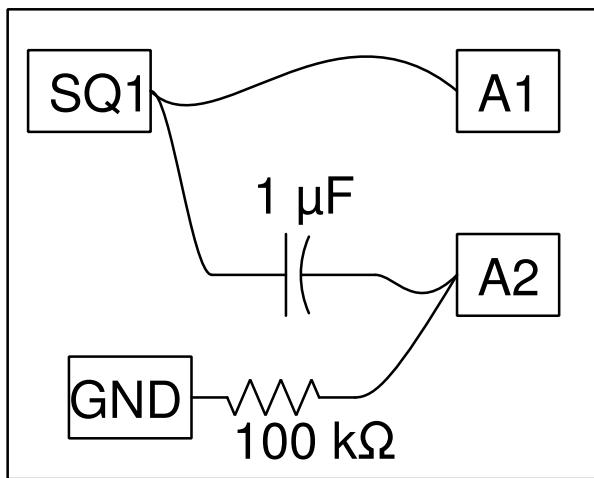
### 6.10.3 Discussion

Le signal d'antenne du secteur est affiché ci-dessous, il y a cinq cycles en 100ms. Sans faire aucune connexion, comment se fait-il qu'on reçoive un signal de tension alternative depuis le secteur? Pourquoi la tension augmente-t-elle quand on touche le fil connecté en A1 avec la main?



## 6.11 Séparation des composantes continue et alternative

Un condensateur n'autorise pas un courant continu à le traverser. On peut démontrer cette propriété à l'aide d'un signal carré oscillant entre 0 et 5V.



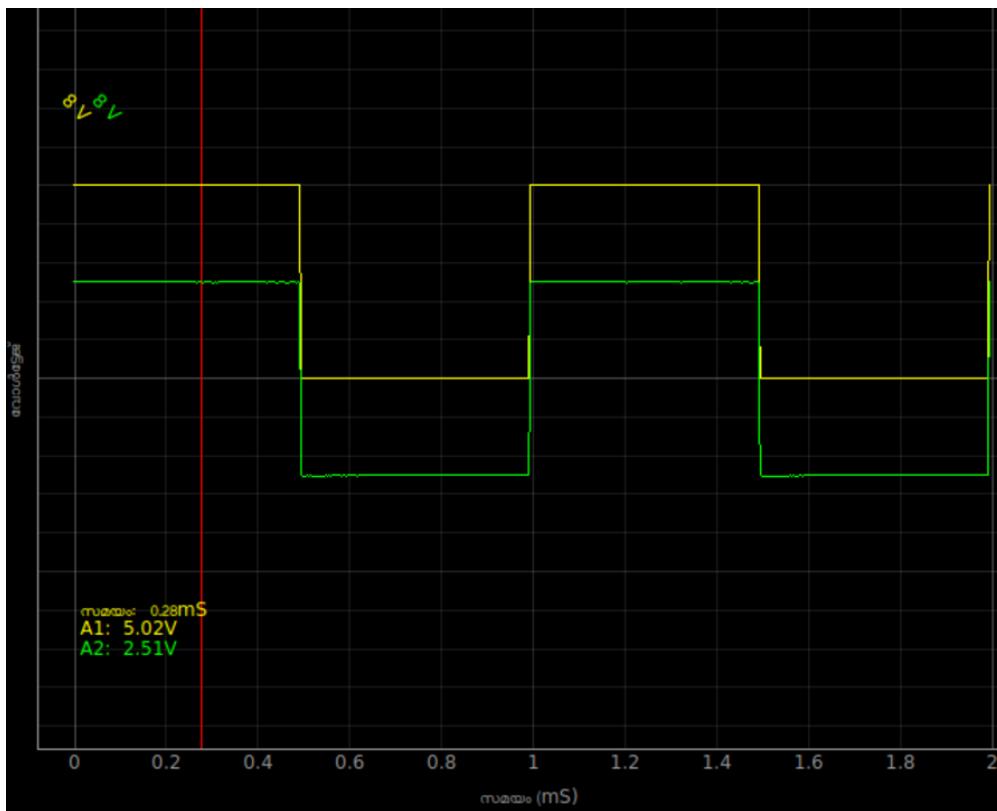
### 6.11.1 Objectif

Séparer les composantes alternatives et continues d'un signal carré oscillant entre 0 et 5V.

### 6.11.2 Procédure

- Réglage SQ1 à 1000Hz

- Connecter SQ1 à A1
- Connecter SQ1 à A2 à travers un condensateur de  $0.1\mu F$



### 6.11.3 Discussion

Les signaux observés avec et sans le condensateur en série sont affichés sur la figure. La tension oscille entre 0 et 5V. Après traversée d'un condensateur, la tension oscille entre -2,5V et +2,5V.

Quel est le rapport entre les deux tensions ? C'est ce que le condensateur a fait. Il n'a pas autorisé la composante continue à passer. On peut considérer que le signal original consiste en une tension alternative d'amplitude 2,5V superposée à un signal continu de +2,5V.

Au cas où on observerait une petite tension continue en A2, connecter une résistance de charge de  $100k\Omega$  entre A2 et GND.

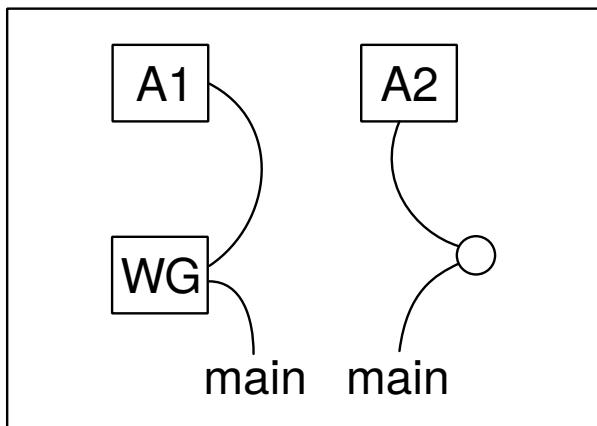
## 6.12 Le corps humain comme conducteur

Il est bien connu qu'il ne faut pas toucher les fils de courant du secteur. C'est parce que notre corps conduit l'électricité. En même temps, on ne peut pas allumer une DEL à l'aide d'une pile en utilisant les doigts pour faire la connexion. On peut explorer ça plus avant à l'aide des sources de tension continue et alternative de faible tension fournies par ExpEYES.

### 6.12.1 Objectif

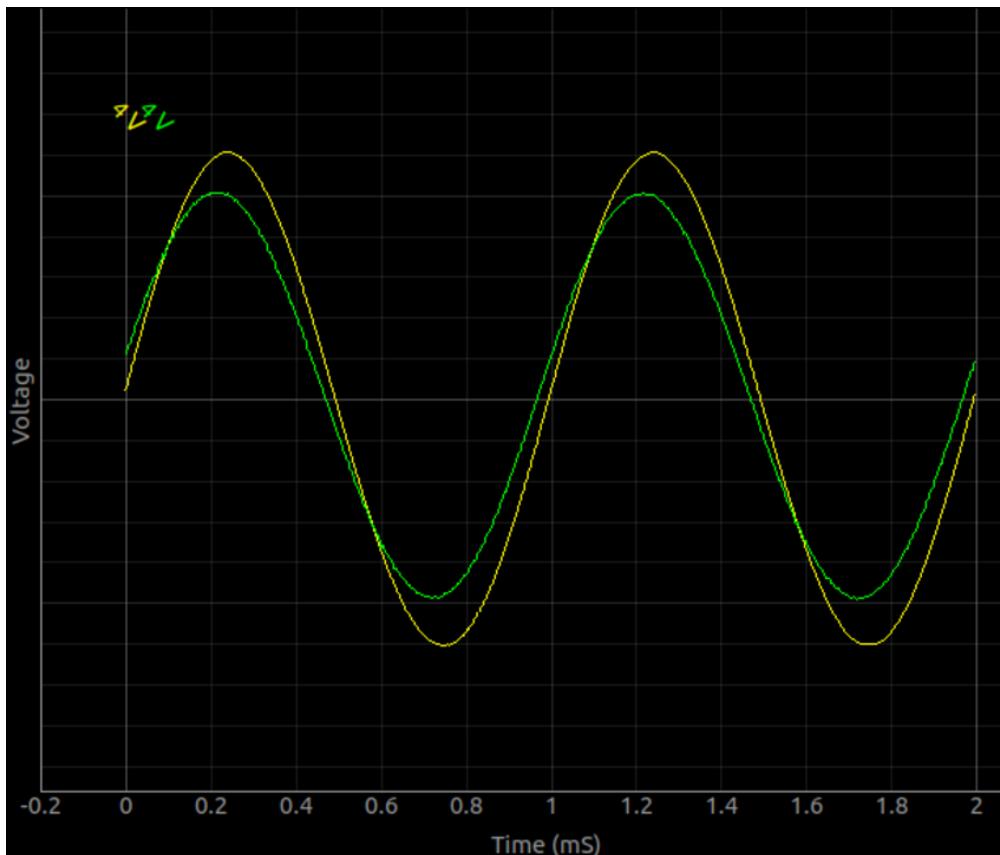
Étudier la conduction du courant électrique par le corps humain.

### 6.12.2 Procédure



- Connecter un fil de WG à A1
- Connecter un bout dun fil long à WG
- Connecter un bout dun autre fil long à A2
- Activer A1, A2 avec leurs analyses en amplitude et en fréquence.
- Tenir en main les extrémités non connectées des deux fils longs.
- Recommencer à laide dun signal de 3V continu issu de PV1.

Les signaux observés sont présentés ci-dessous. La tension en A2 est un peu moins de 3V, à cause de la résistance du corps.



### 6.12.3 Discussion

Quand on utilise une tension continue, la fraction qui atteint A2 est plus petite, ce qui signifie que le corps conduit mieux le courant alternatif que le courant continu. La tension mesurée en A2 dépend du quotient de la résistance opposée par le corps humain et l'impédance ( $1M\Omega$ ) de A2. La différence de phase entre les tensions implique la présence d'une capacité dans le circuit.

La conduction à travers le corps se produit-elle par la peau, ou par le flux sanguin? Comment répondre à cette question? Quel est le contenu en sel du sang? Essayer de mesurer la résistance d'une eau salée. Quel est le rôle joué par la peau?

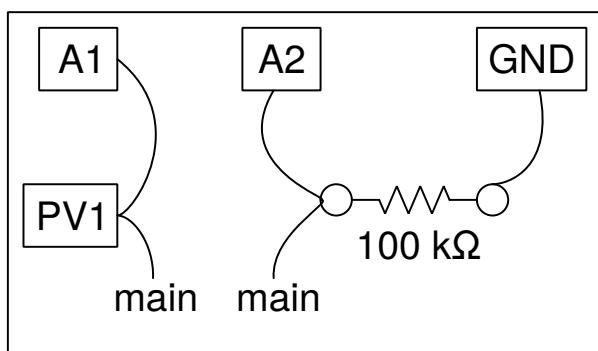
Il peut y avoir un peu de perturbation due aux signaux à 50 Hz du secteur captés par effet d'antenne. On peut éliminer cela en travaillant loin des lignes d'alimentation du secteur, à l'aide d'un ordinateur portable.

## 6.13 Résistance électrique du corps humain

On a vu qu'il est possible de mesurer une résistance inconnue par comparaison à une résistance connue en les connectant en série et en mesurant les tensions à leur bornes. On peut utiliser cette technique pour mesurer la résistance du corps humain.

### 6.13.1 Objectif

Mesurer la résistance électrique du corps humain en la comparant à une résistance connue, pour des signaux continu et alternatif.



### 6.13.2 Procédure

- Régler PV1 à 3 V
- Relier PV1 par un fil à A1
- Connecter l'extrémité d'un fil long à PV1
- Connecter l'extrémité d'un autre fil long à A2
- Connecter une résistance de  $100\Omega$  entre A2 et GND.
- Activer les cases à cocher pour afficher A1 et A2
- Tenir en main les deux extrémités non branchées des fils longs.
- Recommencer en utilisant SINE au lieu de PV1.
- Activer les analyses d'amplitude et de fréquence pour A1 et A2.

### 6.13.3 Discussion

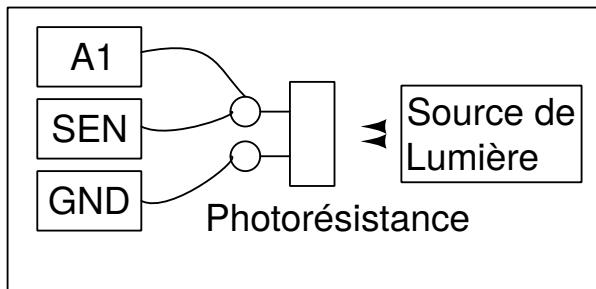
La résistance en alternatif est plus faible que celle en courant continu. La résistance est due à notre peau, et le courant alternatif peut la traverser, de la même façon qu'il passe à travers le matériau diélectrique d'un condensateur. Une exploration révèle qu'une sorte de condensateur se forme entre l'extrémité du fil et le sang, la peau jouant le rôle de diélectrique. Explorer le effet d'un plateau métallique connecté au bout du fil.

## 6.14 Photo-résistances

La résistance d'une photo-résistance diminue avec l'intensité de la lumière qu'elle reçoit. On peut mesurer cela à l'aide de l'entrée SEN.

### 6.14.1 Objectif

Étudier une photo-résistance (LDR). Mesurer l'intensité de la lumière et sa variation en fonction de la distance à la source.



### 6.14.2 Procédure

- Connecter la photo-résistance entre SEN et GND
- Connecter un fil entre SEN et A1
- Mesurer la résistance de la LDR, pour diverses intensités lumineuses.
- Éclairer la LDR à l'aide d'une lampe à fluorescence, A1 est censée afficher des fluctuations
- Régler la base de temps pour avoir 200ms à pleine échelle
- Placer A1 en mode alternatif à l'aide de l'interrupteur et mesurer la fréquence de l'oscillation

### 6.14.3 Discussion

La résistance varie de  $1\text{ k}\Omega$  à environ  $100\text{ k}\Omega$  selon l'intensité de la lumière qui l'éclaire. La tension est proportionnelle à la résistance (si le courant est constant). La résistance diminue quand l'éclairage augmente. Si on utilise une source de lumière ponctuelle, la résistance est censée augmenter comme le carré de la distance entre la photo-résistance et la source lumière.

La lumière d'une lampe fluorescence fonctionnant à  $50\text{ Hz}$  provoque des ondulations à  $100\text{ Hz}$ , et on peut les détecter.

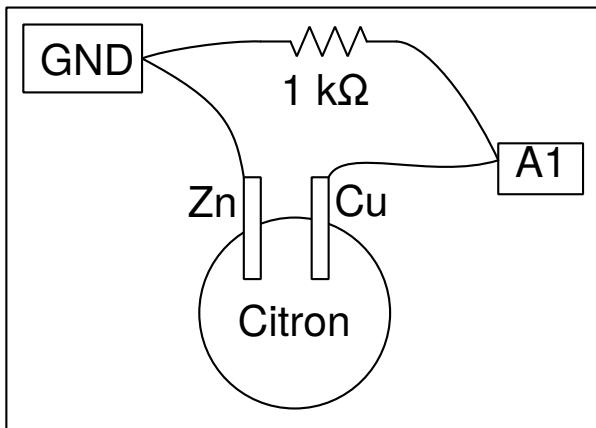
## 6.15 Tension d'une pile-citron

On forme une pile citron en insérant des plaques de zinc et cuivre dans un citron, ou en les plongeant dans n'importe quel acide dilué. La tension qui apparaît aux bornes de ces électrodes est petite et la pile a une grande résistance interne.

À cause de ça, la tension chute quand on connecte une résistance de charge.

### 6.15.1 Objectif

Créer une pile citron et explorer sa résistance interne.



### 6.15.2 Procédure

- Connecter les électrodes à A1 et GND
- Cliquer sur la case à cocher A1 pour afficher sa tension
- Connecter une résistance de  $1000\Omega$  entre les électrodes
- Mesurer à nouveau la tension, noter comme elle réduit.

### 6.15.3 Discussion

La tension entre le zinc et le cuivre est d'environ 0,9V. Quand on connecte la résistance, elle diminue à quelques 0,33V. Quand on connecte la pile, le courant commence à circuler à travers la résistance. Mais pourquoi la tension diminue-t-elle?

Quelle est la résistance interne de la pile?

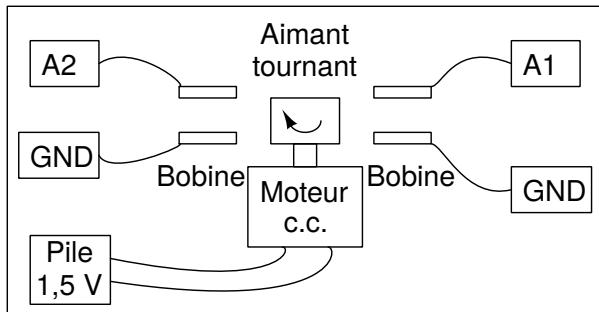
Le courant est le flux de charges et il doit faire le tour complet. Ce qui signifie que le courant doit traverser la pile aussi. Selon la résistance interne de la pile, une partie de la tension est perdue à l'intérieur même de la pile. Est-ce que la même chose se produit avec une pile du commerce neuve?

## 6.16 Un générateur alternatif simple

Quand un conducteur est placé dans un champ magnétique variable, une tension y est induite. On peut le démontrer en réalisant un générateur de courant alternatif simple. On utilise un aimant de 10mm x 10mm et la bobine de 3000 turns fournis dans le kit.

### 6.16.1 Objectif

Mesurer la fréquence et l'amplitude d'une tension induite aux bornes d'un bobinage par un aimant en rotation. On peut utiliser plusieurs bobines pour créer plusieurs phases de tension alternative.



### 6.16.2 Procédure

- Fixer laimant couché sur laxe du moteur et alimenter ce moteur avec une pile de 1,5V
- Activer A1 et A2, avec option d'analyse
- Régler la base de temps sur 100ms pleine échelle
- Approcher le bobinage de laimant (sans le toucher), et observer la tension induite
- Recommencer l'expérience avec deux bobinages.

### 6.16.3 Discussion

La tension obtenue est affichée dans la figure. La différence de phase entre les deux signaux dépend de l'angle entre les axes des deux bobinages.

Approcher un bobinage court-circuité près de laimant et observer le changement de fréquence. Le bobinage court-circuité prend de l'énergie du générateur et la vitesse en est diminuée. Le champ magnétique dans ce générateur est très faible. La résistance de la bobine est très élevée, et si on veut en retirer du courant, la tension à ses bornes décroît facilement.

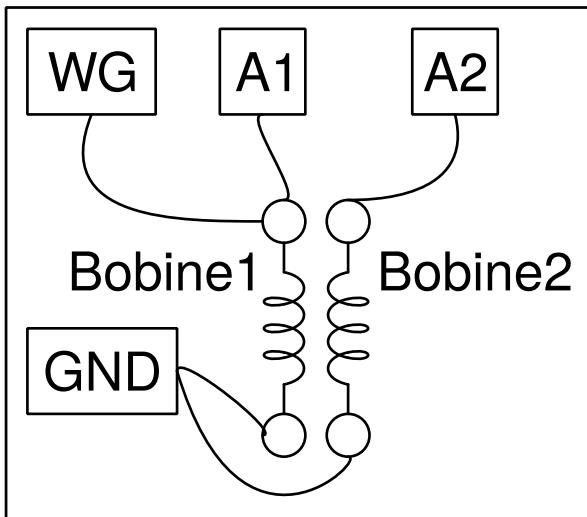
## 6.17 Transformateur de courant alternatif

On crée un champ magnétique variable à l'aide d'un circuit alimenté en courant alternatif. Une tension est induite dans une autre circuit placé dans ce champ. C'est le principe de fonctionnement d'un transformateur, qu'on peut démontrer à l'aide des bobines fournies dans le kit.

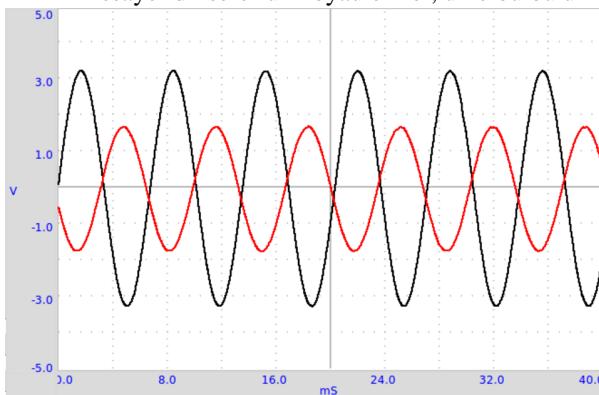
### 6.17.1 Objectif

Construire un transformateur pour démontrer l'induction mutuelle entre deux bobinages. Un des bobinages, le primaire, est connecté entre WD et GND. On aligne les axes des deux bobinages et on insère un noyau de ferromagnétique pour un meilleur couplage.

### 6.17.2 Procédure



- Faire les connections comme montré sur la figure
- Activer A1 et A2
- Régler WG à 1000 Hz
- Approcher les bobinages l'un de l'autre et observer la tension en A2.
- Essayer d'insérer un noyau en fer, un clou ou un tournevis peuvent faire laffaire.



### 6.17.3 Discussion

Le signal appliqué et le signal induit sont présentés sur la figure. Un champ magnétique oscillant est la cause de la tension induite. Dans les deux expériences précédentes, le champ magnétique oscillant était créé par le mouvement d'aimants permanents. Dans le cas présent, il est créé par un courant variable dans le temps.

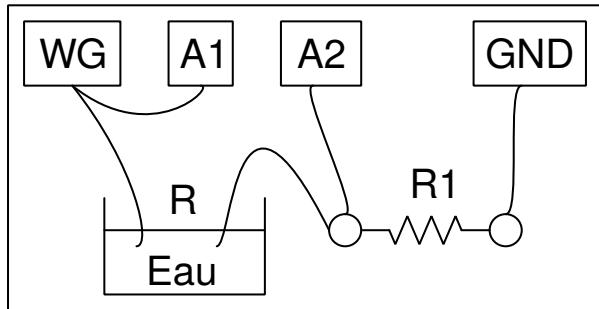
Essayer de faire cette expérience avec un signal carré. Connecter une résistance de  $1\text{ k}\Omega$  aux bornes du bobinage secondaire pour réduire les oscillations de résonance.

## 6.18 Résistance de l'eau, en courant alternatif

La résistance de l'eau donne une indication sur sa pureté. L'eau conduit principalement à cause des sels dissous. Si vous n'avez jamais mesuré la résistance de l'eau ordinaire du robinet, essayez de la faire à l'aide d'un multimètre. Obtenez-vous une lecture stable ?

### 6.18.1 Objectif

Mesurer la résistance de solutions ioniques, en utilisant des signaux continu et alternatif. On utilise de l'eau ordinaire du robinet.

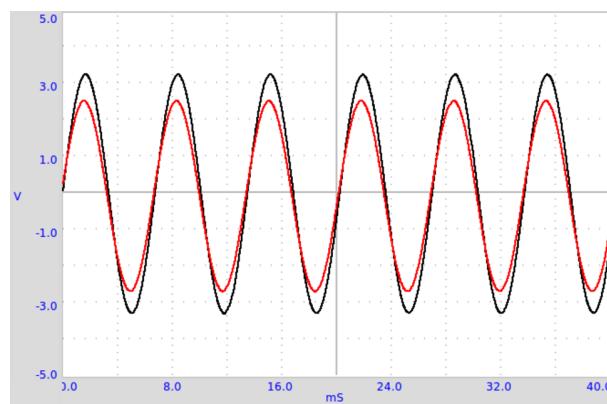


### 6.18.2 Procédure

- Faire les connexions selon le schéma
- Choisir une résistance comparable à celle de l'eau, commencer avec  $10\text{ k}\Omega$ .
- Activer A1 et A2, et affichage de leurs amplitudes et fréquences.

Calculer la résistance à l'aide de la méthode de comparaison à une résistance connue. Le courant qui passe vaut  $I = \frac{U_{A2}}{R_1}$ .

La résistance de l'eau vaut  $R_w = \frac{U_{A1}-U_{A2}}{I} = \frac{U_{A1}-U_{A2}}{U_{A2}} \times R_1$ .



### 6.18.3 Discussion

On peut recommencer l'expérience en utilisant la tension continue de PV1. Utiliser les affichages continus de A1 et A2 dans ce cas. En courant continu, la résistance du liquide semble changer avec le temps, alors qu'en courant alternatif la valeur est stable. Quand on travaille avec une tasse et les deux fils qui trempe dedans par leurs extrémités, la résistance dépend peu de la distance entre les extrémités. C'est la taille des électrodes qui a le plus d'effet. Pour déterminer la résistivité de l'eau, il faudrait réaliser une colonne d'eau dans un tube, avec des électrodes planes aux extrémités.

La résistance dépend de la concentration des ions et de la présence d'impuretés dans l'eau utilisée. Essayer d'ajouter un peu de sel de cuisine et de recommencer les mesures.

Pourquoi le comportement est-il différent en continu et en alternatif? Quels sont les porteurs de charge responsables du passage du courant dans la solution? Y a-t-il des réactions chimiques qui sont provoquées par le courant?

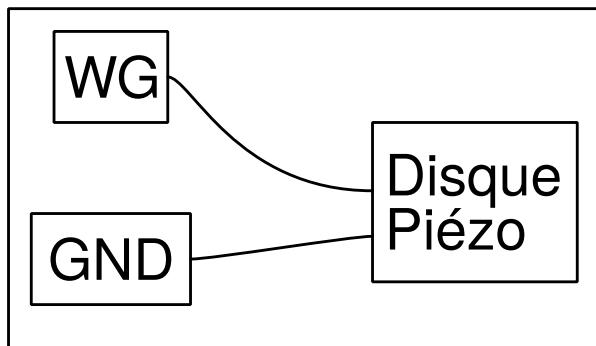
## 6.19 Générer un son

On peut convertir des signaux électriques en sons à l'aide de hauts-parleurs, de buzzers piézo, etc. On utilise un buzzer parce que les hauts-parleurs disponibles ont une impédance faible et demandent plus de courant.

### 6.19.1 Objectif

Générer un son avec des signaux électriques, à l'aide d'un buzzer piézo-électrique.

### 6.19.2 Procédure



- Activer A1, et son analyse
- Régler WG à 1000 Hz, puis changer la fréquence à l'aide du curseur et écouter le son

### 6.19.3 Discussion

Quand on change la fréquence du signal qui excite le piézo, la fréquence et l'intensité du son changent toutes les deux. L'intensité est maximale près de 3500 Hz, à cause de la résonance. La fréquence de résonance d'un buzzer piézo dépend de sa taille et de ses propriétés mécaniques.

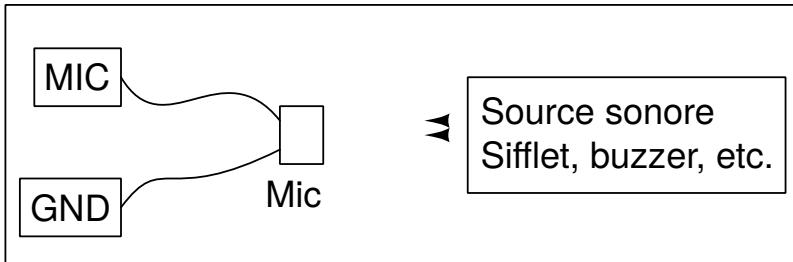
## 6.20 Numériser un son

Les ondes sonores créent des variations de pression dans le milieu qu'elles traversent. Le microphone génère une tension proportionnelle à la variation de pression. On peut considérer le microphone comme un capteur de pression, mais qui fonctionne seulement pour les pressions variables dans le temps.

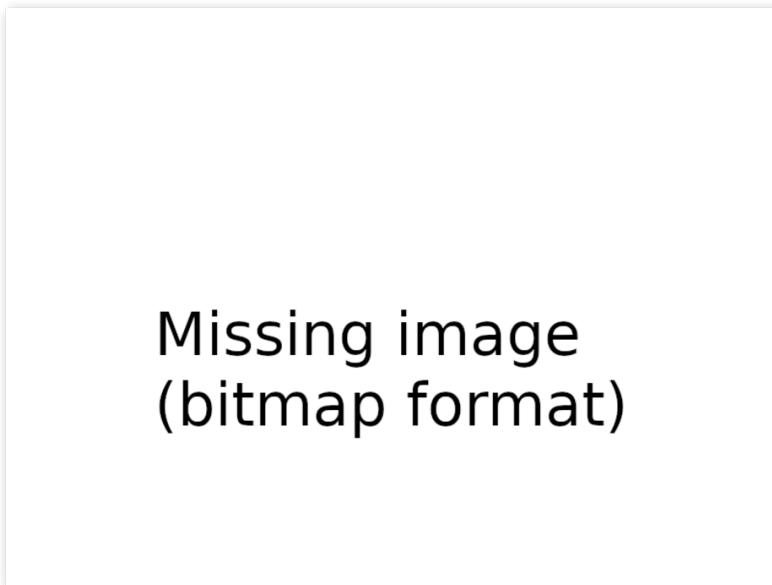
### 6.20.1 Objectif

Numériser des signaux sonores d'un microphone, et mesurer leur fréquence. Utiliser le buzzer piézo ou toute autre source sonore comme un diapason.

### 6.20.2 Procédure



- Activer MIC, ainsi que l'analyse de son amplitude et sa fréquence
  - Positionner le microphone face au buzzer
  - Régler WG à 1000 Hz, puis le modifier et observer la sortie MIC
  - Utiliser un siffler à la place du buzzer
  - Cliquer sur la Transformation de Fourier (FFT) pendant que le signal est stationnaire pour l'analyser.
- Le signal du microphone est montré ci-dessous.



### 6.20.3 Discussion

La possibilité de capter un son et de mesurer sa fréquence permet de nombreuses expériences. Créer des sons en soufflant sur des tubes fermés peut être utilisé pour mesurer la vitesse du son dans l'air.

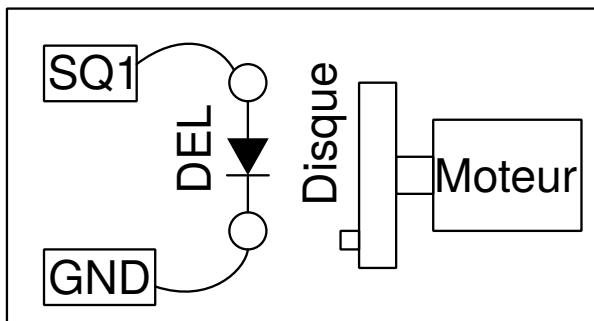
## 6.21 Stroboscope

Un stroboscope est un instrument qui sert à faire apparaître un objet en mouvement cyclique à l'arrêt, ou en mouvement ralenti. Il consiste en une source de lumière capable de produire des flashes répétitifs et brefs. Si un objet tournant à une certaine fréquence est illuminé par un flash à la même fréquence, il ne devient visible que quand il repasse à une position particulière. Cela donne l'impression qu'il est à l'arrêt. Si les deux fréquences sont légèrement différentes, l'objet apparaît en mouvement au ralenti.

### 6.21.1 Objectif

Observation dun phénomène périodique à laide de lumière pulsée périodiquement, à laide dun disque portant une marque.

### 6.21.2 Procédure



- On fait tourner un disque à laide du moteur alimenté par une pile de 1,5 V.
- Connecter une DEL à SQ1
- Régler le rapport cyclique de SQ1 à 20% ou moins
- Ajuster la fréquence de SQ1, pour que le disque apparaisse stationnaire
- On doit travailler dans une zone sombre, et éclairer le disque seulement par la lumière de la DEL, il ne devrait pas y avoir d'autre source lumineuse.

### 6.21.3 Discussion

Quand la fréquence du phénomène observé et la fréquence de la lumière pulsée sont identiques, on peu observer une image statique.

Quarrive-t-il quand on augmente ou quon diminue un petit peu la fréquence de la lumière?

Quarrive-t-il quand la fréquence de la lumière pulsée est le double de celle du phénomène? et quand elle est la moitié?



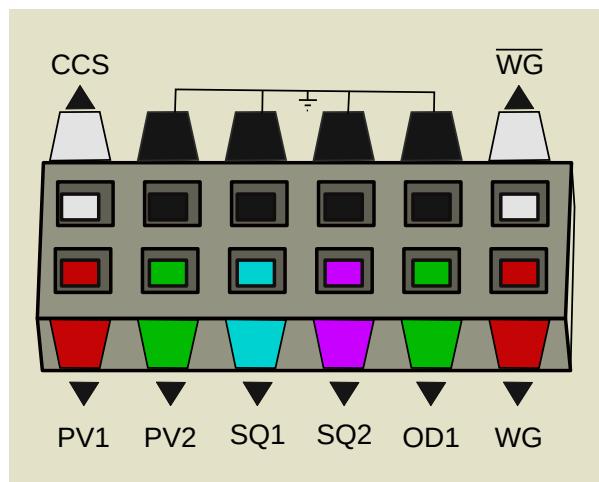
# CHAPITRE 7

## Expériences délectronique

Ce chapitre explique plusieurs expériences délectronique. La plupart dentre elles sont faites avec linterface utilisateur oscilloscope. Certaines dentre elles comme les caractéristiques dune diode ou dun transistor ont leur interface utilisateur dédiée.

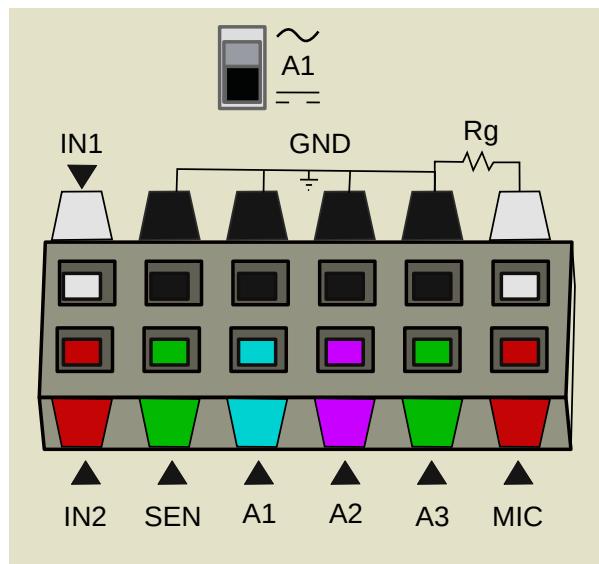
### 7.1 Oscilloscope à quatre canaux, et plus

La première chose qui apparaît quand on ouvre le programme avec linterface graphique dexpEYES, cest une fenêtre doscilloscope. Les graphiques de quatre canaux doscilloscope apparaissent à gauche. À droite il y des boutons, des curseurs, etc. pour contrôler loscilloscope et la plupart des spécificités matérielles dexpEYES, comme les sorties en courant continu, les générateurs de signaux, etc. Pour comprendre ExpEYES, il faut commencer avec les bornes dEntrée/Sortie et leurs fonctions, comme expliqué ci-dessous.



### 7.1.1 Branchements de sortie

- **CCS** : source courant constant de  $1.1\text{ mA}$ . Si on y connecte une résistance vers GND, un courant de  $1.1\text{ mA}$  y circulera quelle que soit la valeur de la résistance. La plus grande valeur de résistance qui permet cela est  $2k\Omega$ . On lactive et on la désactive à laide du bouton à cocher CCS.
- **PV1 et PV2** : Tensions programmables. Les sorties de ces bornes sont réglables dans dans lintervalle  $\pm 5\text{ V}$  par logiciel. On peut vérifier la tension en connectant un voltmètre entre la borne et GND. Dans le cas de PV2, la tension de sortie peut varier dans lintervalle  $-3,3\text{ V}$  à  $+3,3\text{ V}$ . Les tensions se règlent depuis linterface graphique, à laide de curseurs ou de champs de saisie texte.
- **SQ1** : Générateur de signal carré. Cette borne peut générer un signal carré variant entre  $0$  et  $5\text{ V}$ . La fréquence est réglable de  $1\text{ Hz}$  à  $5\text{ kHz}$ , mais on peut la programmer pour générer des fréquences de  $0,1\text{ Hz}$  à  $1\text{ MHz}$ . La sortie SQ1 a une résistance série de  $100\Omega$  si bien quon peut y connecter directement une DEL.
- **SQ2** : Générateur de signal carré. SQ2 est disponible comme une option de WG, ce qui signifie quune seule des deux peut être active en même temps. SQ2 ne dispose pas de résistance en série.
- **OD1** : Sortie numérique. La tension de cette borne peut être réglée soit à  $0$  soit à  $5\text{ V}$ . On peut changer létat le niveau de tension de OD1 à laide de la case à cocher dans linterface graphique.
- **WG** : Générateur de basse fréquence. Cette borne est une générateur de signal de forme arbitraire. La fréquence est entre  $5\text{ Hz}$  et  $5\text{ kHz}$ . On peut régler lamplitude à  $3\text{ V}$ ,  $1\text{ V}$  ou  $80\text{ mV}$ . Le signal peut être sinusoïdal, triangulaire ou carré. En mode signal carré, la sortie est sur SQ2, avec une excursion de  $0$  à  $5\text{ V}$ .
- $\bar{W}G$  : cest juste la sortie de WG inversée.



### 7.1.2 Branchements dentrée

- **IN1** : Entrée pour mesurer la capacité dun condensateur. Cest un capacimètre intégré. En connectant un condensateur entre IN1 et GND, on peut mesurer des capacités entre quelques pF et plusieurs fF. Un bouton-poussoir permet de lancer la mesure.
- **IN2** : Fréquencemètre pour des signaux numériques. Cette entrée permet de mesurer la fréquence et le rapport cyclique de signaux numériques, qui varient entre  $0$  et  $3$  à  $5\text{ V}$ . On dispose dun bouton-poussoir pour déclencher une mesure.
- **SEN** : Entrée pour mesurer la résistance. Ce point est rappelé en interne à  $3.3\text{ V}$  via une résistance de  $5.1\text{ k}\Omega$ . La valeur de la résistance externe connectée là est déterminée par la loi dOhm. On utilise cette borne principalement pour connecter des capteurs résistifs comme des photo-transistors, pour des mesures dintervalle de temps.
- **A1 et A2** : Entrée de mesure de tension. Elle fonctionne comme voltmètre ou comme oscilloscope. Le calibre

maximal est  $\pm 16 V$ , on choisit le calibre depuis un menu déroulant. On peut choisir le mode de couplage continu/alternatif à laide dun contact à glissière sur le boîtier. Le calibre peut être sélectionné par un menu déroulant. A2 est comme A1, mais il ny a pas de mode couplé en alternatif.

- **A3** : Entrée de mesure de tension. Cette entrée a un calibre de  $\pm 3.3 V$ . On peut amplifier les signaux faibles reliés à A3, en connectant une résistance entre Rg et GND. Cela aide à mesurer des signaux très faibles.
- **MIC** : Entrée pour microphone. On peut y connecter directement un microphone à condensateur. Son signal apparaît comme le canal quatre de loscilloscope.
- **Rg** : Résistance de gain pour A3. Le gain vaut  $Gain = 1 + \frac{R_g}{100}$ . Par exemple, si on connecte une résistance de  $1 k\Omega$  on obtient un gain de 11.
- **Interface I2C** : On peut connecter des circuits standard I2C à ce port. On trouve sur la marché un choix très large de capteurs de température, pression, vitesse, accélération, champ magnétique, etc. ExpEYES en support plusieurs directement depuis linterface graphique.

### 7.1.3 L'Interface utilisateur graphique



La barre de menus de linterface graphique utilisateur consiste en plusieurs menus déroulants pour diverses catégories dexpériences.

La partie gauche de lécran est la fenêtre de loscilloscope quatre voies. Dans la partie droite, il y a des boutons, des curseurs et des zones de texte pour les accès au matériel comme expliqué plus haut.

### 7.1.4 Les contrôles de l'oscilloscope

- **Sélection des canaux** Les quatre canaux A1, A2, A3 et MIC peuvent être sélectionnés pour l'affichage à l'aide de cases à cocher dans la moitié du bas de la partie droite.
- **Choix des calibres** Des menus déroulants sont disponibles pour chaque canal afin de choisir le calibre. A1 et A2 ont un calibre maximal de  $\pm 16\text{ V}$ .
- **Amplitude et fréquence** Des cases à cocher à droite de chaque sélection de calibre permettent d'activer la modélisation mathématique des données capturées à l'aide d'une fonction *sinus*. La amplitude et la fréquence calculées sont affichées.
- **Le curseur de la base de temps** Le curseur de la base de temps permet de régler la durée de l'axe des X. La durée maximale peut être ajustée de 1ms à 500ms.
- **Les contrôles de synchronisation** Un oscilloscope à mémoire numérise et capture périodiquement le signal entrée pendant une certaine durée et affiche le résultat. Afin d'obtenir une trace stable, la valeur et la pente du signal entrée au début de chaque capture devraient être les mêmes. Ces valeurs de départ sont réglées par le réglage du niveau de synchronisation.
- **Enregistrement des données** Les données des traces peuvent être enregistrées dans un fichier au format texte. La date et les valeurs de tension de chaque trace seront écrites dans un fichier.
- **Le curseur** On peut activer un curseur vertical afin de visualiser les valeurs instantanées de chaque canal à la position du curseur selon la date.
- **L'option A1 – A2** Cette option dessine une trace qui représente la différence des signaux A1 et A2.
- **La transformée de Fourier** La transformée de Fourier permet de convertir les données du domaine temporel en domaine fréquentiel. Les amplitudes des composantes fréquentielles sont affichées. On peut observer la valeur de la fréquence fondamentale.

### 7.1.5 Les autres contrôles et afficheurs

- En haut de la partie droite il y a des cases à cocher étiquetées A1, A2 et A3. Quand on les coche, cela affiche les valeurs instantanées des entrées A1, A2 et A3. Ces valeurs ne sont utiles que pour la mesure de tensions continues.
- La valeur de la résistance connectée entre **SEN** et **GND** est présentée sous les affichages des tensions continues.
- Juste à côté se trouve un bouton pour mesurer la capacité connectée entre **IN1** et **GND**.
- On trouve un bouton pour mesurer la fréquence des signaux numériques connectés à **IN2**. Ce signal doit osciller entre zéro et 5V.
- Deux cases à cocher sont fournies pour régler l'état de **OD1** et **CSS**.
- Un menu déroulant permet de sélectionner la forme du signal **WG**. Quand on sélectionne **SQR**, le signal de sortie devient disponible sur **SQR2**. Il y a aussi un menu pour choisir l'amplitude de la sortie **WG**. Les valeurs permises sont 3V, 1V et 80mV.
- Il y a quatre curseurs verticaux tout à gauche de l'interface graphique. On peut les utiliser afin de décaler verticalement les traces. Ça peut être utile dans des expériences comme l'étude des portes logiques.

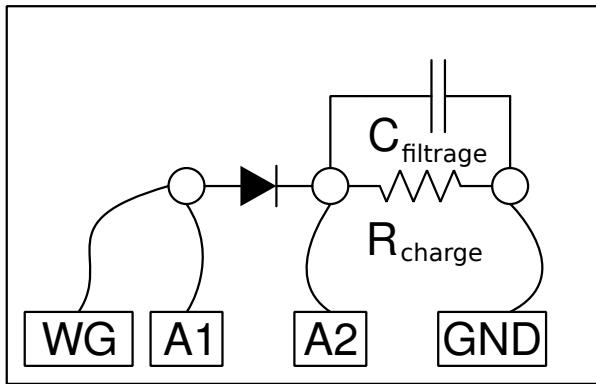
## 7.2 Redressement demi-onde à l'aide d'une jonction PN

Une jonction PN ne conduit le courant que dans un seul sens. Seulement la moitié d'un signal alternatif pur peut traverser une jonction PN. On utilise largement ce dispositif pour redresser du courant alternatif en continu.

### 7.2.1 Objectif

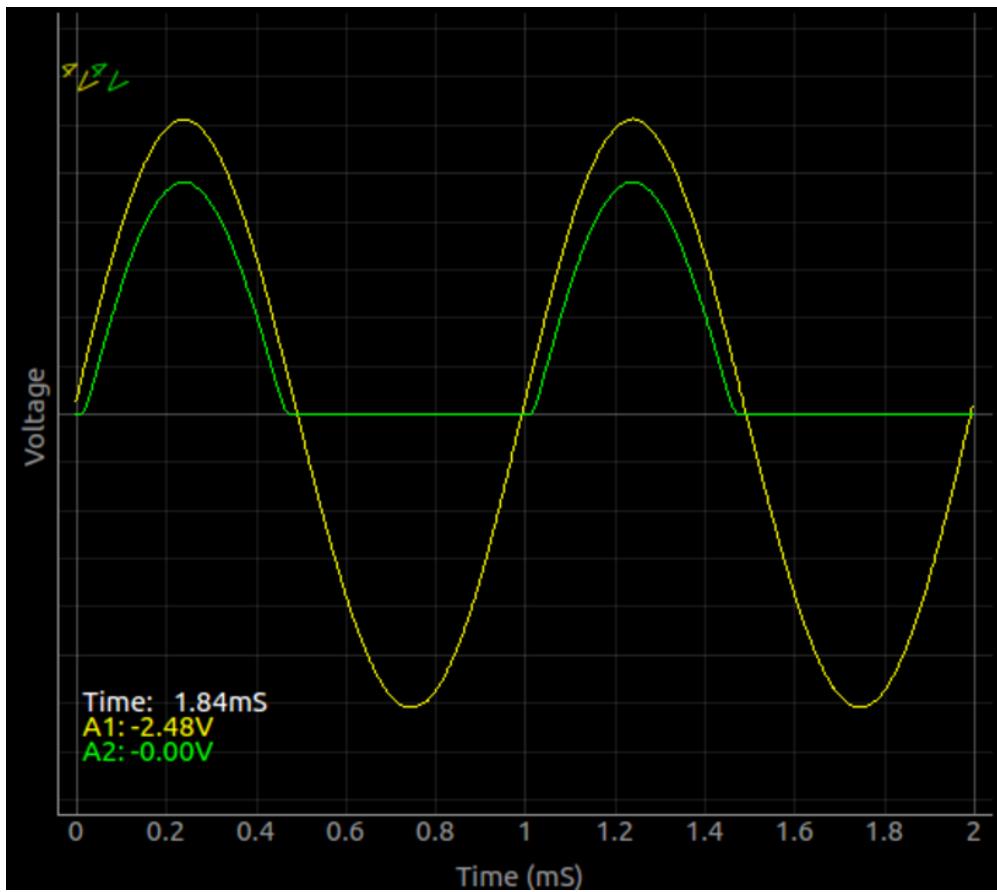
Étudier le fonctionnement d'une diode à jonction PN comme redresseur. On utilise une diode 1N4148 ou 1N4003. Filtrage RC pour réduire les variations de tension (la composante alternative).

### 7.2.2 Procédure



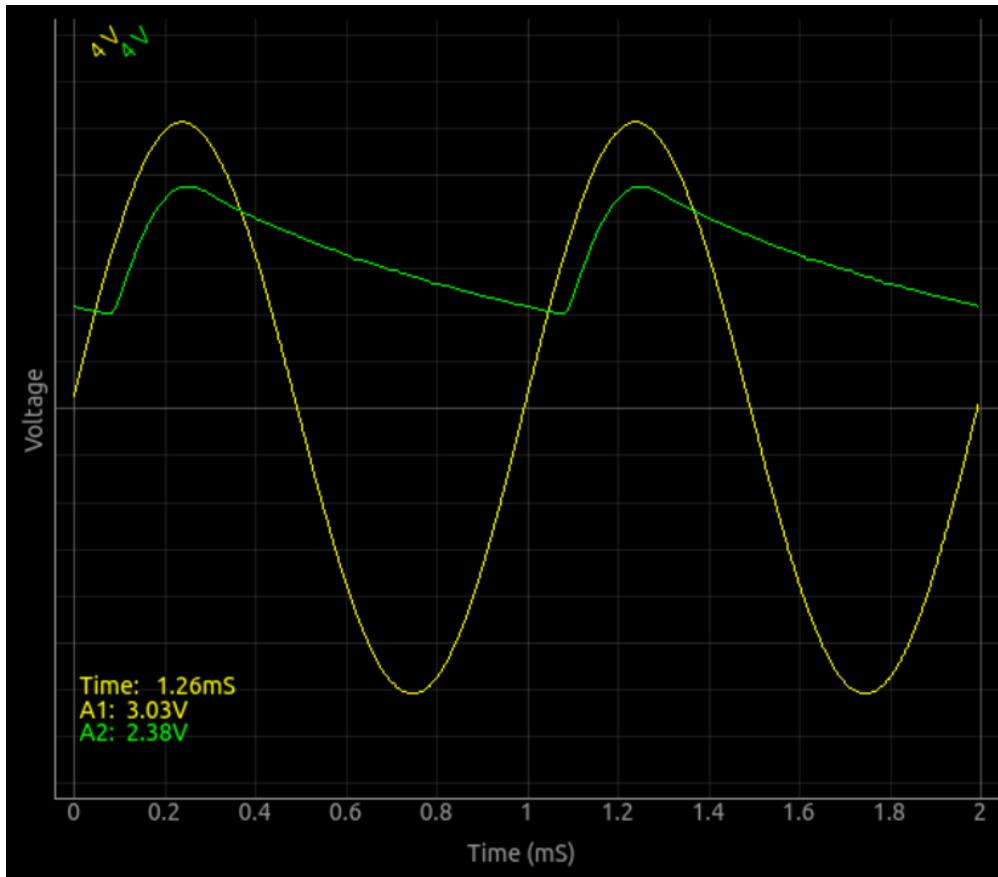
- Placer la diode sur une plaque de montage;
- Faire les connections et observer le résultat;
- Connecter une résistance de charge de  $1\ k\Omega$ , noter la variation de l'amplitude.

La courbe est montrée ci-dessous.



- Connecter un condensateur de  $1\ \mu F$ , et voir l'effet de filtrage;
- Essayer diverses valeurs de résistances de charge et de condensateurs de filtrage.

Voici, ci-dessous, l'effet du filtre RC.



- Faire les connexions et observer les sorties
- Connecter une résistance de charge de  $1\text{ k}\Omega$ , noter le changement d'amplitude
- Connecter un condensateur de  $1\mu\text{F}$ , et observer l'effet de filtrage.
- Essayer plusieurs valeurs de résistances de charge et de condensateurs de filtrage.

### 7.2.3 Discussion

La partie négative est ôtée par la diode comme montré sur la figure. Le signal de sortie est un peu bruité; noter aussi que la tension est diminuée de quelques  $0.7\text{ V}$  dans la moitié positive, c'est la chute de tension aux bornes de la diode silicium, quand le courant y passe. Une résistance de charge est nécessaire pour que le circuit fonctionne correctement, on peut utiliser plus de  $1\text{ k}\Omega$ , mais NE PAS utiliser de valeurs plus faibles, comme la source courant alternatif ne peut pas fournir un courant de plus de  $5\text{ mA}$ .

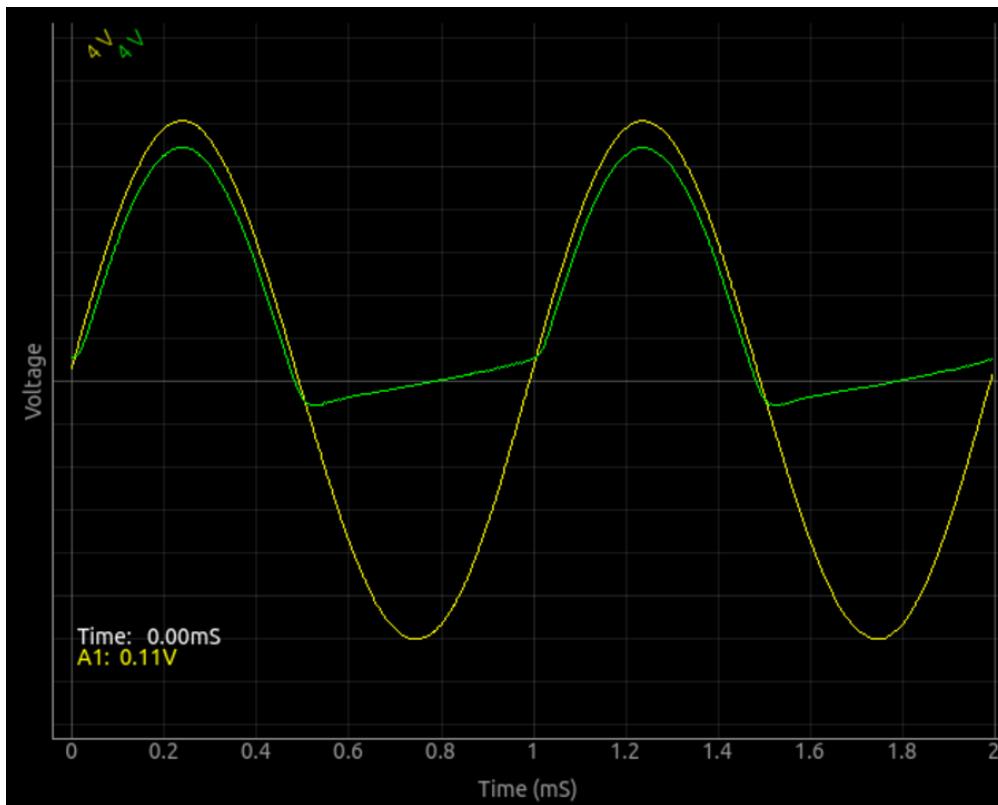
On peut voir que le condensateur se charge puis qu'il maintient la tension pendant la partie manquante du cycle. La composante alternative résiduelle se nomme l'ondulation de la tension continue.

Peut-on utiliser des condensateurs de grande capacité pour réduire cette ondulation?

Durant quelle partie du cycle le courant traverse-t-il la diode?

Qu'est ce qui conditionne la valeur du courant crête?

Si on utilise une diode 1N400x sans résistance de charge, une tension apparaît dans la sortie même durant l'alternance négative. Cela disparaît quand on branche une résistance de charge. Ce type d'élément parasite, tel que la capacité d'une jonction PN, est plus faible pour une diode 1N4148; pourquoi?

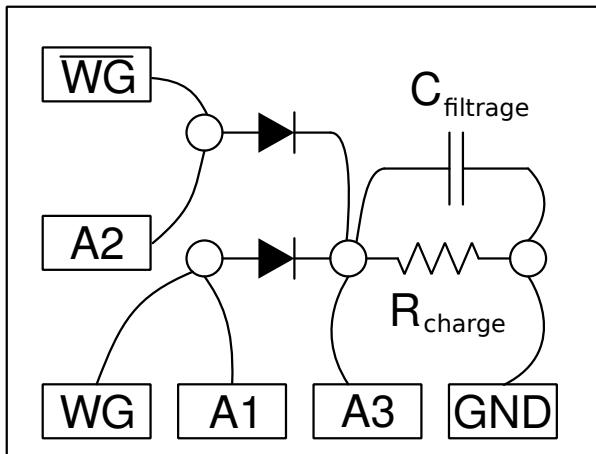


## 7.3 Redressement double alternance avec des jonctions PN

Un redresseur simple alternance dépend de la capacité de filtrage sur une longue durée pour fournir le courant continu. Cela provoque une forte ondulation et convient mal pour les courants élevés. Un redresseur double alternance résout ce problème en fournissant du courant tant durant l'alternance positive que durant la négative. Cependant, il nécessite de disposer de deux phases de tension alternative en entrée, fournies le plus souvent par un transformateur avec point milieu.

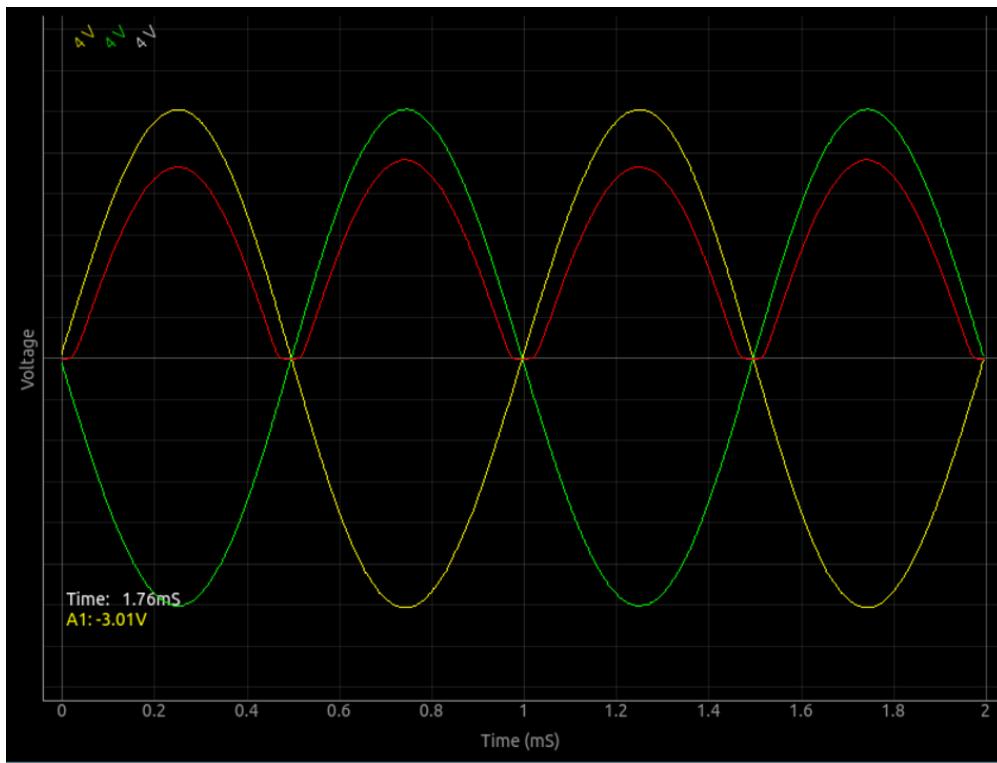
### 7.3.1 Objectif

Réaliser un redresseur double alternance, à l'aide de deux diodes. Il faut deux signaux alternatifs, déphasés de 180 degrés. Ceux-ci sont fournis par WG et  $\bar{W}G$ .



### 7.3.2 Procédure

- Faire les connexions sur la plaque de montage
- Activer A1, A2 et A3
- Régler WG à 1000Hz et ajuster la base de temps pour voir 4 ou 5 cycles.



### 7.3.3 Discussion

On laisse comme exercice à l'utilisateur de réduire l'ondulation de tension à l'aide d'un condensateur. Cette expérience est seulement là pour montrer le fonctionnement d'une redressement double alternance, il ne peut pas produire beaucoup plus que quelques milliampères de courant.

En quoi un redressement double alternance est-il supérieur à un redressement simple alternance?

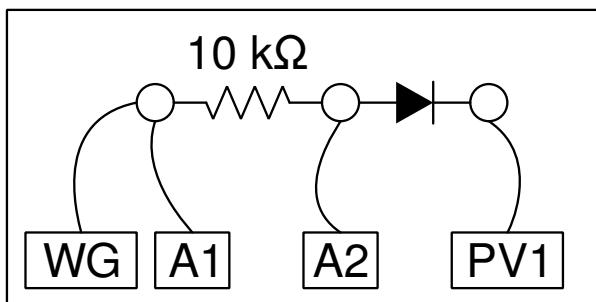
## 7.4 Écrêtage à laide dune diode à jonction PN

Un diode à jonction PN conduit le courant quand le potentiel de lanode dépasse le potentiel de la cathode dune valeur supérieure au seuil de tension de la diode. On peut amener une tension alternative à lanode à travers une résistance et écrêter une part de celle-ci en connectant la cathode à une source de tension.

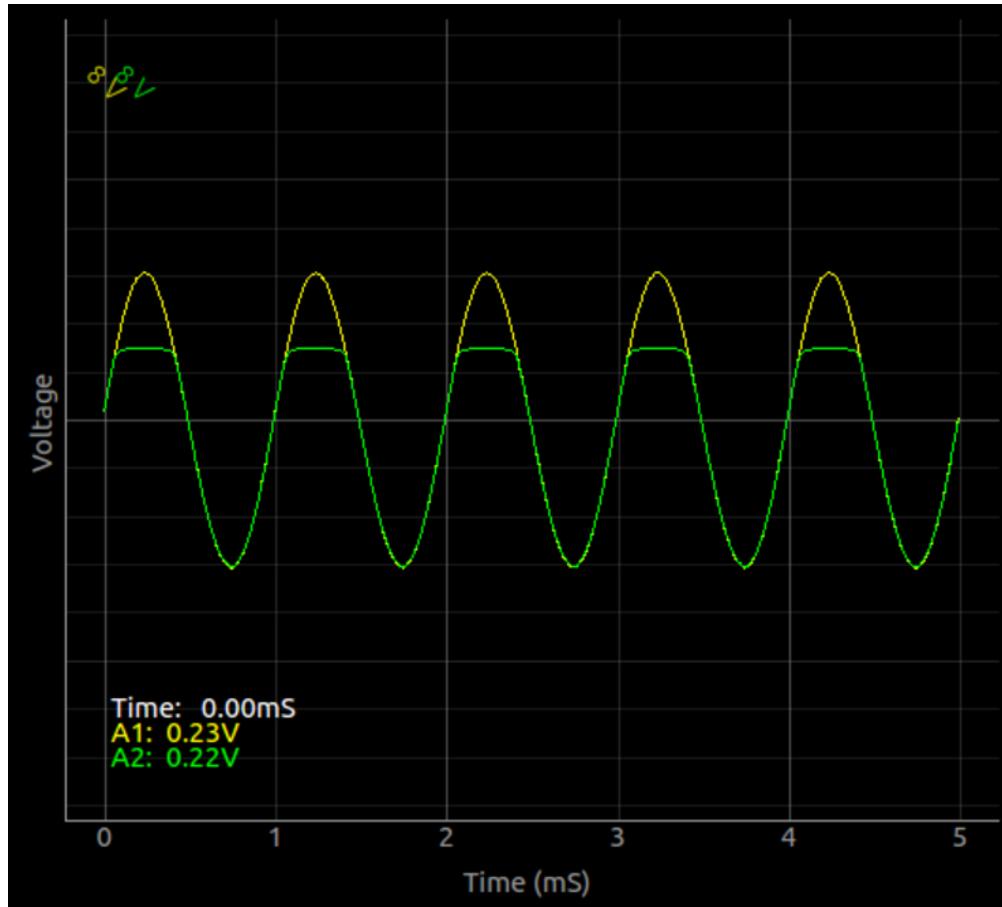
### 7.4.1 Objectif

Démontrer l'écrêtage d'un signal alternatif à différents niveaux, à laide d'une diode à jonction PN.

### 7.4.2 Procédure



- Faire les connexions sur la plaque de montage comme montré sur la figure;
- régler WG à 1000Hz;
- Changer PV1 et observer le changement de niveau décrêtage;
- Renverser le sens de la diode pour écrêter de l'autre côté.



### 7.4.3 Discussion

Le niveau décrêtage est conditionné par la tension continue appliquée et par la chute de tension de la diode.

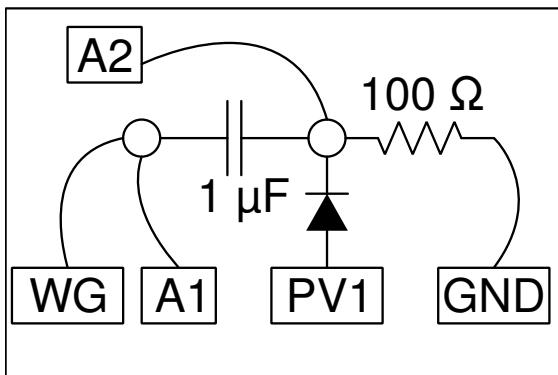
## 7.5 Décalage à laide dun diode à jonction PN

On peut additionner un signal continu à un signal alternatif à laide dune diode.

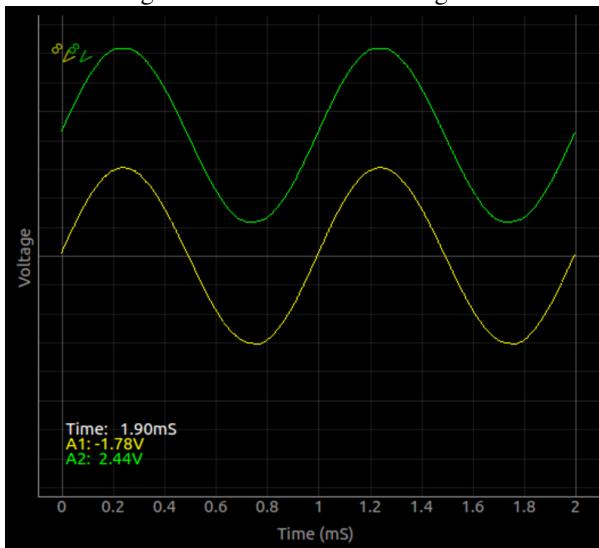
### 7.5.1 Objectif

Démontrer le décalage dun signal alternatif à différents niveaux, à laide dune diode à jonction PN

### 7.5.2 Procédure



- Faire les connexions selon le schéma;
- Régler WG à 1000Hz;
- On peut omettre la résistance de charge, si celle-ci distord le signal de sortie;
- Changer PV1 et observer le changement dans les sorties



### 7.5.3 Discussion

Le niveau de décalage est conditionné par la tension continue appliquée et par la chute de tension de la diode.

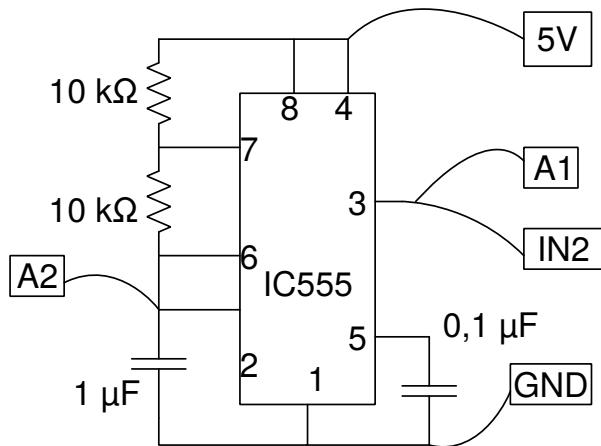
## 7.6 Oscillateur à IC555

Le circuit IC555 est un circuit *timer* très populaire. On peut le configurer comme multivibrateur astable ou monostable. Les valeurs de la fréquence et le rapport cyclique peuvent être réglés par le choix de deux résistances et d'un condensateur.

### 7.6.1 Objectif

Câbler un circuit de multivibrateur astable à laide dun IC555, mesurer la fréquence et le rapport cyclique de la sortie.

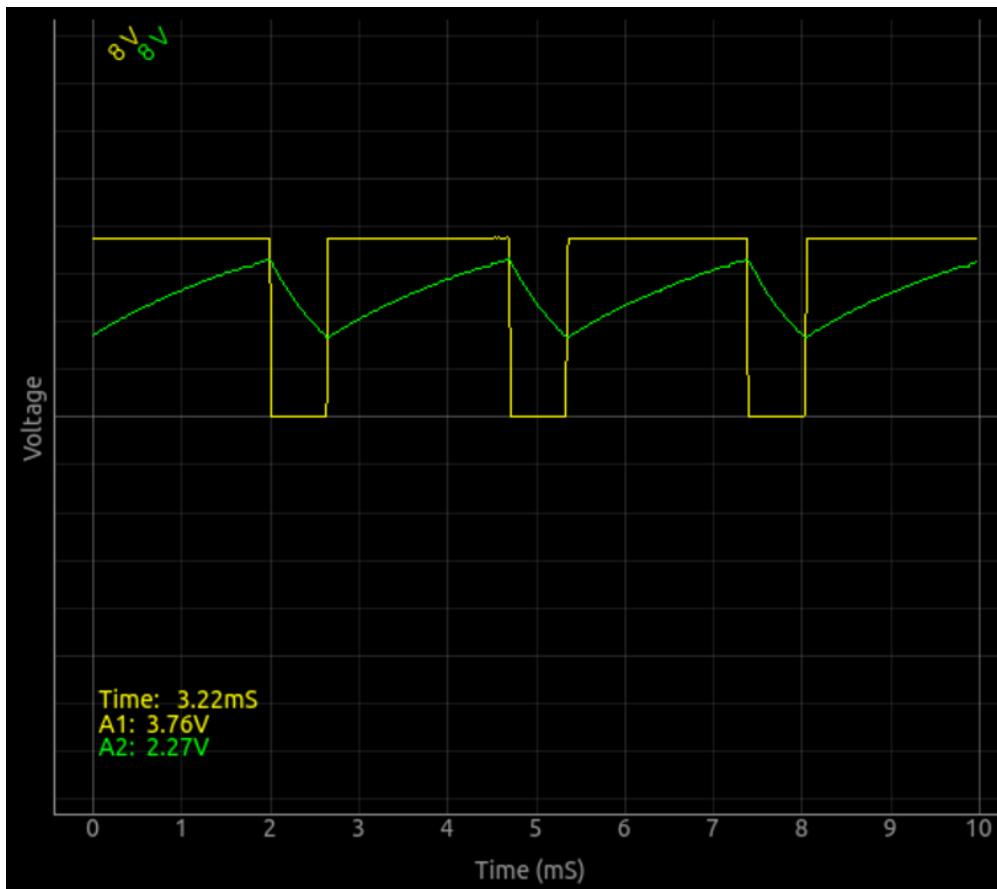
## 7.6.2 Procédure



- Faire les connexions
- mesurer la fréquence et le rapport cyclique.
- Recommencer en changeant les valeurs de R1.

La courbe obtenue est représentée ci-dessous. La fréquence et le rapport cyclique peuvent être calculées à l'aide des équations suivantes et comparées aux mesures.

Les durées des tensions haute et basse sont:  $T_1 = 0.693(R_1 + R_2)C$  et  $T_2 = 0.693R_2C$ . La fréquence vaut  $f = \frac{1}{(T_1+T_2)}$  et le rapport cyclique vaut  $= \frac{T_1}{(T_1+T_2)}$



### 7.6.3 Discussion

Le signal de sortie est montré sur la figure. Changer la valeur des résistances et du condensateur, puis comparer la fréquence et le rapport cyclique avec les valeurs calculées. On peut utiliser des résistances variables pour modifier la fréquence et le rapport cyclique.

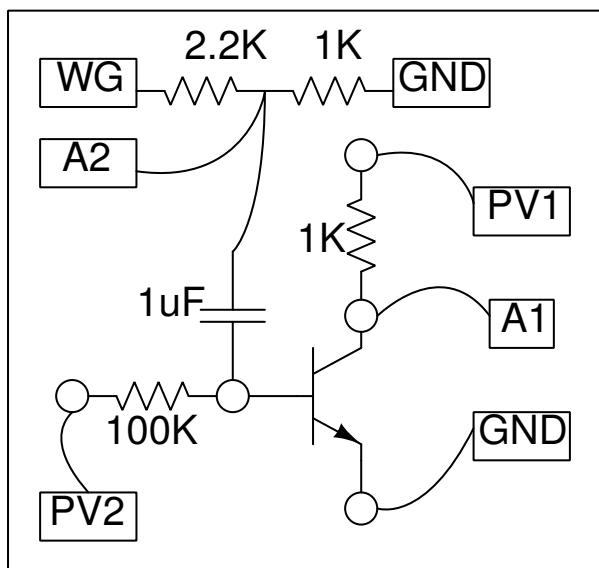
## 7.7 Amplificateur à transistor (EC)

On peut modifier l'expérience de tracé des caractéristiques d'un transistor pour la changer en montage amplificateur à émetteur commun. Tout ce qu'il faut faire, c'est de créer un réseau diviseur de tension pour réduire l'amplitude de WG à moins de 80mV. On connecte ce signal réduit à la base à travers un condensateur de  $1\mu F$ .

### 7.7.1 Objectif

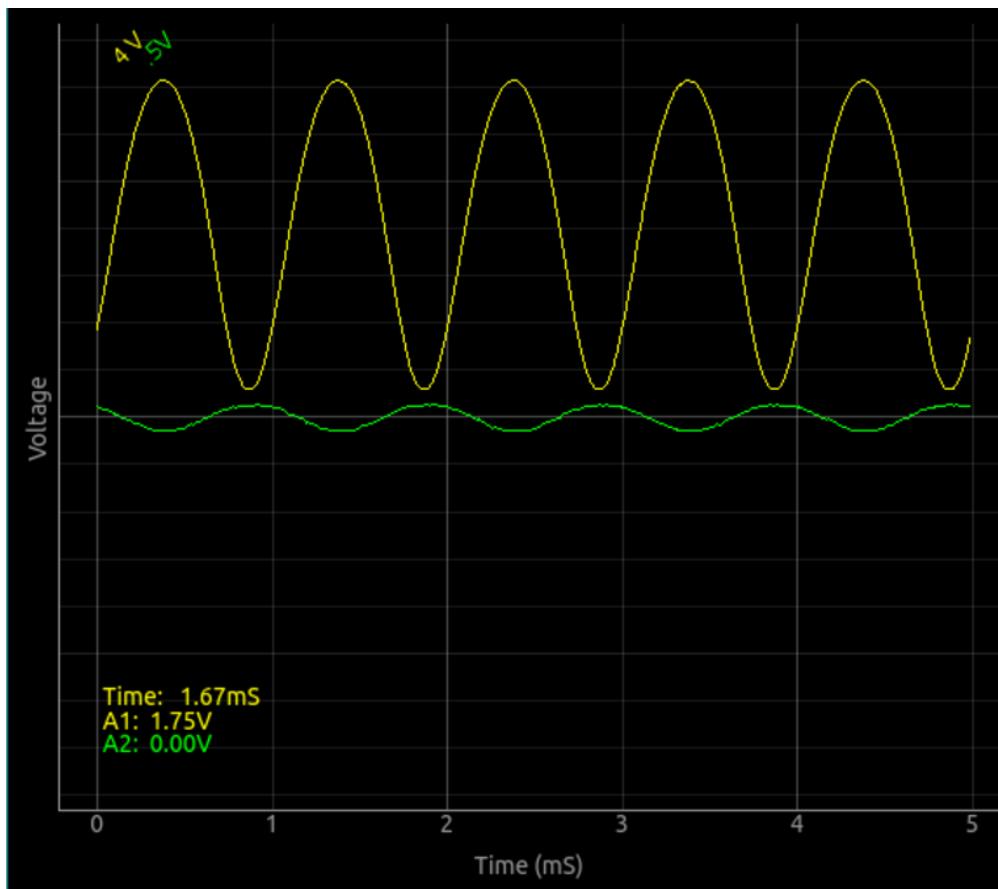
Démontrer l'action amplificatrice d'un transistor NPN dans la configuration émetteur commun.

### 7.7.2 Procédure



- Placer le transistor sur la plaque de montage et réaliser les connections selon le schéma;
- Régler la tension de la base à 1.2V et DÉMARRER;
- Régler l'amplitude de WG à 80mV;
- Activer A1 et A2;
- Utiliser le curseur pour changer la tension de la base et observer le décalage du point de fonctionnement.

Le résultat est monté ci-dessous. On peut voir que les signaux d'entrée et de sortie sont déphasés de 180 degrés.



### 7.7.3 Discussion

Le courant de la base est fixé grâce à la source de tension PV2, à travers une résistance de  $100\text{ k}\Omega$ . Cela fixe le point de fonctionnement en courant continu du système. Réglez-le afin d'obtenir le moins de distorsion possible dans le signal de sortie.

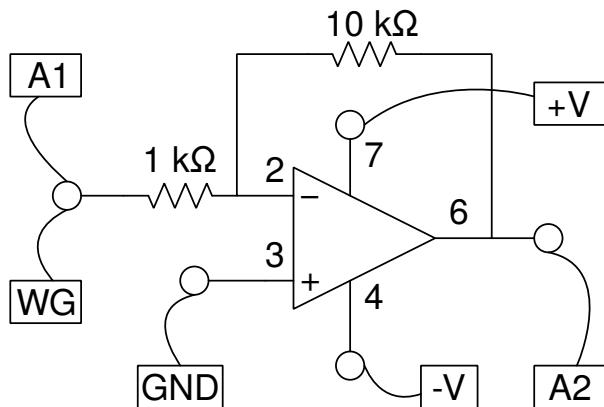
## 7.8 Amplificateur inverseur

On peut faire très facilement un amplificateur à l'aide d'un circuit intégré d'amplificateur opérationnel. Le facteur d'amplification se règle à l'aide du quotient de deux résistances.

### 7.8.1 Objectif

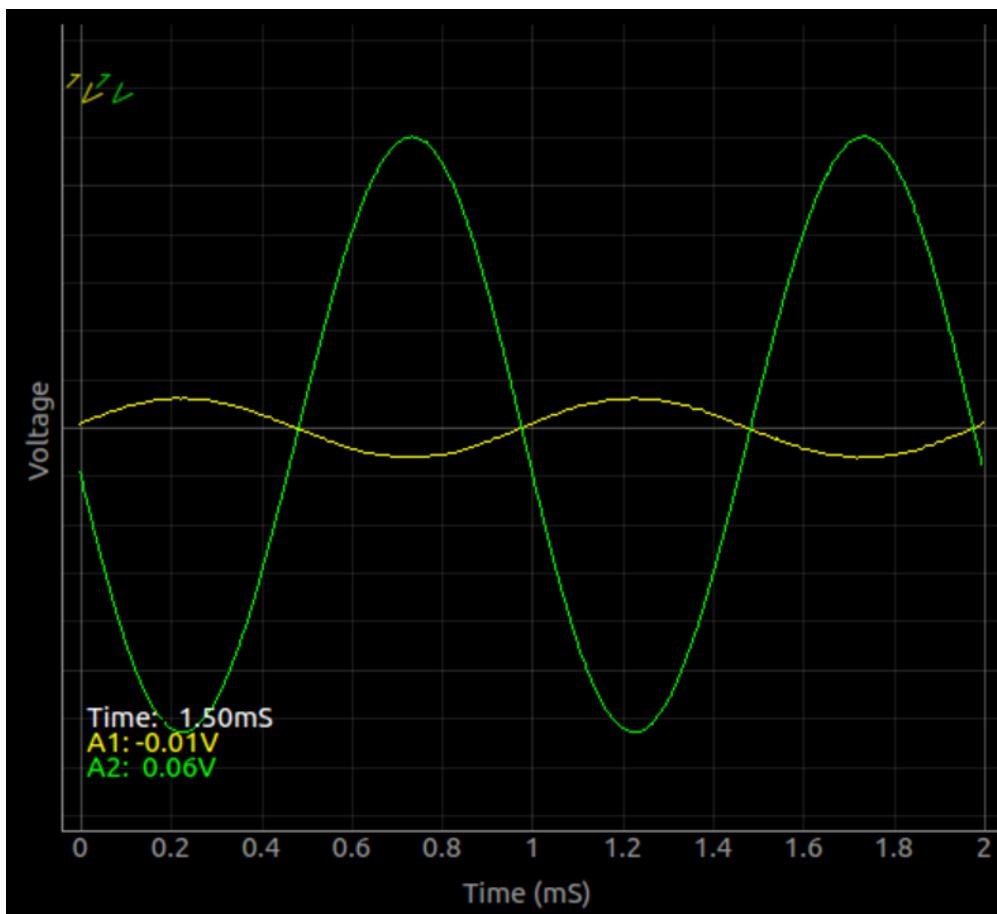
Câbler un amplificateur inverseur à l'aide d'un ampli-op comme un µA741 ou un OP07 et le tester.

### 7.8.2 Procédure



- Faire les connexions sur la plaque de montage selon le schéma
- Régler lamplitude de WG à  $80\text{mV}$  et la fréquence à  $1000\text{Hz}$
- Activer A1 et A2 et régler les calibres à  $1\text{V}$
- Activer lanalyse des amplitudes et fréquences pour A1 et A2.
- Faire les connexions et observer le gain de tension à la sortie
- Modifier le gain en modifiant les valeurs des résistances.

Le gain en amplitude et la différence de phase peuvent être observés dans la figure ci-dessous.



### 7.8.3 Discussion

Avec expEYES, on ne peut pas étudier la réponse aux hautes fréquences.

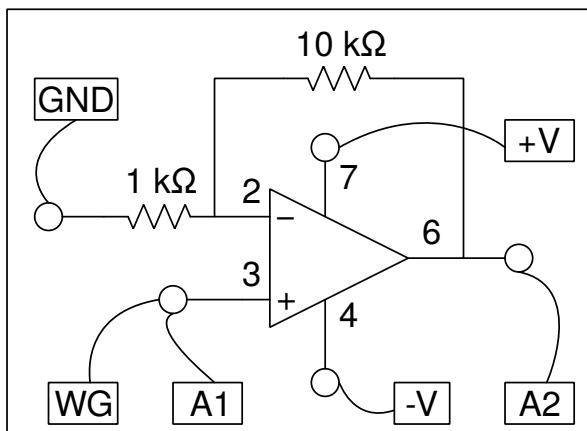
## 7.9 Amplificateur non-inverseur

Cette expérience est très similaire à la précédente, l'amplificateur inverseur.

### 7.9.1 Objectif

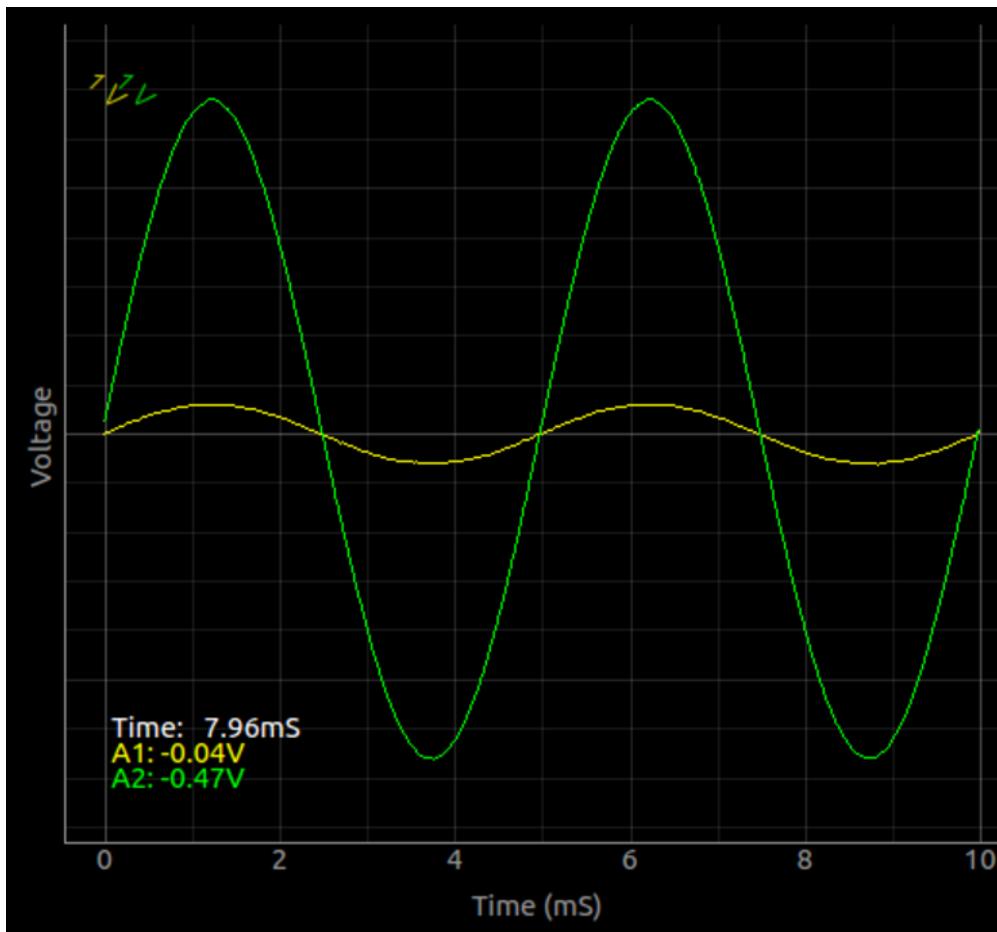
Câbler un amplificateur non-inverseur à l'aide d'un ampli-op comme un µA741 ou un OP07, et le tester.

### 7.9.2 Procédure



- Faire les connexions sur la plaque de montage selon le schéma.
- Régler l'amplitude de WG à  $80\text{mV}$  et la fréquence à  $1000\text{Hz}$
- Activer A1 et A2 et régler les calibres à  $1\text{V}$
- Activer l'analyse des amplitudes et fréquences pour A1 et A2.
- Faire les connexions et observer le gain de tension à la sortie
- Modifier le gain en modifiant les valeurs des résistances.

Le gain en amplitude et la différence de phase peuvent être observés dans la figure ci-dessous.



### 7.9.3 Discussion

Avec expEYES, on ne peut pas étudier la réponse aux hautes fréquences.

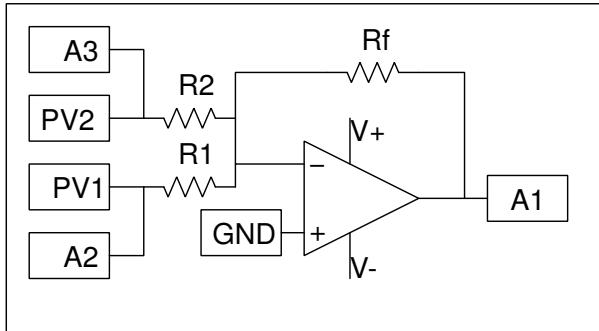
## 7.10 Amplificateur additionneur

On peut utiliser des amplificateurs opérationnels pour simuler des opérations mathématiques telles que l'addition, l'intégration, la différentiation, etc.

### 7.10.1 Objectif

Faire un amplificateur additionneur à l'aide d'un circuit intégré amplificateur opérationnel et le tester.

### 7.10.2 Procédure



- Réaliser le circuit sur la plaque de montage, selon le schéma. Utiliser  $1k\Omega$  pour toutes les résistances
- Régler PV1 et PV2 à  $1\text{V}$  chacun
- Activer A1, A2 et A3
- Observer les signaux. Vérifier que le signal de sortie est la somme des signaux entrée.  
Le signal de sortie est donné par  $V_{sortie} = \frac{R_1}{R_f}V_1 + \frac{R_2}{R_f}V_2 + \dots$

### 7.10.3 Discussion

L'addition peut aussi se faire avec des tensions alternatives. Notre tension d'alimentation est seulement de  $6\text{V}$ . Il faut donc faire en sorte que les signaux de sortie ne dépassent pas  $4\text{V}$ .

- Remplacer  $R_1$  par  $10k\Omega$  et y appliquer le signal de SQ1 au lieu de PV1.

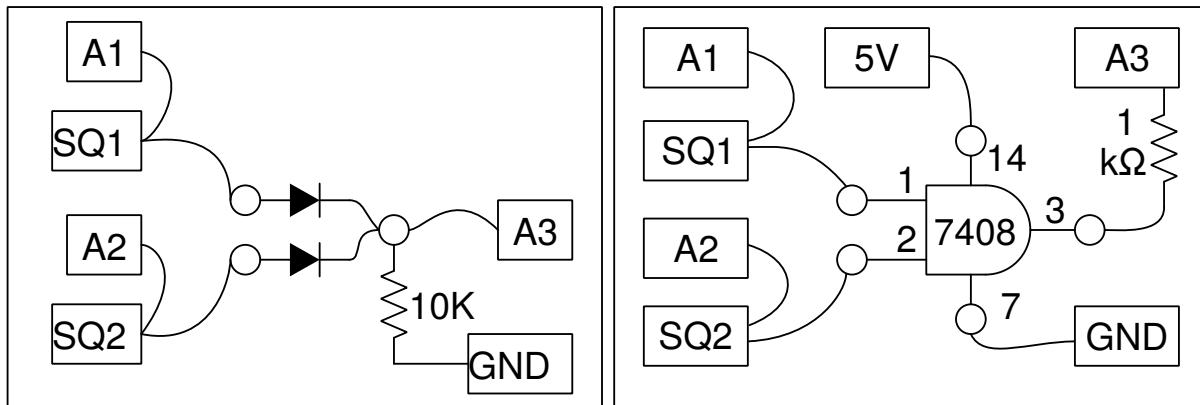
## 7.11 Portes logiques

Les circuits à portes logiques peuvent réaliser des opérations telles que le ET, le OU, etc. On peut les implémenter à l'aide de diodes à jonction PN à des fins de démonstration. On peut aussi utiliser une gamme large de portes à circuits intégrés.

### 7.11.1 Objectif

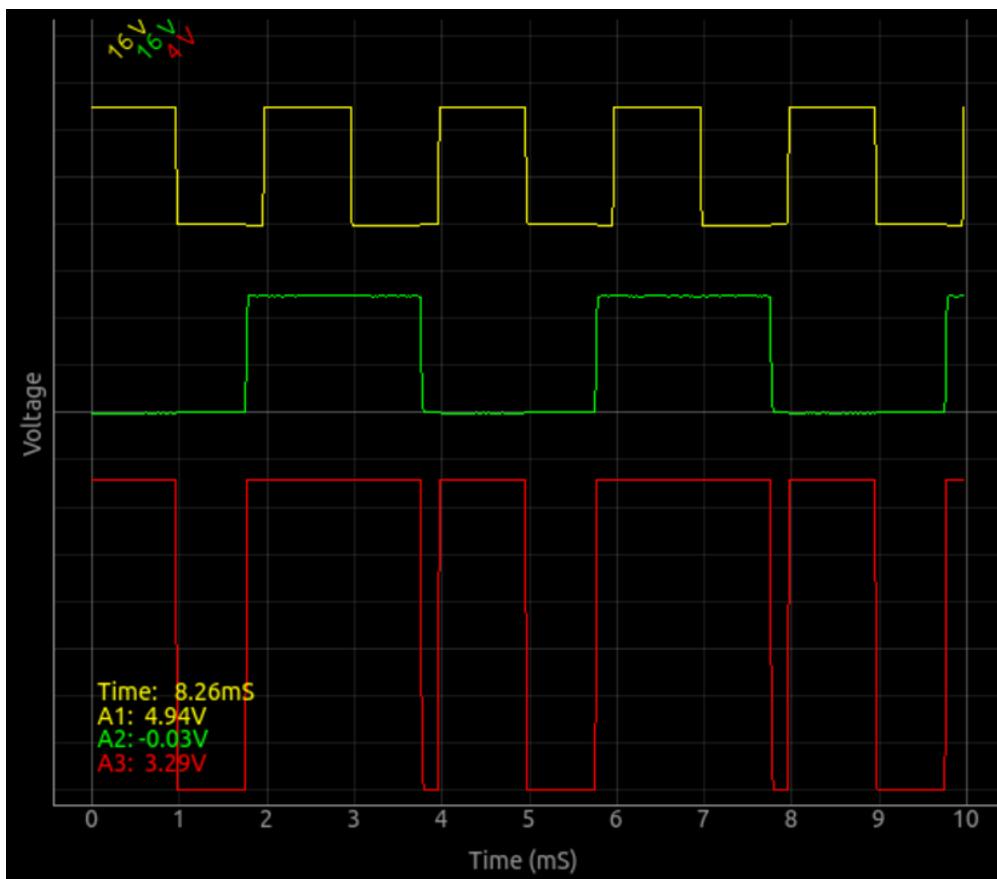
Étudier des portes logiques en utilisant SQ1 et PV1 comme entrées, avec des circuits intégrés de portes logiques TTL 7408 and 7432.

### 7.11.2 Procédure

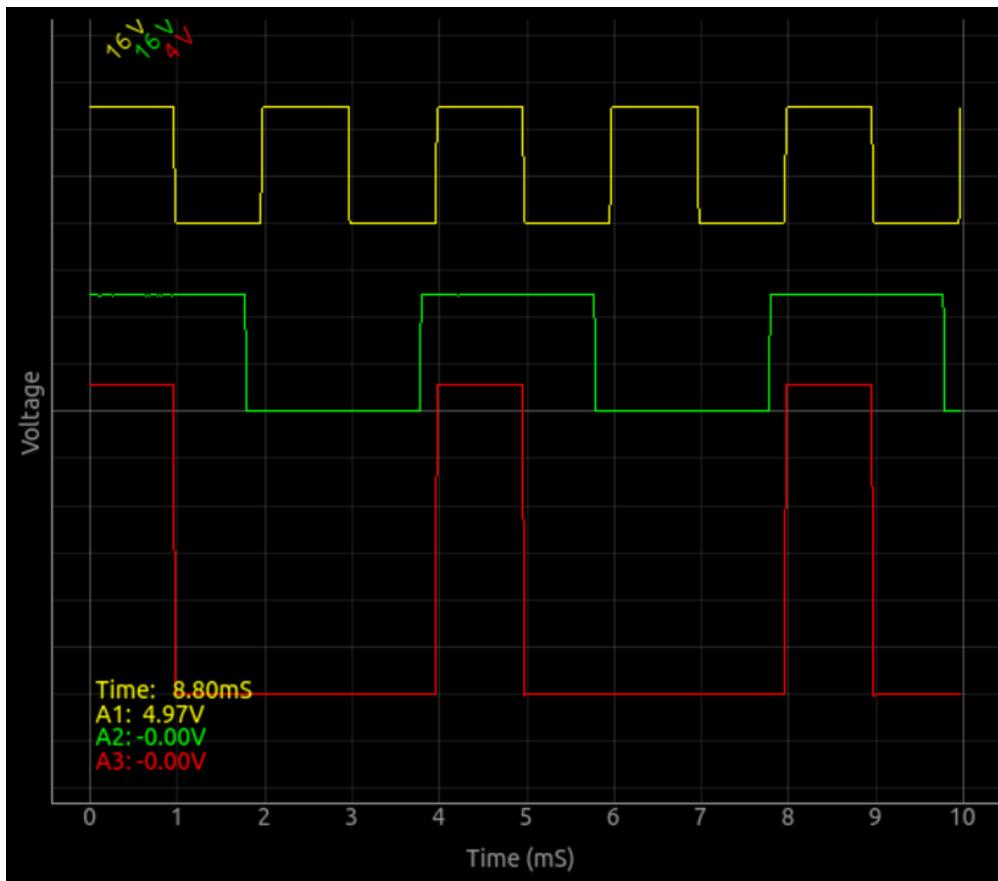


- Sur la plaque de montage, câbler un des circuits présentés ci-dessus;
- Activer A1, A2 et A3. Régler le calibre pour A1 et A2 à 16V;
- Régler SQ1 à 500Hz et WG à 1000Hz;
- Régler SQ2 depuis la forme de signal de WG;
- Décaler les traces à laide des curseurs verticaux à gauche, pour améliorer la présentation.

Le résultat obtenu à laide dune porte OU réalisée à laide de diodes est montré ci-dessous.



Le résultat pour une porte ET réalisée à laide dun IC7408 est montré ci-dessous.



### 7.11.3 Discussion

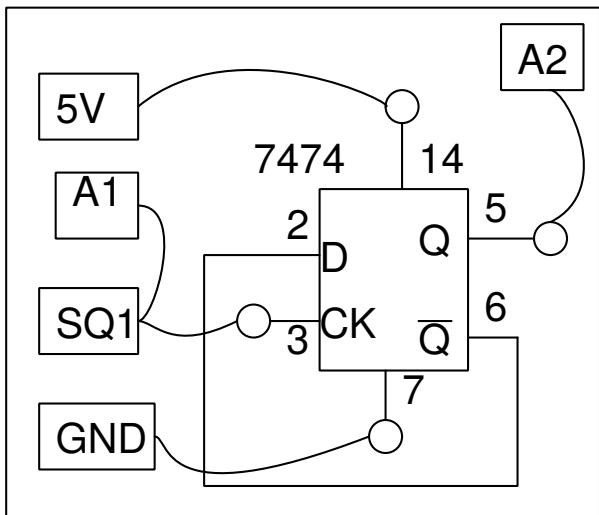
Le fonctionnement de la porte logique sera évident à partir des trois signaux. On peut décaler les traces verticalement pour les séparer et les rendre plus claires.

## 7.12 Diviseur dhorloge

### 7.12.1 Objectif

Étudier un diviseur dhorloge, à laide dune bascule D (famille TTL, 7474).

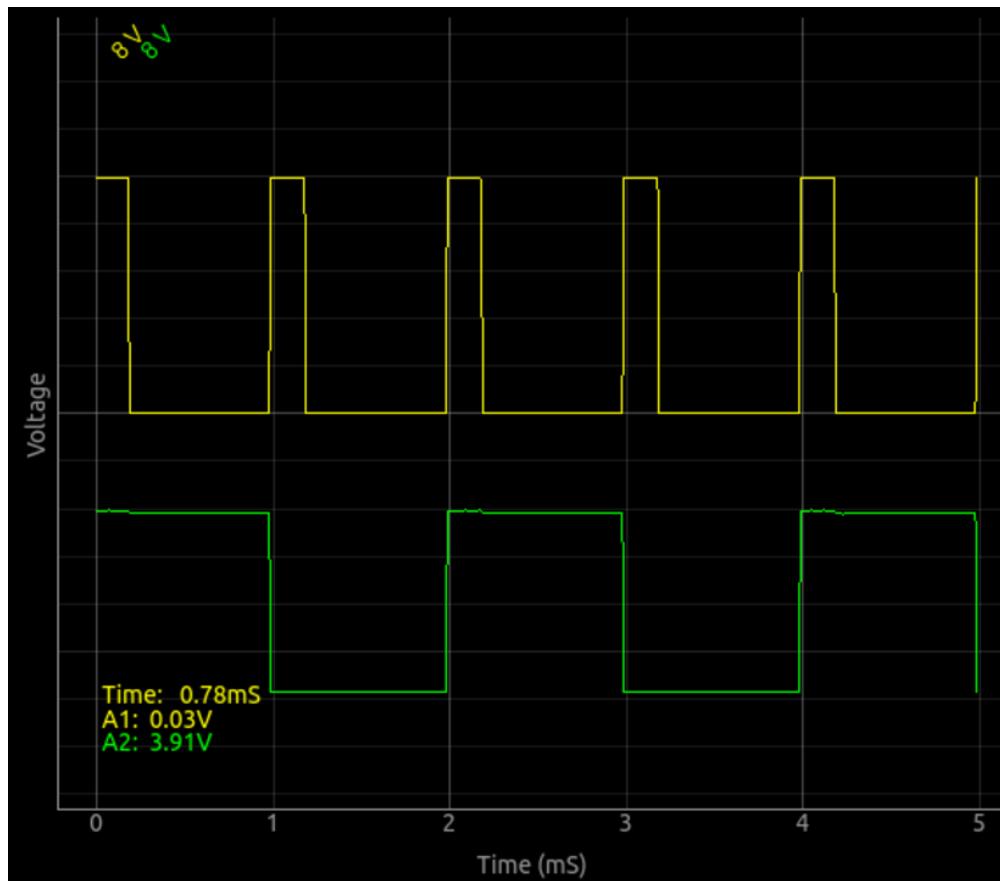
### 7.12.2 Procédure



- Activer A1 et A2, Régler leurs calibres à 8mA
- Régler SQ1 à 500µHz

### 7.12.3 Discussion

La sortie est basculée à chaque front montant sur l'entrée, si bien que la fréquence est divisée par deux. Le signal de sortie est un signal carré symétrique, même si le signal d'entrée a un rapport cyclique différent. Chaque front montant à l'entrée résulte en un changement d'état de la sortie.



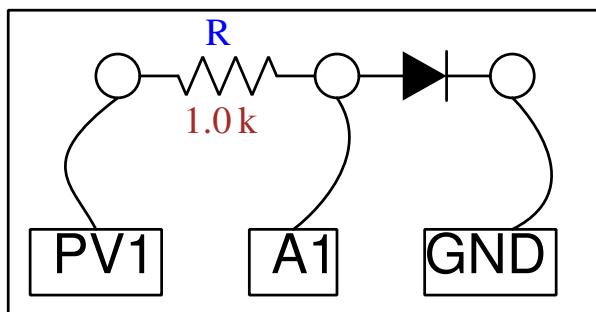
## 7.13 Caractéristique U-I d'une diode

Le courant qui traverse une jonction PN varie de façon non-linéaire avec la tension qui y est appliquée. Le courant est très faible jusqu'à ce que la tension appliquée dépasse la tension de seuil de la diode. On peut visualiser cela en traçant le courant en fonction de la tension.

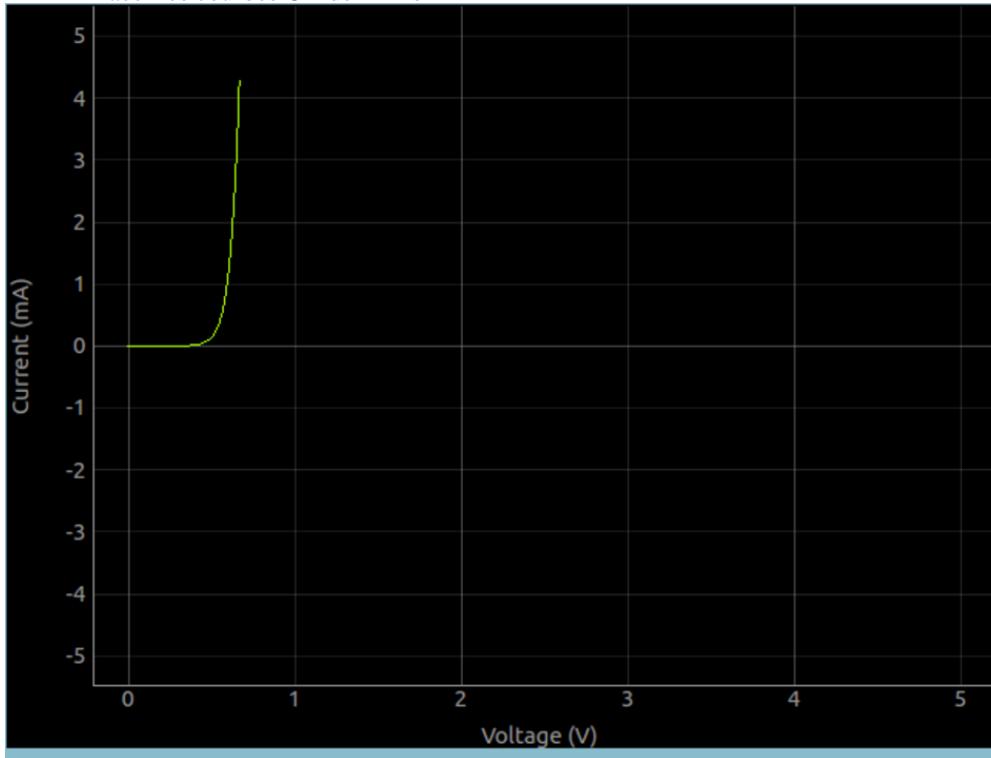
### 7.13.1 Objectif

Tracer la caractéristique U-I d'une diode et comparer les résultats avec la théorie.

### 7.13.2 Procédure



- Faire les connexions selon le schéma. Utiliser une résistance de  $1000\Omega$
- Cliquer sur DÉMARRER pour tracer la courbe caractéristique.
- Analyser les données
- Tracer les courbes U-I de DELs



On peut aussi faire cela en notant manuellement les lectures, depuis l'interface utilisateur graphique de l'oscilloscope.  
Les étapes nécessaires sont :

- Régler PV1 à  $100\text{mV}$
- Lire la tension en A1, qui s'applique aux bornes de la diode;
- Calculer le courant en utilisant  $I = \frac{V_{PV1} - V_{A1}}{1000}$
- Augmenter PV1 par étapes de  $100\text{mV}$ , jusqu'à  $5\text{V}$ , en répétant les étapes précédentes
- Tracer la courbe des valeurs de I en fonction de A1

### 7.13.3 Discussion

La caractéristique U-I d'une jonction PN idéale est donnée par l'équation  $I = I_0 \times e^{(qU/kT)-1}$ , 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 réelle, non-idéale, l'équation est  $I = I_0 \times e^{(qU/nkT)-1}$ , où  $n$  est le facteur de décalage, qui vaut 1 pour une diode idéale. Pour des diodes réelles il varie entre 1 et 2. On a utilisé une diode au silicium 1N4148. La valeur de  $n$  pour 1N4148 est proche de 2. On a calculé la valeur de  $n$  en modélisant les valeurs expérimentales par l'équation.

La tension à 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 est donnée par  $E = h\nu = hc/\lambda$ . Cette énergie est égale au travail d'un électron qui franchit un seuil de potentiel, qui est donné par  $E = eU_0$ . Donc la constante de Planck est  $h = eU_0 \times \lambda/c$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde de la DEL,  $e$  la charge de l'électron et  $c$  la vitesse de la lumière.

Recommencer cette expérience en chauffant la diode à différentes températures.

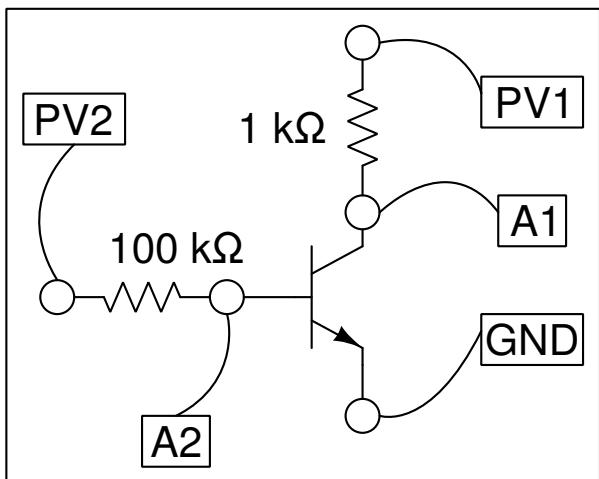
## 7.14 Caractéristique de la sortie dun transistor en mode EC

Le principe de fonctionnement dun transistor, pour faire simple, est de contrôler un courant fort à laide dun courant faible dans un autre circuit. Comme le transistor a trois năpattesăz, une des bornes doit être commune aux deux circuits. On peut explorer le fonctionnement dun transistor en étudiant les relations entre diverses tensions à différentes bornes et les courants qui y passent.

### 7.14.1 Objectif

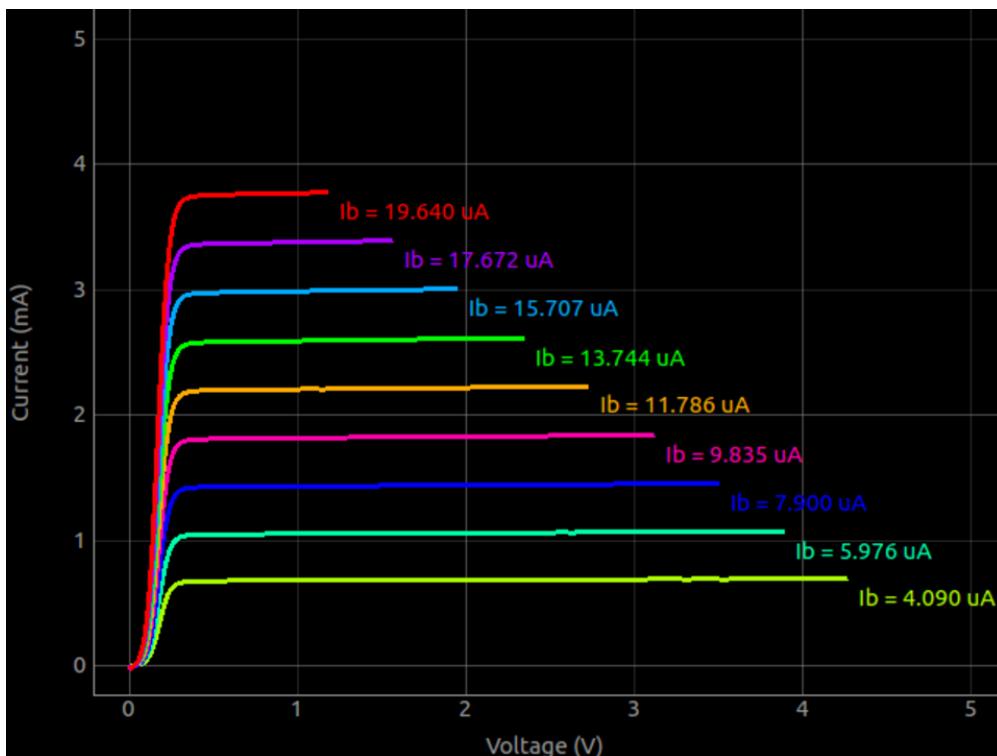
À laide dun transistor NPN, tracer la variation de la tension de collecteur en fonction du courant de collecteur dans la configuration émetteur commun. On repère cela pour trois courants de base différents. Le courant de collecteur est calculé à partir de la tension aux bornes dune résistances de  $1\ k\Omega$ , dans le circuit du collecteur.

## 7.14.2 Procédure



- Placer le transistor sur une planche de contacts et réaliser les connexions.
  - Régler la tension de base à 1,6V et DÉMARRER.
  - Recommencer pour diverses valeurs du courant de base, en incrémentant PV2 par étapes de 0,3mA.

Un exemple de graphique est montré ci-dessous. On peut aussi faire cette expérience manuellement depuis l'interface graphique Oscilloscope, et en notant les observations.



### 7.14.3 Discussion

Les courbes caractéristiques pour différentes valeurs du courant de base sont montrées sur la figure. Le courant de collecteur est obtenu à partir de la différence de potentiel aux bornes de la résistance de  $1\text{ k}\Omega$ .

Le courant de la base dépend du réglage de la source de tension à l'extrême d'une résistance de  $100\text{ k}\Omega$ , l'autre extrémité étant connectée à la base. La valeur du courant de base est calculée par  $I_b = (U_{PV2} - U_{A2}) / (100 \times 10^3) \times 10^6 \mu\text{A}$ . Si A2 n'est pas connectée, le code considère une valeur de  $0,6\text{ V}$  pour la base afin de calculer le courant dans celle-ci.

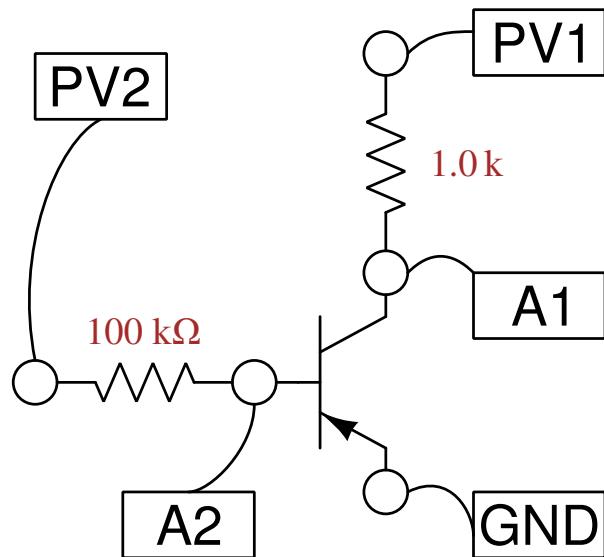
## 7.15 Caractéristique dun transistor PNP en mode EC

Le principe de fonctionnement dun transistor, pour faire simple, est de contrôler un courant fort à laide dun courant faible dans un autre circuit. Comme le transistor a trois nápattes, une des bornes doit être commune aux deux circuits. On peut explorer le fonctionnement dun transistor en étudiant les relations entre diverses tensions à différentes bornes et les courants qui y passent.

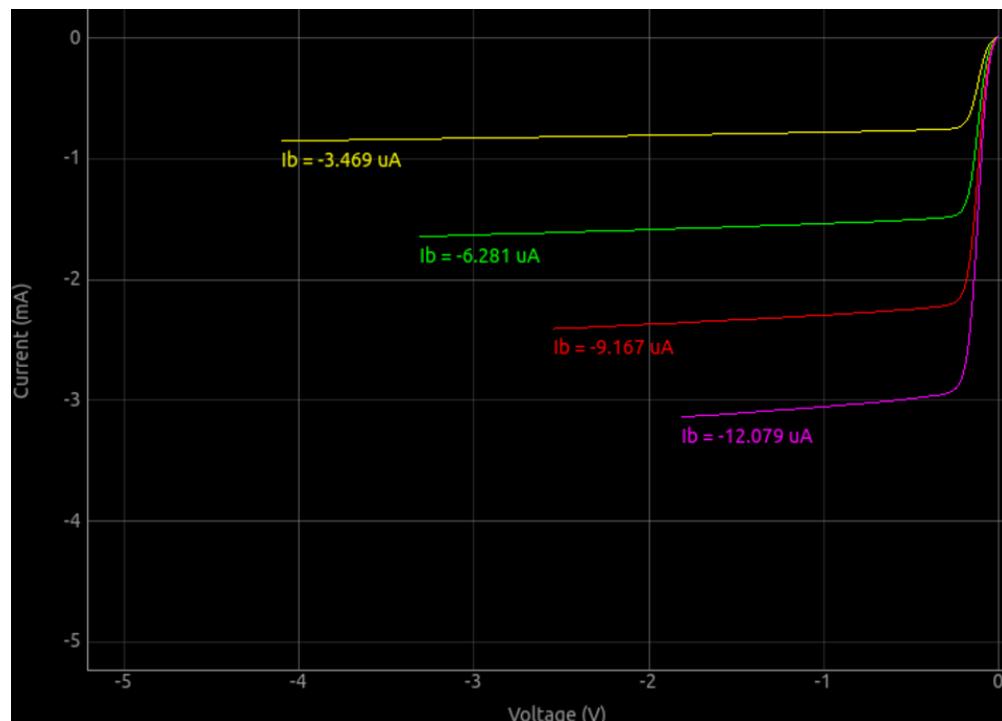
### 7.15.1 Objectif

À laide dun transistor PNP, tracer la variation de la tension de collecteur en fonction du courant de collecteur dans la configuration émetteur commun. On repère cela pour trois courants de base différents. Le courant de collecteur est calculé à partir de la tension aux bornes d'une résistance de  $1\text{ k}\Omega$ , dans le circuit du collecteur.

### 7.15.2 Procédure



- Placer le transistor sur une planche de contacts et réaliser les connexions.
  - Régler la tension de base à  $1\text{ V}$  et DÉMARRER.
  - Recommencer pour diverses valeurs du courant de base, en incrémentant PV2 par étapes de  $0,3\text{ V}$ .
- Un exemple de graphique est montré ci-dessous. On peut aussi faire cette expérience manuellement depuis l'interface graphique Oscilloscope, et en notant les observations.



### 7.15.3 Discussion

Les courbes caractéristiques pour différentes valeurs du courant de base sont montrées sur la figure. Le courant de collecteur est obtenu à partir de la différence de potentiel aux bornes de la résistance de  $1\text{ k}\Omega$ .

Le courant de la base dépend du réglage de la source de tension à l'extrême d'une résistance de  $100\text{ k}\Omega$ , l'autre extrémité étant connectée à la base. La valeur du courant de base est calculée par  $I_b = (U_{PV2} - U_{A2})/(100 \times 10^3) \times 10^6 \mu A$ . Si A2 n'est pas connectée, le code considère une valeur de 0,6V pour la base afin de calculer le courant dans celle-ci.



# CHAPITRE 8

## Expériences délectricité et magnétisme

Ce chapitre contient principalement des expériences sur le comportement en régime stationnaire et en régime transitoire pour des dipôles RLC. Il confronte les résultats expérimentaux avec la théorie. Il donne aussi une expérience sur induction électromagnétique.

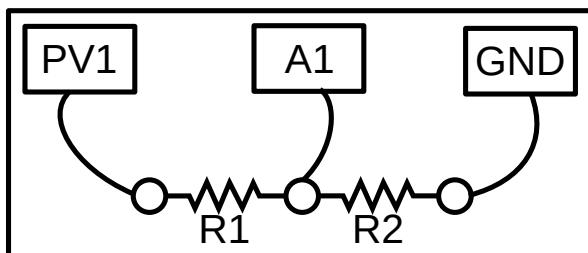
### 8.1 Courbe I-U

Ici on trace la courbe de la tension en fonction du courant qui traverse un dipôle. Le courant est déterminé par la tension aux bornes d'une résistance que celui-ci traverse. Le graphique est une ligne droite pour les conducteurs ohmiques, mais ce n'est pas le cas pour les dipôles non-linéaires comme les diodes.

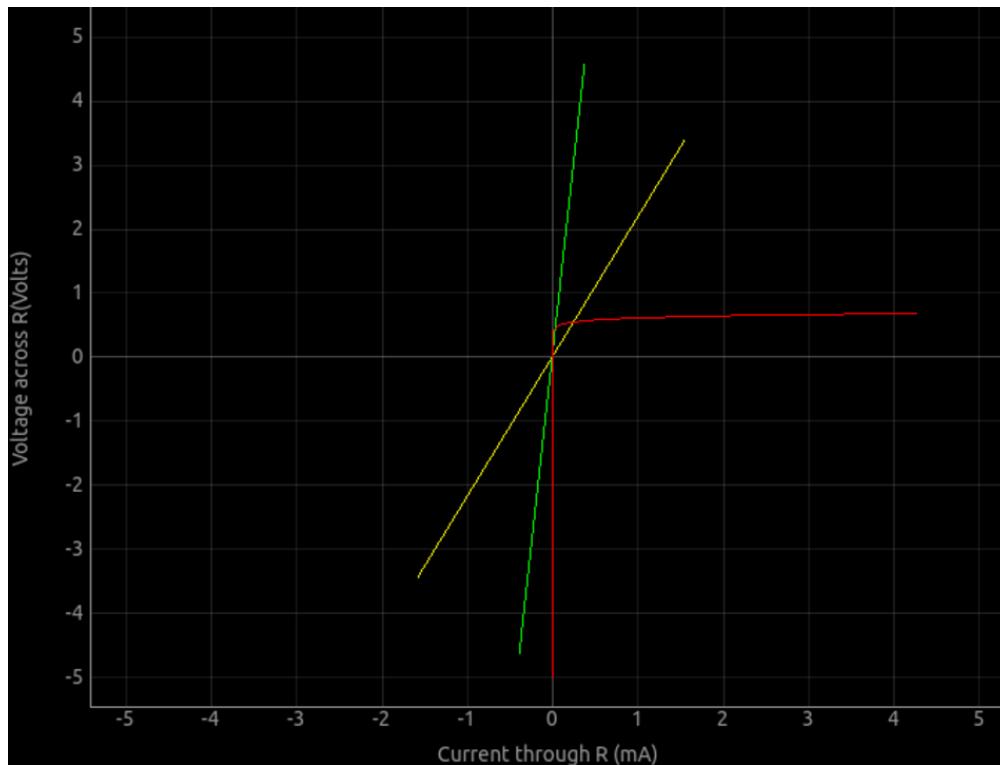
#### 8.1.1 Objectif

Tracer la caractéristique courant-tension de divers dipôles.

#### 8.1.2 Procédure



- Connecter les résistances selon le schéma.
- R2 est utilisé pour la mesure du courant, on prend généralement  $1000\Omega$
- Le courant qui traverse le circuit se calcule comme la tension en A1 divisée par  $R2$ ;
- On varie PV1 progressivement. La tension aux bornes de R1 est mise en graphique.

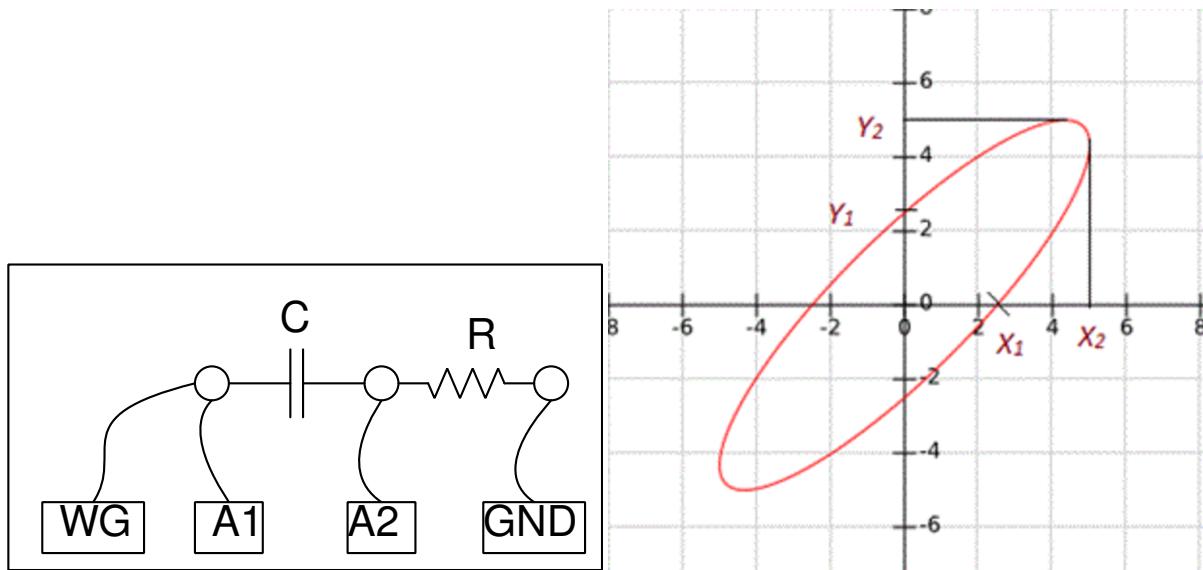


## 8.2 Courbes XY

Les oscilloscopes utilisent généralement laxe X comme représentation du temps. Il est aussi possible de les utiliser en mode XY, où un signal est tracé en fonction d'un autre, utilisé pour laxe X. Cette fonctionnalité permet d'afficher les courbes de Lissajou, et aussi pour mesurer des déphasages entre deux signaux entrée.

### 8.2.1 Objectif

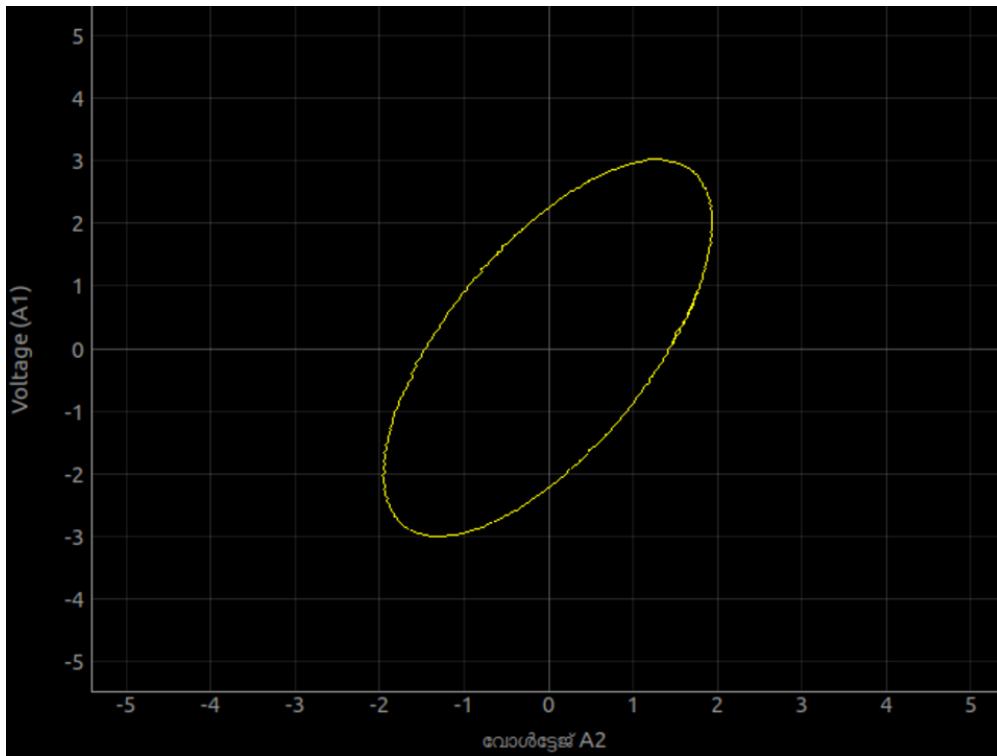
Afficher deux signaux en mode XY et trouver leur différence de phase. Le déphasage est dû à un circuit RC.



## 8.2.2 Procédure

- Faire les connexions selon le schéma. Utiliser  $1k\Omega$  et  $1\mu F$ ;
- Noter la valeur maximale  $y_{max}$  et l'ordonnée à l'origine  $y_o$

Le déphasage est donné par l'équation  $\theta = \sin^{-1} \left( \frac{y_o}{y_{max}} \right)$



### 8.2.3 Discussion

Il y a une option pour afficher (A1-A2) en fonction de A2. Dans le circuit ci-dessus, cela affiche la tension aux bornes du condensateur en fonction de la tension aux bornes de la résistance.

- Choisir  $C = 1\mu F$ ,  $R = 1k\Omega$  et afficher (A1-A2) en fonction de A2. and plot (A1-A2) vs A2. A
- Ajuster la fréquence pour rendre ces tensions égales.

## 8.3 Circuits RLC, réponse en régime stationnaire

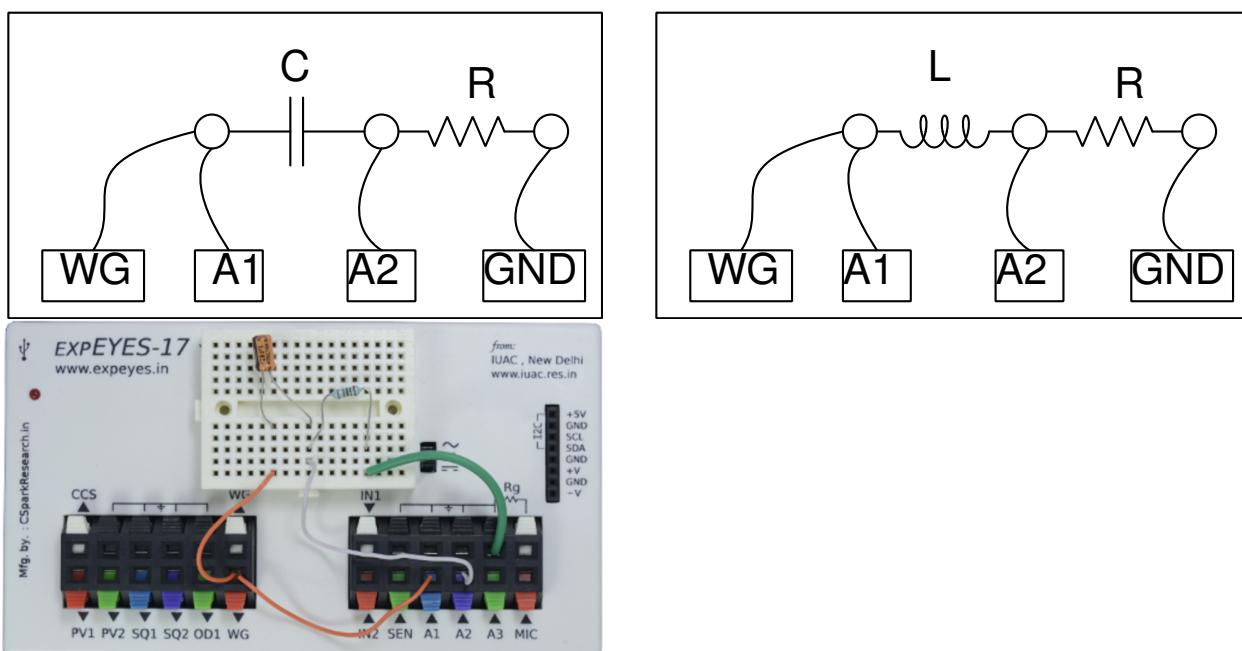
En signal sinusoïdal, il y a trois composants passifs de base: la résistance, l'inductance et le condensateur, qui montrent des déphasages différents entre tension et courant. Dans le cas d'une résistance, le signal de tension est en phase avec le courant. Pour une inductance pure, le signal de tension est en avance de phase de 90 degrés sur le courant. Pour un condensateur pur, le signal de tension est en retard de phase de 90 degrés sur le courant. À l'aide d'expEYES on peut étudier ces phénomènes expérimentalement. On peut aussi explorer les relations de phase entre les tensions à différents points du montage. Trois cas différents, RC, RL et RLC seront étudiés. Les valeurs de tension et de déphasage dans les conditions de résonance série seront explorées. Un calculateur dédié à l'impédance est fourni dans la partie droite de l'interface utilisateur, pour comparer les valeurs mesurées aux calculs.

### 8.3.1 Objectif

Mesurer les amplitudes et les phases dans un circuit RC. Le déphasage des tensions aux bornes du condensateur est donné par

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Z_c}{R} \right) \text{ où l'impédance du condensateur est } Z_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

### 8.3.2 Procédure

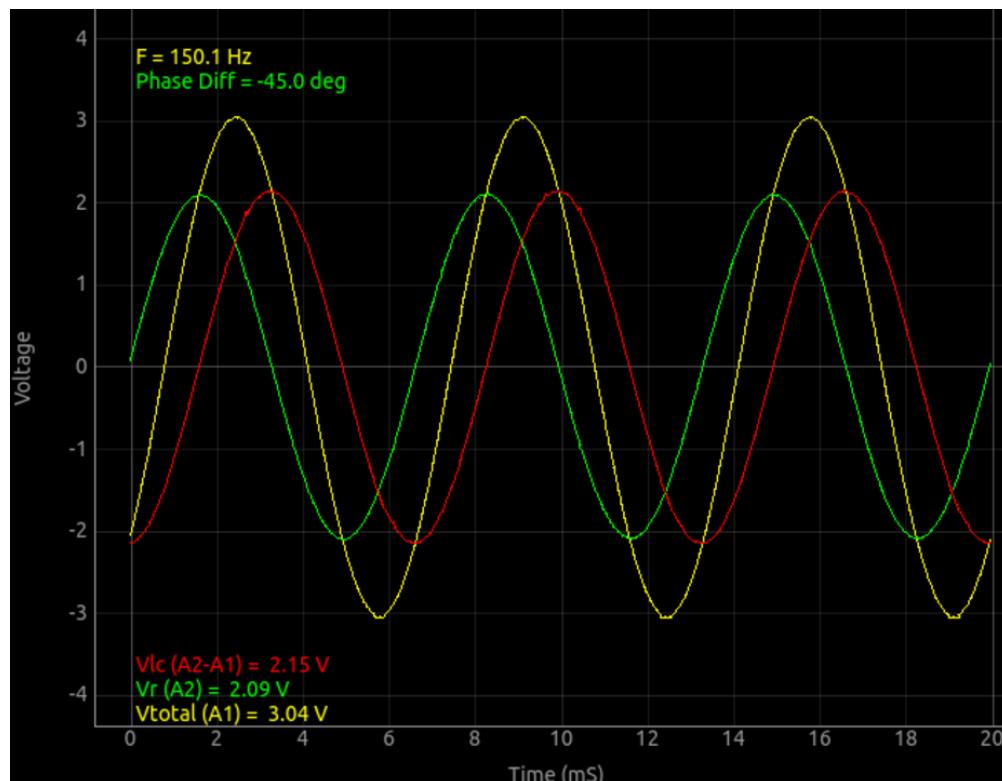


- Utiliser la plaque de montage comme montré ci-dessus
- Placer un condensateur de  $1\mu F$  et une résistance de  $1k\Omega$ ;

- Faire les connexions selon le premier schéma;
- recommencer les mesures, à différentes fréquences.

Les signaux résultants pour le circuit RC sont montrés ci-dessous. La trace verte (tension en A2) est le signal de la tension aux bornes de la résistance. On peut la considérer comme le signal du courant comme la tension et le courant sont en phase dans une résistance. La trace rouge est la tension aux bornes du condensateur, et on voit que le signal du courant est en avance de phase de 90 degrés.

Le déphasage du condensateur est montré dans le coin du haut. On peut la comparer aux valeurs calculées.



L'étape suivante est d'étudier le circuit RL. Là on observera le signal de courant en retard de phase par rapport à la tension aux bornes de l'inductance.

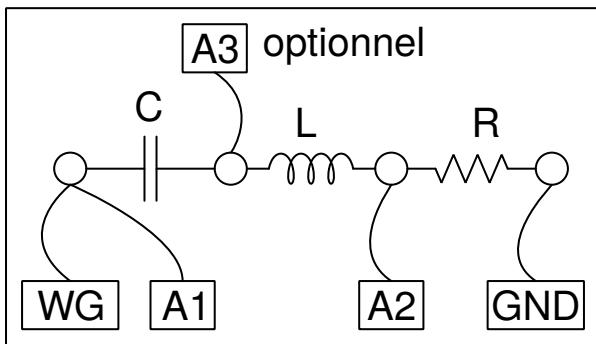
- Remplacer le condensateur par une inductance de  $10\text{mH}$ ;
- Régler la fréquence à  $4000\text{Hz}$  pour obtenir un déphasage plus important, parce que l'inductance utilisée est petite, et sa résistance interne non nulle.

## 8.4 RLC et la résonance série

Quand un condensateur et une inductance sont tous deux présents, le déphasage aux bornes de la série LC est donnée par

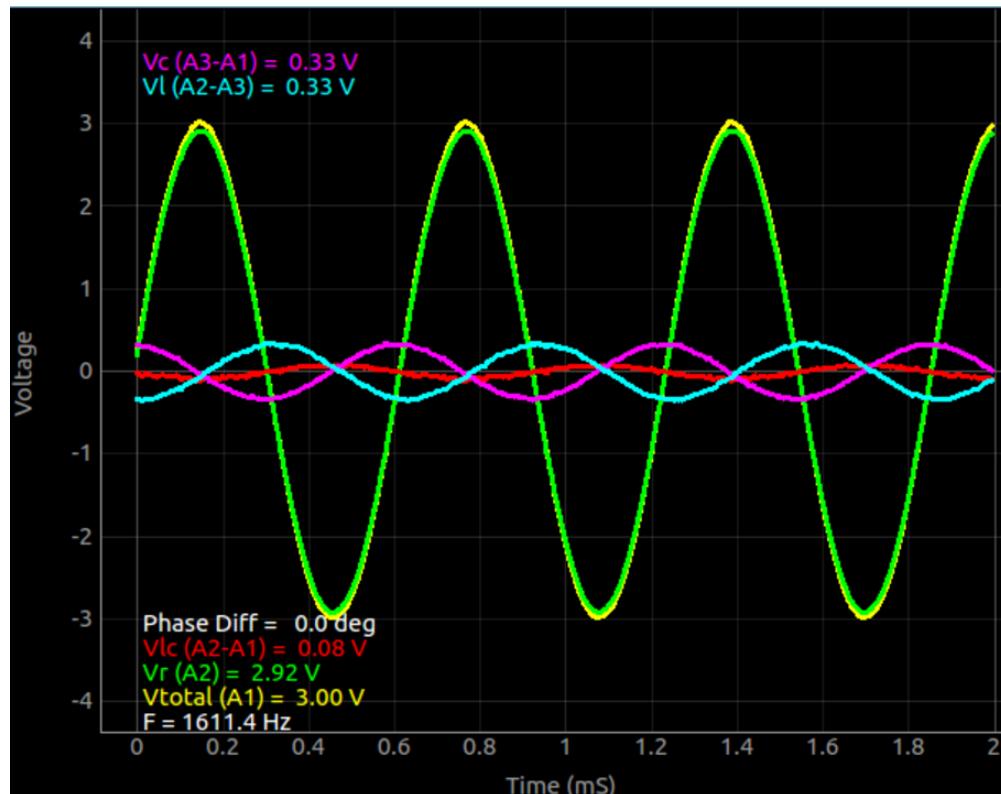
$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Z_c - Z_L}{R} \right) \text{ où } Z_c = \frac{1}{2\pi f C} \text{ et } Z_L = 2\pi f L$$

L'impédance du bobinage augmente avec la fréquence tandis que celle du condensateur diminue. À une certaine fréquence, elles doivent devenir égales et le déphasage aux bornes de la série LC s'annule. La tension totale aux bornes de la série LC s'annule aussi. Cette condition précise se nomme la résonance.



- Réaliser les connexions à laide de L, C et R;
- Connecter A1, A2 et A3 selon le schéma;
- Noter les amplitudes et les mesures de phases, dans chacun des cas;
- Pour les circuits série RLC, le point commun à L et C est suivi par A3;
- Pour la résonance choisir  $C = 1 \mu F$ ,  $L = 10 mH$ ;
- Régler la fréquence à  $f = 1600 Hz$ , et lajuster pour annuler le déphasage.

La fréquence de résonance calculée pour les valeurs données de L et C est 1591,5 Hz. On commence près de cette fréquence au début. La tension totale aux bornes de lensemble L et C sapproche de zéro. Ce nest pas exactement zéro à cause de la résistance interne du bobinage. Lentrée A3 est connectée au point milieu entre L et C, si bien que les différences de potentiel individuelles aux bornes de L et C peuvent être affichées. On voit quelles sont égales et en opposition de phase, comme ci-dessous.



### 8.4.1 Discussion

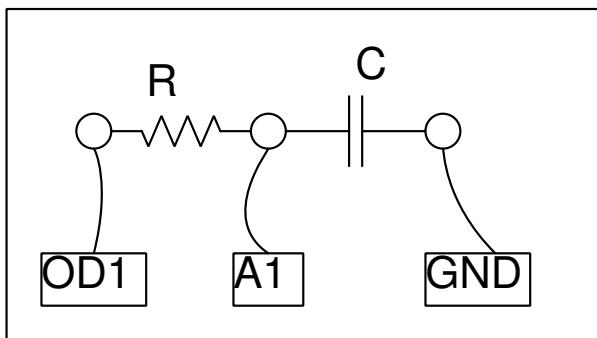
On peut utiliser cette expérience pour mesurer les valeurs des capacités ou des inductances inconnues. Réaliser un circuit RL ou RC avec une résistance connue et mesurer les déphasages à diverses fréquences. On peut calculer les valeurs de L et C grâce aux formules  $C = \frac{1}{2\pi f R \tan \theta}$  et  $L = \frac{R \tan \theta}{2\pi f}$ .

## 8.5 Réponse de circuits RC en régime transitoire

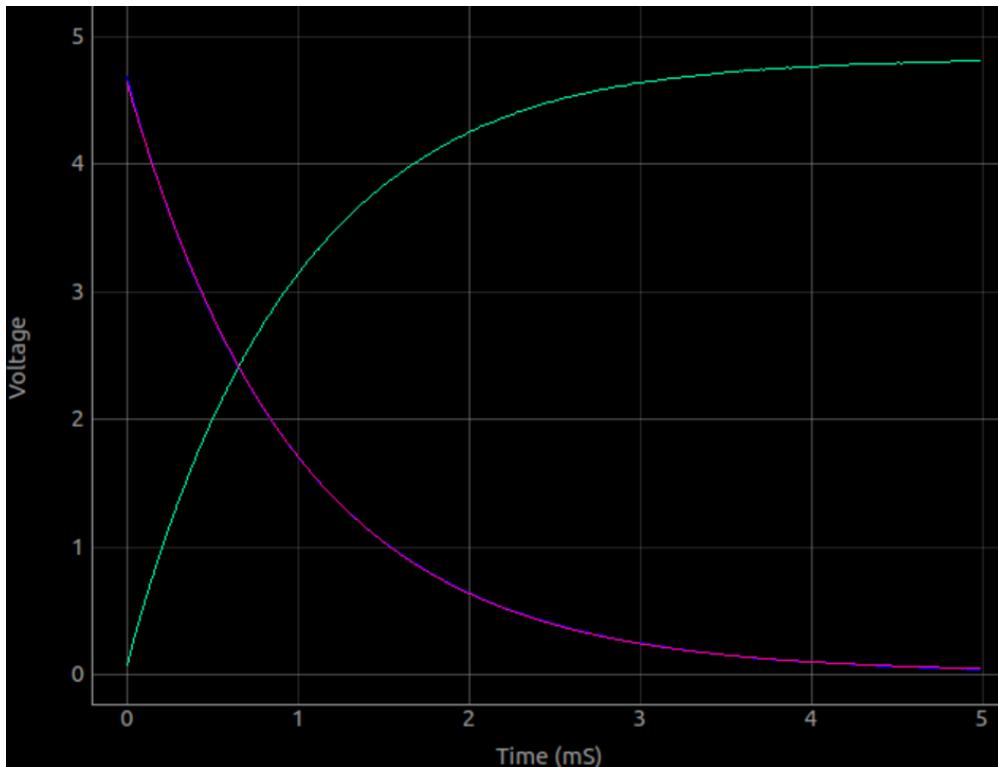
### 8.5.1 Objectif

Tracer l'évolution de la tension aux bornes d'un condensateur, quand il est chargé en appliquant un échelon de tension à travers une résistance. Extraire la valeur du produit RC en modélisant la courbe obtenue.

### 8.5.2 Procédure



- Réaliser les connexions selon le schéma;
- Cliquer sur les boutons *Échelon 0->5V* et *Échelon 5->0V* pour afficher les graphiques;
- Ajuster l'échelle horizontale si nécessaire, et recommencer;
- Calculer la constante de temps RC.



### 8.5.3 Discussion

Quand on applique un échelon de 0 à 5V, la tension aux bornes du condensateur s'approche exponentiellement de 5V comme montré sur la figure. En modélisant la courbe de décharge par  $U(t) = U_0 \times e^{-t/RC}$ , on peut extraire la constante de temps  $RC$  et sen servir pour trouver la valeur de la capacité.

Le tension aux bornes dun condensateur ne varie exponentiellement que quand on le charge au travers dun dipôle linéaire, une résistance par exemple. Si on le charge à laide dune source de courant constant, la tension change linéairement, puisque  $Q = It = CU$ , et la tension croît linéairement avec le temps comme  $U = (I/C) \times t$ .

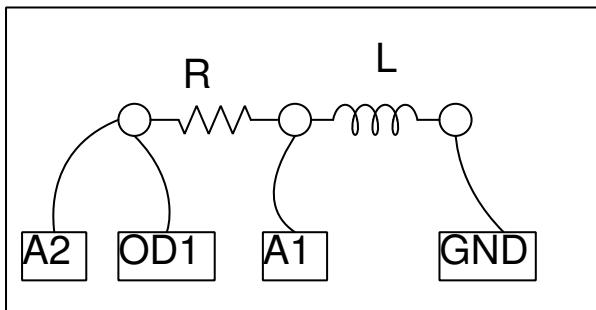
## 8.6 Réponse transitoire de circuits RL

Dans un circuit RL, la tension est donnée par  $U(t) = RI(t) + L(dI/dt)$ , ce qui donne, quand on le résout pour un échelon de tension,  $I = I_0 \times e^{-(R/L)t}$ . Le coefficient R/L du terme exponentiel peut être déduit du graphique de la tension aux bornes du bobinage. Il faut inclure la résistance propre du bobinage dans le calcul,  $R = R_{ext} + R*L$ .

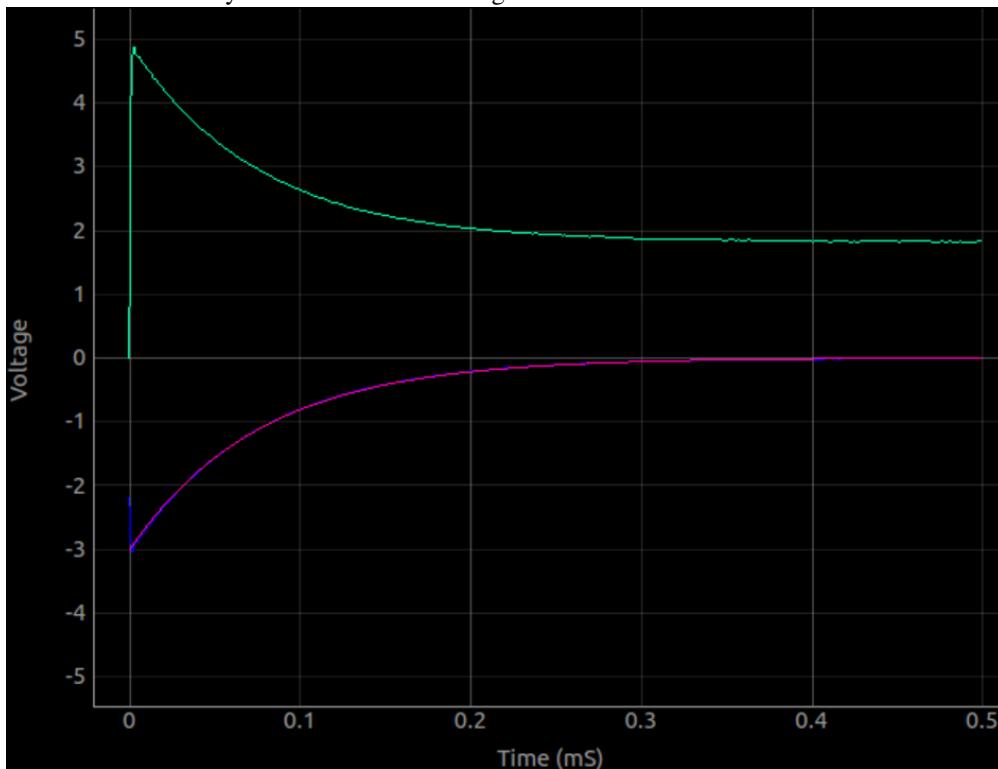
### 8.6.1 Objectif

Explorer 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 en fonction du temps aux bornes du bobinage, on peut calculer le quotient R/L.

## 8.6.2 Procédure



- Le bobinage est la bobine de 3000 tours
- Cliquer sur les boutons *Échelon 0->5V* et *Échelon 5->0V* pour afficher les graphiques
- Ajuster l'échelle horizontale, si nécessaire, et recommencer.
- Calculer la valeur de l'inductance
- Insérer un noyau en fer dans le bobinage et recommencer



## 8.6.3 Discussion

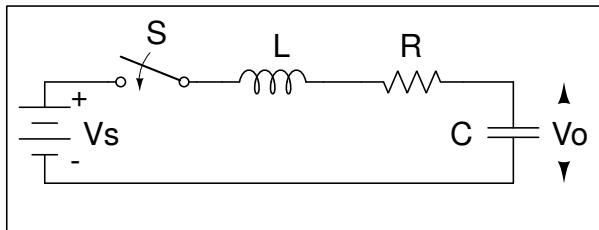
La réponse transitoire du circuit RL est montrée sur la figure. La courbe exponentielle est modélisée pour extraire la valeur de  $L/R$ . La résistance de la bobine est mesurée en la comparant avec la résistance externe connue, en courant continu. A2 est connecté à OD1 pour une mesure plus précise de la résistance du bobinage. Le programme sert pour calculer et afficher la valeur de l'inductance.

Les tensions appliquées sont positives, mais le graphique va vers des tensions négatives, pourquoi?

Quel était le courant avant le début de l'échelon  $5 \rightarrow 0$  V ? Quelle est la force contre-électromotrice ( $f_{cem}$ ) ?

Recommencer avec deux bobinages en série, (a) en les plaçant l'un loin de l'autre, (b) en les plaçant l'un sur l'autre, (c) après changement d'orientation de l'un des deux. On peut voir l'effet de l'induction mutuelle.

## 8.7 Réponses transitoires de circuits RLC

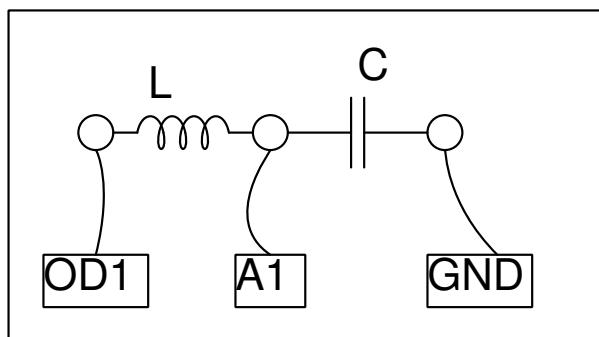


Quand on ferme l'interrupteur dans le montage ci-dessus cela change la tension aux bornes du condensateur. Selon les valeurs relatives de L, C et R, la tension peut osciller ou changer de façon exponentielle.

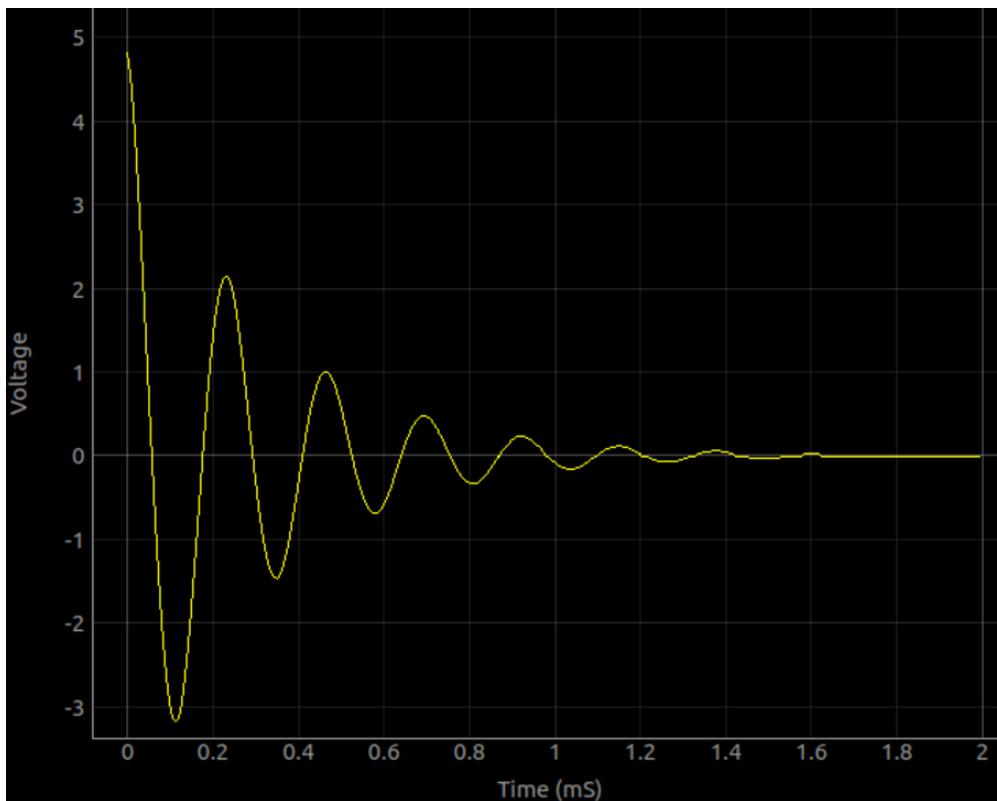
### 8.7.1 Objectif

Appliquer un échelon de tension à un circuit RLC. Capturer et analyser la tension qui en résulte aux bornes du condensateur.

### 8.7.2 Procédure



- Utiliser la bobine de 3000 tours et le condensateur de  $0.1 \mu F$ ;
- Cliquer sur *Échelon 5->0 V*. Ajuster l'axe des X et recommencer si nécessaire;
- Modéliser (FIT) le graphique pour trouver la fréquence de résonance et le facteur d'amortissement;
- Recommencer avec des valeurs plus grandes de capacité et de résistance.



Les valeurs choisies donnent un amortissement sous-critique. Le bobinage à une inductance de plus de  $100\mu\text{H}$  et une résistance de près de  $500\Omega$ . Pour augmenter l'amortissement, on peut utiliser une résistance en série de plus grande valeur, ou une capacité plus grande.

### 8.7.3 Discussion

On a exploré la nature oscillante d'un circuit L, C série. La fréquence de résonance des circuits série LC est donnée par  $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ . Le facteur d'amortissement est  $R/(2\sqrt{LC})$ , et il vaut 1 pour l'amortissement critique. Selon les valeurs relatives de C/L et R, l'amortissement peut être sous-critique, critique, ou super-critique.

On a utilisé une bobine de 3000 tours et un condensateur de  $0,1\mu\text{F}$ . La tension aux bornes du condensateur après un échelon de 5 à 0V est présentée sur la figure. La fréquence de résonance mesurée correspond à  $f = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ , dans les limites de la tolérance des composants.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit\\_RLC](https://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit_RLC)

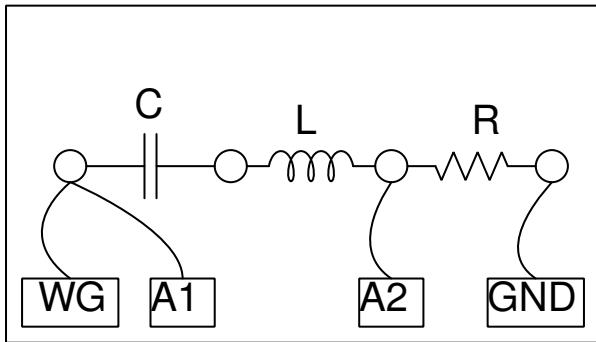
## 8.8 Réponse en fréquence d'un circuit de filtrage

La transmission de signaux électriques à travers un circuit de filtrage dépend de la fréquence. Le quotient des amplitudes du signal de sortie sur celle du signal entrée se nomme *le gain*. Quand on trace son évolution en fonction de la fréquence on obtient la courbe de réponse en fréquence du circuit de filtrage.

### 8.8.1 Objectif

Tracer la réponse en fréquence d'un circuit de filtrage, avec  $L = 10\mu\text{H}$ ,  $C = 1\mu\text{F}$ ,  $R = 100$ . La fréquence de résonance attendue pour ce filtre passe-bande est  $f_0 = \frac{1}{(2\pi\sqrt{LC})}$ .

### 8.8.2 Procédure



- Assembler le filtre RLC sur la plaque de montage;
- Connecter WG et A1 à l'entrée du circuit de filtrage;
- Connecter A2 à la sortie.

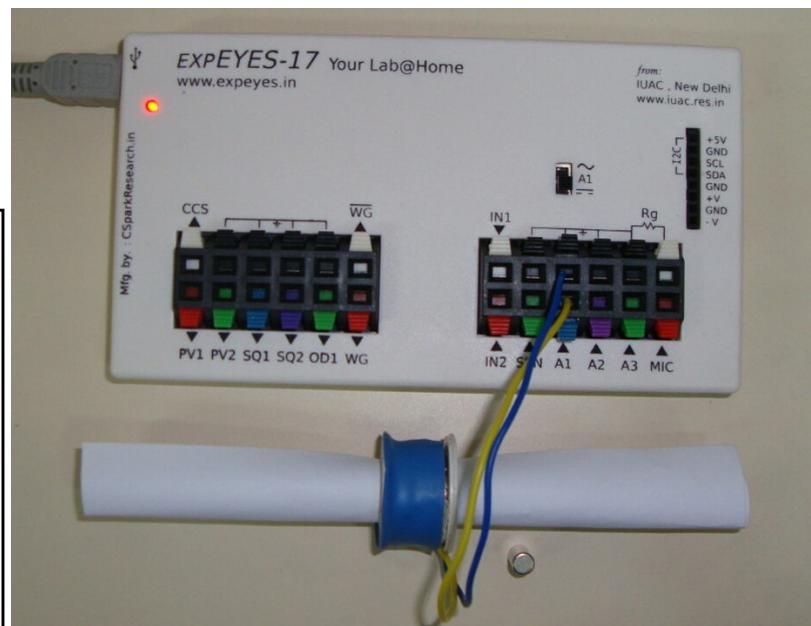
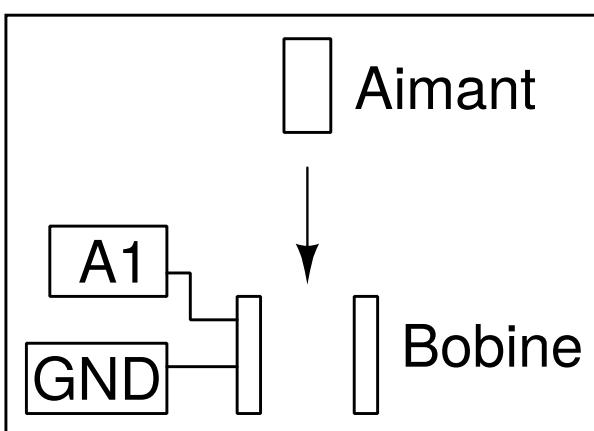
## 8.9 Induction électromagnétique

Une tension apparaît dans un conducteur plongé dans un champ magnétique variant avec le temps. On peut le montrer à l'aide d'un bobinage et d'un aimant mobile.

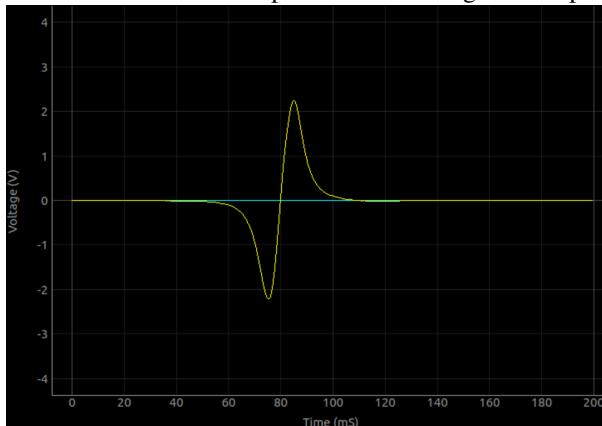
### 8.9.1 Objectif

Explorer la tension induite aux bornes d'un bobinage par un champ magnétique variable, en laissant tomber un petit aimant cylindrique à travers le bobinage. On utilise un tube pour guider l'aimant à travers le bobinage.

### 8.9.2 Procédure



- Cliquer sur năDémarrer le scanăz. Un trace horizontale devrait apparaître
- Laisser tomber laimant à travers la bobine, jusquà ce quon capture une trace.
- Recommencer le processus en changeant des paramètres comme la force de laimant, la vitesse, etc.



### 8.9.3 Discussion

Le résultat est montré sur la figure. Lamplitude augmente avec la vitesse de laimant. Daprès le graphique, on peut déterminer le temps que met laimant à traverser le bobinage.

Le deuxième pic est plus grand que le premier. Pourquoi? À quel endroit est censé se trouver laimant quand la tension induite passe par zéro? Laisser tomber laimant depuis différentes hauteurs et faire un graphique de la tension crête en fonction de la racine carrée de la hauteur de chute.



# CHAPITRE 9

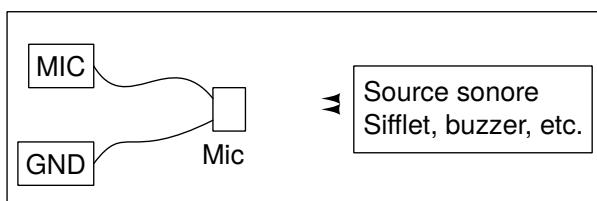
## Expériences sur le son

Les variations de pression, de part et d'autres d'une pression déquilibre, transmises par un milieu s'appellent un son. Ce sont des ondes longitudinales. Si on déplace une feuille de papier devant en arrière dans l'air on peut générer ce type d'ondes de pression, comme avec le cône en papier d'un haut-parleur. Quand la fréquence est dans l'intervalle de 20 à 20000 Hz, on peut entendre le son. Dans ce chapitre, on va générer du son à partir de signaux électriques, le détecter à l'aide du microphone (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 numérisé, avec la distance.

### 9.1 Réponse en fréquence d'un disque piézo-electrique

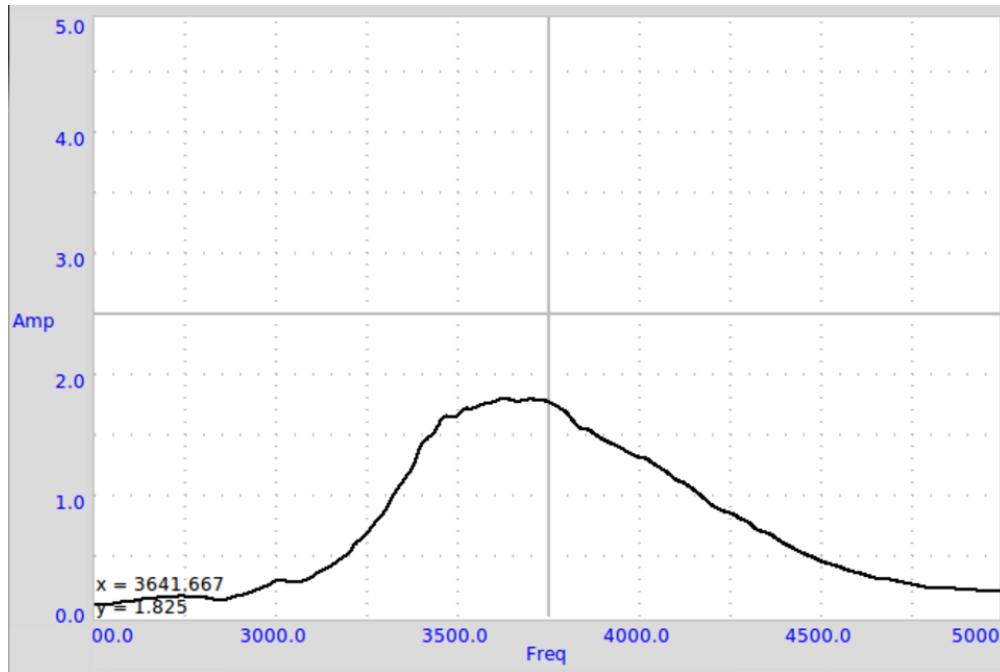
#### 9.1.1 Objectif

Faire le graphique de la courbe de réponse d'un disque piézo en scannant la fréquence et en mesurant l'amplitude à la sortie du microphone.



#### 9.1.2 Procédure

- Faire les connexions et fixer le buzzer et le microphone face à face
- Cliquer sur le bouton DÉMARRER



### 9.1.3 Discussion

Le graphique de l'amplitude en fonction de la fréquence est montré sur la figure. L'amplitude est maximale près de 3500Hz.

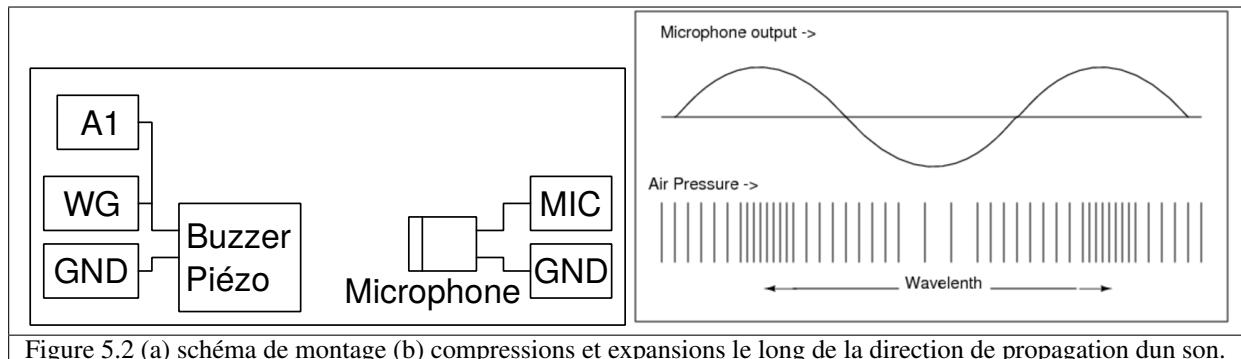
## 9.2 Vitesse du son

### 9.2.1 Objectif

Calculer la vitesse du son en mesurant les variations de pression selon la distance.

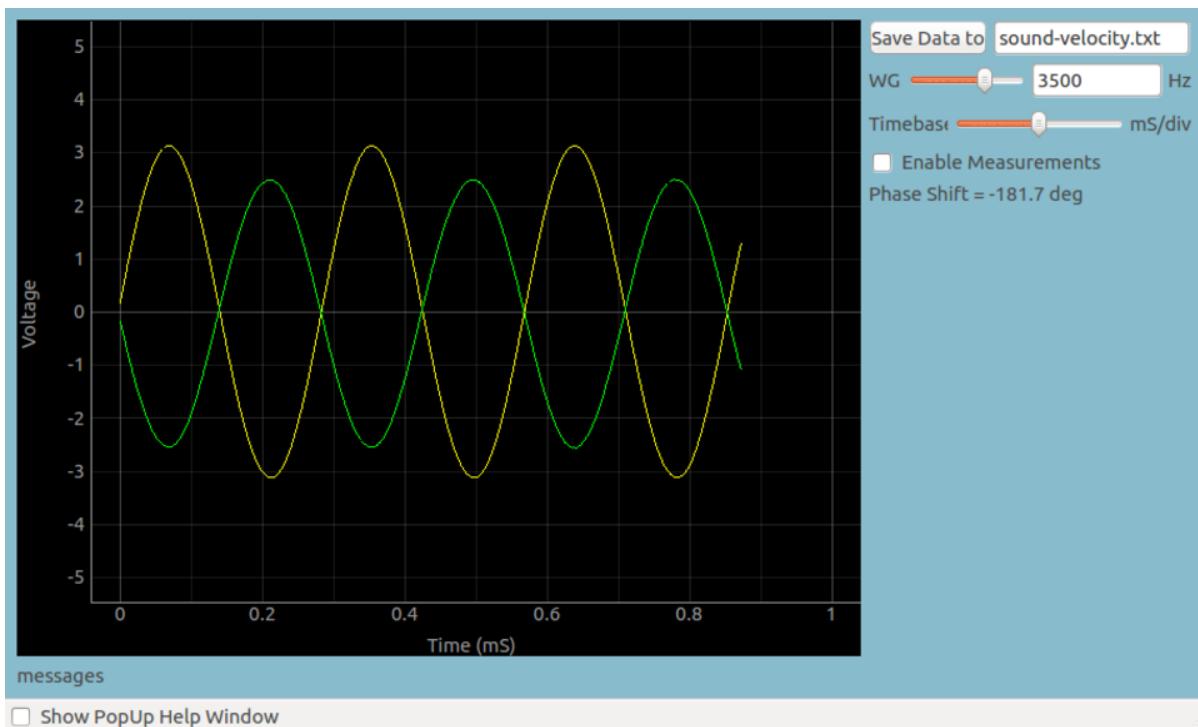
Le son voyage comme une série de compressions et d'expansions. La figure 5.2(b) montre les régions de haute et basse pression le long de la direction de propagation, en même temps que la sortie d'un capteur de pression aux positions correspondantes.

On peut faire un graphique des variations de pression à tout point en synchronisation avec la variation au point de départ. La phase de la sortie du microphone change quand on modifie sa distance au piezo. Quand on le déplace d'une longueur  $\lambda$ , la phase change de  $360^\circ$ . Si la phase change de  $X$  degrés pour un changement de la distance de  $\Delta D$ , la longueur  $\lambda$  est donnée par  $\lambda = (360 \times \Delta D)/X$ . On obtient la vitesse du son en multipliant cela par la fréquence.



### 9.2.2 Procédure

- Régler la fréquence au maximum de résonance en mesurant la réponse en amplitude 5.1
- Fixer le piézo face au microphone, le long dun axe
- Activer la mesure
- Ajuster la distance pour que les deux traces soient en phase
- Modifier la distance pour les déphasent de 180°; cette distance est la demi-longueur onde.



### 9.2.3 Discussion

À 3500Hz, un changement de distance de 2cm provoque un changement de phase de 176° à 102°. À laide de léquation,  $v = f \times (360 \times \Delta D)/X$ ,  $v = 3500 \times (360 \times 2)/(176 - 102) = 34054 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ . Il est important de conserver le microphone et le disque piézo sur le même axe pour des résultats précis.

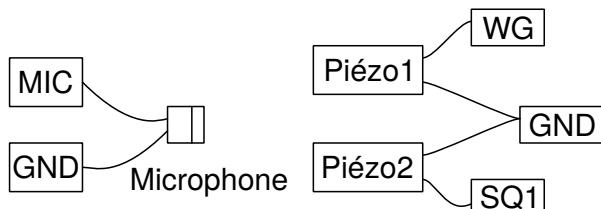
## 9.3 Battements sonores

Le phénomène de battements est dû à deux ondes sinusoïdales de même amplitude et de fréquences très proches qui se superposent. Lamplitude ou lintensité du signal combiné augmenterait et diminuerait à une fréquence égale à la différence entre les fréquences des deux signaux.  $f_b = f_1 - f_2$ .

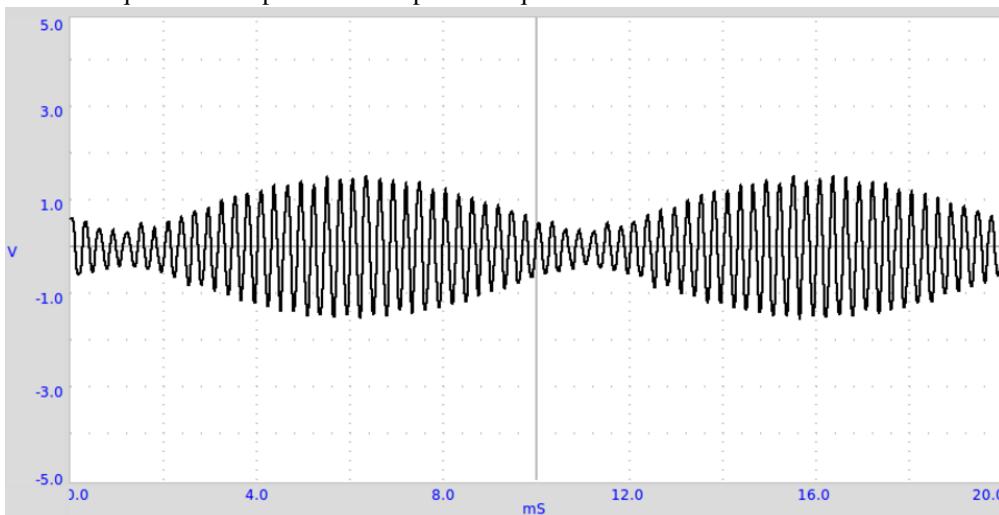
### 9.3.1 Objectif

Étudier les battements produits par deux buzzers piézo-électriques excités par deux signaux de fréquences voisines. Le son est capturé par un microphone.

### 9.3.2 Procédure



- Régler WG à 3500Hz et SQ1 à 3600Hz
- Activer WG et SQ1 séparément pour vérifier la sortie MIC
- Ajuster les positions des buzzers piézo, par rapport au microphone, pour obtenir pratiquement la même amplitude avec chacun
- Activer les deux en même temps pour obtenir la figure de battement
- Cliquer sur FFT pour voir les spectre fréquentiel



### 9.3.3 Discussion

Sur la figure on peut voir comment l'enveloppe de basse fréquence apparaît. La durée entre deux instants de pression minimale, sur l'enveloppe, correspond à la demi-fréquence des battements. La transformée de Fourier est montrée sur la figure.

# CHAPITRE 10

---

## Expériences de mécanique

---

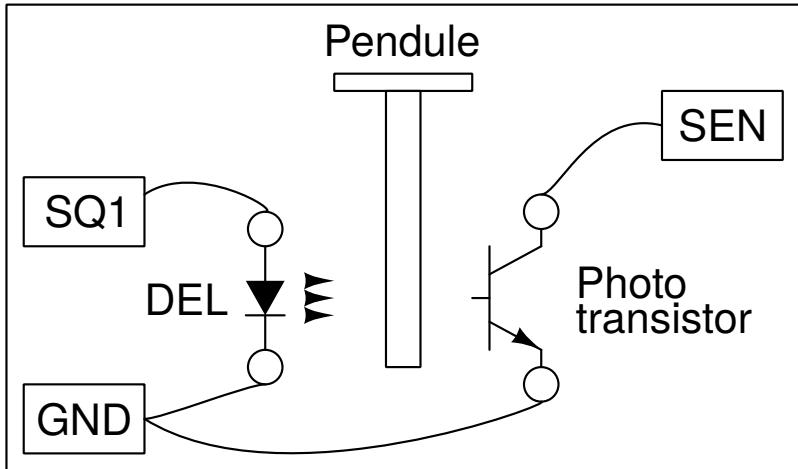
Les phénomènes de résonance sont étudiés avec le pendule forcé. On mesure la valeur de l'accélération due à la pesanteur à laide dun pendule

### 10.1 Accélération de la pesanteur à laide dun pendule pesant

La période des oscillations dun pendule dépend de sa longueur et de la valeur de la gravité. La période des oscillations dune barre uniforme (cas du pendule pesant) oscillant au bout dune de ses extrémités est donnée par  $T = 2\pi\sqrt{2l/3g}$ , où  $l$  est la longueur et  $g$  l'accélération due à la gravité.

#### 10.1.1 Objectif

Mesurer la période des oscillations dun pendule pesant à laide dune barrière photoélectriques. Le pendule (en forme de  $T$ , un bord de couteau fixé à une tige de diamètre 6mm) est mis à osciller entre une DEL et un photo-transistor, connectés à expEYES. La DEL et le photo-transistor sont montés sur un support en forme de  $U$  comme le montre la figure.



### 10.1.2 Procédure

- Mettre le pendule en oscillation et cliquer sur DÉMARRER
- Recommencer avec diverses longueurs de pendule.

### 10.1.3 Discussion

On peut mesurer la période d'oscillation avec une précision de  $100\mu s$ . Il y a cependant deux sources principales d'erreurs. La longueur est mesurée du bord du couteau au bas du pendule, puis utilisée dans la formule. Mais une petite fraction de la masse se situe au-dessus du bord du couteau et elle n'est pas considérée dans le calcul. De plus le calcul suppose que la barrière photoélectrique soit exactement à la verticale du pendule dans sa position de repos, ce dont il faut s'assurer.

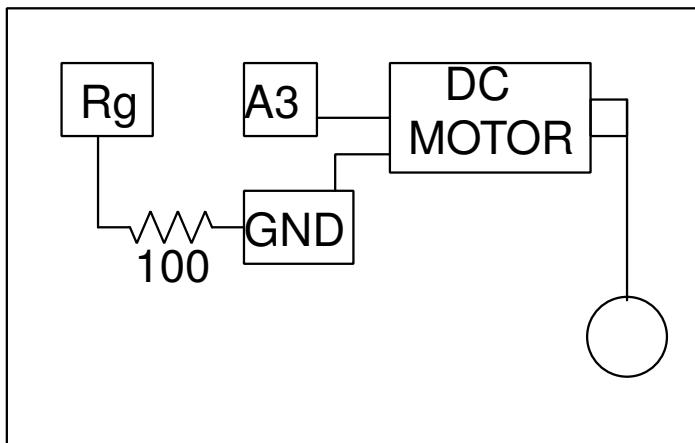
## 10.2 Vitesse angulaire dun pendule

On peut étudier la nature des oscillations d'un pendule en numérisant le déplacement angulaire de celui-ci en fonction du temps. En modélisant les résultats par une fonction sinusoïde, il est possible de déterminer la période temporelle. Cependant, c'est beaucoup moins cher de numériser la vitesse angulaire du pendule, à l'aide d'un simple moteur de DVD. Quand on fixe le pendule à l'axe du moteur et qu'on le laisse osciller, cela induit une tension proportionnelle à la vitesse angulaire.

### 10.2.1 Objectif

Numériser la vitesse angulaire d'un pendule pesant et calculer la valeur de  $g$  à partir des résultats.

### 10.2.2 Procédure



- Attacher un quelconque de pendule rigide à laxe du moteur;
- Connecter le moteur entre A3 et GND;
- Connecter une résistance de  $100 \Omega$  entre Rg et GND;
- Mettre le pendule en oscillation et DÉMARRER la numérisation.

### 10.2.3 Discussion

Le signal obtenu est montré sur la figure. Quand on le modélise par une équation  $A = A_0 \sin(\omega t + \theta) \exp(-Dt) + C$ , à laide de Grace, on a obtenu une fréquence angulaire de  $10 \text{ Hz}$ .

Il convient de réaliser le pendule avec une masselotte assez lourde et une tige légère qui la relie à laxe du moteur. Dans ce cas, le moteur à courant continu se comporte en générateur et la tension est proportionnelle à la vitesse angulaire.

## 10.3 Résonance dun pendule forcé

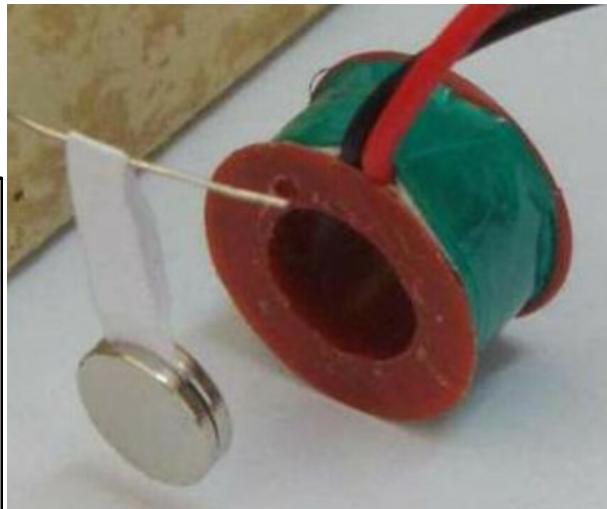
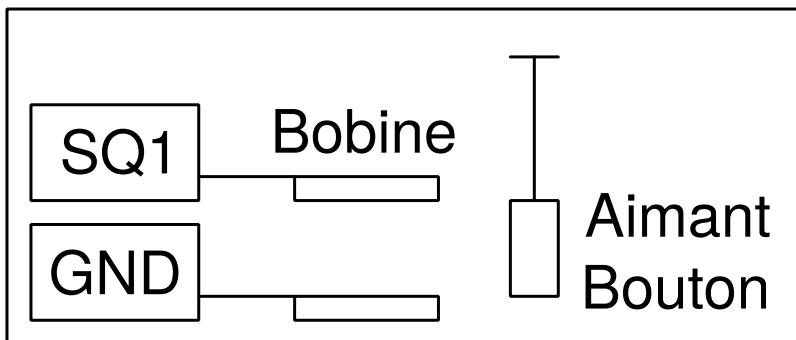
Lamplitude dun corps oscillant devient maximale quand la fréquence de la force d'excitation est égale à sa fréquence de résonance naturelle. Un pendule forcé est un exemple très simple de cette situation.

### 10.3.1 Objectif

Démontrer la résonance dun pendule forcé. On réalise l pendule à laide de deux boutons magnétiques, suspendus à un morceau de papier. Une bobine alimentée par SQ1 fournit la force d'excitation.

### 10.3.2 Procédure

Réaliser un pendule avec deux aimants boutons et un morceau de papier. Le suspendre et placer la bobine de 3000 turns à proximité, comme montré sur la figure.



- Connecter la bobine entre SQ1 et GND
- Calculer la fréquence de résonance daprès la longueur du pendule
- Scanner la fréquence au voisinage de la fréquence de résonance attendue

### 10.3.3 Discussion

Quand SQ1 atteint la fréquence de résonance du pendule, son amplitude augmente. Un pendule long de 4cm (du centre des aimants à laxe de rotation) a résonné à environ 2,5 Hz, presque conformément à la fréquence naturelle calculée. La fréquence de résonance est donnée par  $f = 1/(2\pi\sqrt{g/l})$ , où  $l$  est la distance du centre de laimant au point de suspension et  $g$  est laccélération de la pesanteur.

Recommencer lexpérience en modifiant la longueur du pendule.

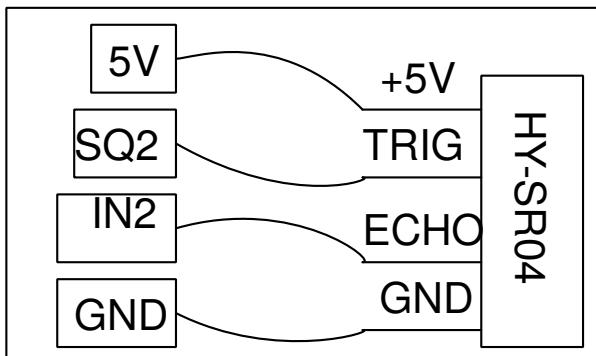
## 10.4 Mesure de distance, par écho ultrasonore

On peut mesurer une distance en envoyant une salve ultrasonore vers une cible et en mesurant lintervalle de temps de lécho. On trouve des modules électroniques à bon marché pour ce type dapplication. Le Hy-SR04 est un module de ce type, qui utilise une combinaison démetteur et récepteur piézo-électriques à une fréquence de 40kHz.

### 10.4.1 Objectif

Mesurer une distance en mesurant le temps que prend une salve de fréquence 40 kHz à faire un écho contre une surface dure, à laide dun module Hy-SR04.

### 10.4.2 Procédure



- Réaliser les connexions selon le schéma;
- Placer une surface dure, comme un carton, à quelques 10cm du module SR04;
- Cliquer sur DÉMARRER
- Changer la distance

### 10.4.3 Discussion

La distance est calculée à partir du temps que met une salve sonore à parcourir aller-retour (en écho) la distance qui sépare le module de la surface réfléchissante. On peut mesurer la distance en fonction du temps, ce qui permet de calculer vitesse, accélération, etc.

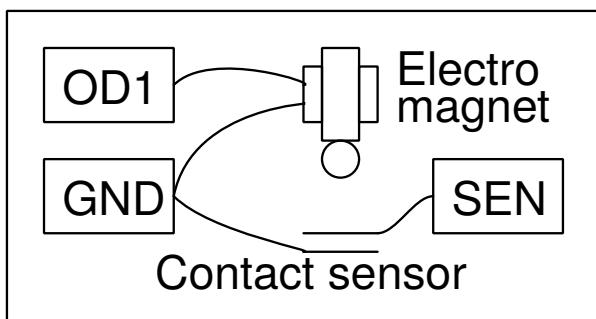
## 10.5 Mesure de gravité par temps de vol

On peut déterminer la valeur de l'accélération de la gravité en mesurant le temps de vol d'un objet en chute libre, pour une distance donnée.

### 10.5.1 Objectif

Mesurer l'accélération de la gravité par temps de vol

### 10.5.2 Procédure



- Placer la bille de fer sous l'électro-aimant;
- Placer le contact du capteur dessous, à une distance de quelques dizaines de centimètres;
- Cliquer sur DÉMARRER.

### **10.5.3 Discussion**

Le programme suppose qu'il n'y ait pas de délai entre la chute de la tension appliquée au bobinage et le début de la chute de la bille. Ce n'est pas exact et c'est une source d'erreur dans les résultats.

# CHAPITRE 11

---

## Autres expériences

---

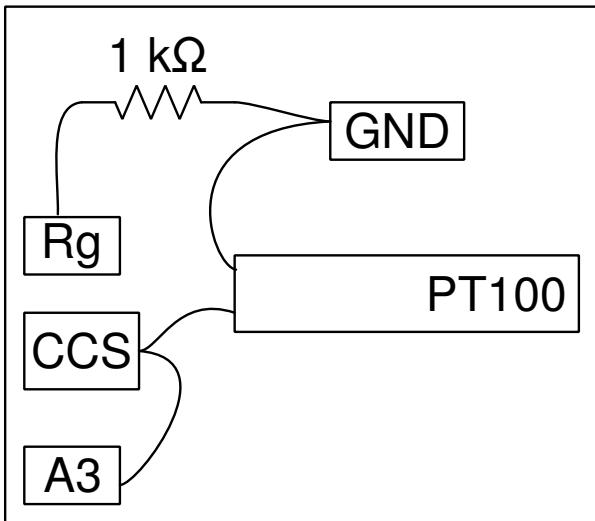
### 11.1 Mesure de température à laide dune sonde PT100

Le détecteur de température résistif (Resistance Temperature Detector, RTD) est un capteur dont la résistance change avec la température, typiquement fait en platine. Pour mesurer la résistance dun RTD, on applique un courant constant, on mesure la tension qui en résulte, et on détermine la résistance du RTD. Les sondes PT100 sont des RTD populaires avec une résistance de  $100\Omega$  à  $0^\circ\text{C}$ . La résistance dune sonde PT100 varie avec la température selon léquation  $R(T) = R_0(1 + AT + BT^2)$ , où  $A = 3,9083 \times 10^{-3}$  et  $B = -5,775 \times 10^{-7}$ .

#### 11.1.1 Objectif

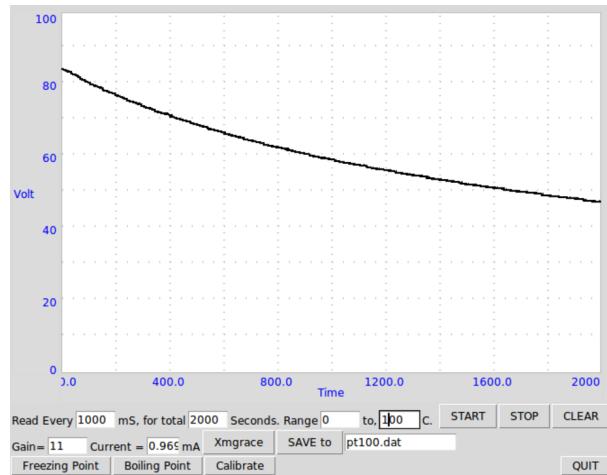
Enregistrer la température dun liquide à laide dun thermomètre à résistance de platine PT100.

### 11.1.2 Procédure



- Réaliser les connexions selon le schéma;
- Entrer le gain, l'erreur d'offset, et la valeur du courant de CSS;
- Sélectionner l'intervalle de température et les intervalles de temps;
- Sélectionner les paramètres requis et cliquer sur DÉMARRER.

La courbe de refroidissement d'un récipient d'eau est montrée ci-dessous.



### 11.1.3 Discussion

On peut augmenter la précision des mesures à l'aide des étapes suivantes.

Mesurer la valeur précise du courant donné par CSS en la saisir dans l'interface utilisateur, elle peut être légèrement différente de 1.1 mA. Le signal entrant en A3 est amplifié 11 fois quand on connecte une résistance de 1 kΩ entre Rg et GND. Le gain et l'offset devraient être mesurés et saisis dans le programme.

## 11.2 Enregistreur de données

L'enregistreur de données est un programme permettant à l'utilisateur d'enregistrer les entrées de tension en fonction du temps.

- Sélectionner les canaux A1, A2, A3 ou SEN;
- Les enregistrer avec l'intervalle de temps désiré.

## 11.3 Enregistreur de données avancé

### 11.3.1 Introduction

Lenregistreur de données ordinaire dont on est déjà familier peut enregistrer toute tension spécifiée en fonction du temps, cependant il est souvent désirable de faire varier un paramètre de sortie, et d'en étudier l'effet sur un autre aspect de l'expérience.

Avec l'enregistreur de données avancé, on peut choisir la variable X et la variable Y parmi la liste suivante:

- Entrées
  - le temps
  - la tension à: A1, A2, A3, IN1, SEN, AN8, CCS
  - la capacité
  - la résistance
  - depuis l'oscilloscope
    - la fréquence extraite, la phase, l'amplitude ou le décalage en utilisant un FIT avec un modèle sinusoïdal
    - la différence de phase entre A1 (toute entrée analogique) et A2. Aussi, le quotient des amplitudes.
  - la fréquence à l'entrée A2
  - tout capteur I2C connecté (magnétomètre, accéléromètre, capteur de température, gyromètre, etc.)
    - Sélectionner un paramètre de n'importe lequel des capteurs auto-détectés et présents dans la liste
  - capteur de distance SR04
- Sortie (il faut spécifier les valeurs de début et de fin)
  - la fréquence de WG en mode générateur sinusoïdal
  - les générateurs de signaux carrés SQ1, SQ2
  - les générateurs de tension programmables PV1, PV2

Exemples en ligne



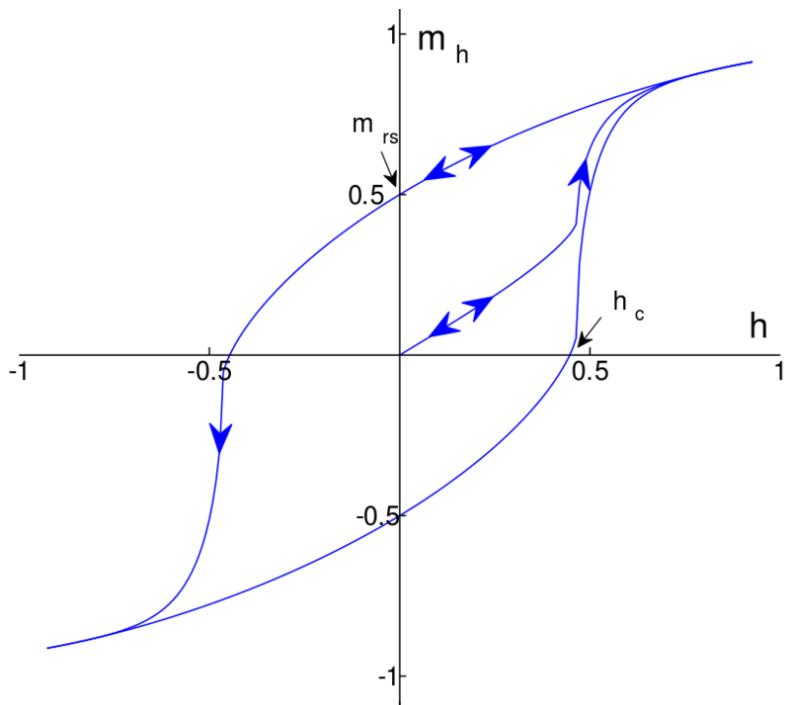
# CHAPITRE 12

Modules I2C

## 12.1 Courbe B-H

L'excitation magnétique ( $H$ ) créée par bobinage traversé par un courant dépend des paramètres du bobinage et du courant. Le champ magnétique ( $B$ ) dépend de  $H$  et de la perméabilité magnétique du milieu.  $B$  et  $H$  sont reliés par l'équation  $B = \mu H$  où  $\mu$  est la perméabilité.

La perméabilité n'est pas une constante pour les matériaux ferromagnétiques, comme le fer. Si on augmente  $H$ ,  $B$  augmente puis sature à un certain point. Quand on diminue  $H$ ,  $B$  ne diminue pas en suivant le même chemin, comme montré sur la figure.



### **12.1.1 Objectif**

Enregistrer l'hystérésis magnétique à l'aide d'un solénoïde connecté entre PV1 et GND, et un magnétomètre MPU925x connecté au port I2C.

### **12.1.2 Procédure**

- Connecter le bobinage entre PV1 et GND;
- Connecter le magnétomètre (MPU925x) au port I2C;
- Placer le solénoïde sur le capteur de telle façon que l'axe magnétique soit perpendiculaire au capteur;
- Acquérir les données: ce faisant, la tension de PV1 varie de 3.3V à -3.3V en cent étapes, puis revient de -3.3V à 3.3V. Cela produit un champ magnétique proportionnel au courant du solénoïde, qui est mesuré par le capteur et figuré par une courbe.
- Ajouter un matériau ferromagnétique comme une pince crocodile, et recommencer l'acquisition. Observer l'hystérésis pour divers matériaux.

## **12.2 Enregistreur de capteur de lumière**

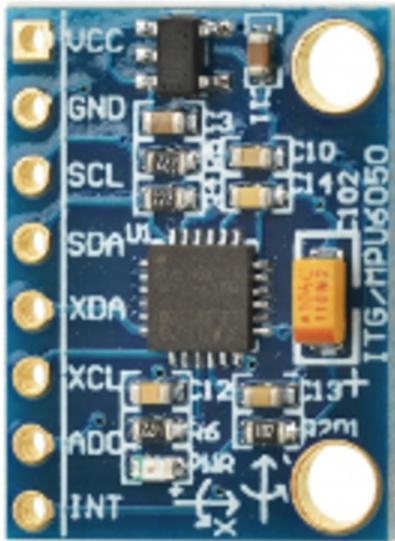
### **12.2.1 Schéma**

- Il s'agit d'enregistrer les valeurs de la luminosité à l'aide du capteur TSL2561.

### **12.2.2 Instructions**

- Connecter le capteur de lumière (TSL2561) au port I2C
- Régler le temps d'acquisition, l'intervalle entre deux mesures, et sélectionner les valeurs à considérer pour la courbe.
- Lancer l'acquisition des données en fonction du temps.

## 12.3 MPU6050



Module I2C avec un accéléromètre, un gyromètre et un capteur de température

- Connecter le module au port I2C. Les bornes utilisées sont VCC, GND, SCL et SDA seulement
- Sélectionner les paramètres qu'on veut mesurer
- Sélectionner la durée totale et le délai entre deux lectures consécutives.
- Cliquer sur le bouton de démarrage. Il est aussi possible d'arrêter la mesure avant quelle soit terminée
- Les données sont enregistrées au format texte, dans un format à deux colonnes (date, valeur), chacune séparée par une ligne vide.

## 12.4 Enregistreur I2C

Scanne les capteurs I2C connectés. On peut accéder aux capteurs découverts.



# CHAPITRE 13

---

## Coder en Python pour expEYES-17

---

### 13.1 Programmer ExpEYES à laide de Python

Les programmes à interface graphique décrit dans les chapitres précédents sont prévus pour un ensemble fini dexpériences. Pour développer de nouvelles expériences, on doit savoir comment accéder aux fonctionnalités dexpEYES par logiciel. Les appels de fonctions importants pour communiquer avec l'appareil sont donnés ci-dessous.

#### 13.1.1 Établir la Connexion

Pour accéder au matériel de EYES17, les modules Python pour eyes17 doivent être installés. Il sont censés se trouver dans un répertoire nommé eyes17, qui pourrait être dans votre répertoire personnel ou sur le nāPython PATHā.

**Tout programme doit commencer par les deux lignes suivantes:**

```
import eyes17.eyes
p = eyes17.eyes.open()
```

La variable p est l'objet logiciel qui représente le matériel.

Les sections suivantes expliquent les appels de fonctions Python pour accéder au matériel EYES17. Chaque appel de fonction est expliquer avec un exemple d'utilisation.

#### 13.1.2 set\_pv1(v), set\_pv2(v)

Règle la tension continue en PV1 et PV2. L'intervalle pour PV1 est de -5 à 5. L'intervalle pour PV2 est de -3,3 à 3,3.

```
print p.set_pv1(4)
print p.set_pv2(2.1)
```

La valeur assignée à la sortie est affichée. Mesurer les tensions avec un voltmètre.

### 13.1.3 get\_voltage(entree)

Renvoie la tension de l'entrée spécifiée.

```
print p.get_voltage('A1')
print p.get_voltage('A2')
print p.get_voltage('A3')
print p.get_voltage('MIC')
print p.get_voltage('SEN')
```

Connecter PV1 à A1, et utiliser `set_pv1()` et `get_voltage('A1')` ensemble. Cette fonction ajuste le calibre d'entrée par essais et erreurs, selon la valeur du signal d'entrée.

### 13.1.4 get\_voltage\_time(entree)

Renvoie un tuple, qui contient le timbre à date de l'ordinateur et la tension à l'entrée spécifiée.

```
print p.get_voltage_time('A1')
```

### 13.1.5 get\_resistance()

Renvoie la valeur de la résistance connectée à SEN, qui devrait être entre  $100\ \Omega$  et  $100\ k\Omega$  pour une précision raisonnable.

```
..code-block :: python
    print p.get_resistance()
```

### 13.1.6 get\_capacitance()

Renvoie la valeur de la capacité connectée en IN1 (fonctionne bien dans le domaine du  $pF$ )

```
print p.get_capacitance()
```

### 13.1.7 get\_version()

Renvoie la version du firmware.

```
print p.get_version()
```

### 13.1.8 get\_temperature()

Renvoie la température du processeur à l'intérieur de EYES17

```
print p.get_temperature()
```

### 13.1.9 set\_state(SORTIE=valeur)

Règle l'état logique de la sortie OD1, SQ1, etc. Connecter OD1 à A1 et lanceră:

```
p.set_state(OD1=1)
print p.get_voltage('A1')
```

### 13.1.10 set\_sine(fréquence)

Génère le signal sinusoïdal de la fréquence demandée sur WG (intervalle de 5 Hz à 5000 Hz). Toutes les valeurs intermédiaires ne sont pas possibles, la fonction renvoie la valeur effectivement adoptée.

```
print p.set_sine(502)
```

502.00803

### 13.1.11 set\_sine\_amp(amplitude)

L'amplitude peut être réglée à trois valeurs prédéfinies de tension crête(0 pour avoir 80 mV, 1 pour avoir 1 V, 3 pour avoir 3 V).

```
p.set_sine_amp(2)
```

Règle l'amplitude à 3 V crête.

### 13.1.12 set\_sqr1(fréquence)

Règle la fréquence de la sortie SQ1 (intervalle de 4 Hz à 1 MHz). Toutes les valeurs intermédiaires ne sont pas possibles, la fonction renvoie la valeur effectivement adoptée.

```
print p.set_sqr1(15030)
```

15030.53

### 13.1.13 set\_sqr1\_slow(fréquence)

Règle la fréquence de la sortie SQ1 (intervalle de 0,1 Hz à 1 MHz). Toutes les valeurs intermédiaires ne sont pas possibles, la fonction renvoie la valeur effectivement adoptée. La résolution est fine mais WG est désactivé quand on commande SQ1 de cette façon.

```
print p.set_sqr1_slow(0.5)
```

### 13.1.14 set\_sqr2(fréquence)

Similaire à set\_sqr1() mais SQ2 n'est pas disponible en même temps que WG, une seule des deux sorties est utilisable à la fois.

### 13.1.15 set\_sqr1(fréquence, rapportCyclique)

Règle la fréquence de la sortie SQ1 (intervalle de 0,1 *Hz* à 1 *MHz*). Toutes les valeurs intermédiaires ne sont pas possibles, la fonction renvoie la valeur effectivement adoptée.

```
print p.set_sqr1(1000, 30)           #1000 ~Hz, rapport cyclique 30%
```

### 13.1.16 get\_freq(entree)

Mesure la fréquence d'un signal carré sur l'entrée, IN2 ou SEN. Connecter SQ1 à IN2 et lancer le codeă:

```
p.set_sqr1(1000)  
print p.get_freq('IN2')
```

### 13.1.17 duty\_cycle(entree)

Mesure le rapport cyclique d'un signal carré , IN2 ou SEN. Connecter SQ1 à IN2 et lancer le codeă:

```
p.set_sqr1(1000, 30)  
print p.duty_cycle('IN2')
```

### 13.1.18 r2ftime(entree1, entree2)

Mesure l'intervalle de temps entre un front montant sur input1 jusqu'à un front descendant sur input2, les entrées peuvent éventuellement être les mêmes. On peut l'utiliser pour tester un signal carré.

Connecter SQ1 à IN2 et lancer le codeă:

```
p.set_sqr1(1000, 30)  
print p.r2ftime('IN2', 'IN2')
```

0.0003

Le signal carré à 1 *kHz* avec un rapport cyclique de 30% a une période de 1 *ms* et reste à l'état HAUT durant 0,3 *ms*.

### 13.1.19 multi\_r2ftime(entree, nbCycles)

Mesure l'intervalle de temps entre deux fronts montants de l'entrée *entree*. La durée entre deux fronts montants est un cycle. On peut spécifier le nombre cycles à mesurer, la valeur par défaut étant 1. Les valeurs autorisées sont 1,2,4,8,12,16,32 et 48. On peut tester ça avec un signal carré.

Connecter SQ1 à IN2 et lancer le codeă:

```
p.set_sqr1(1000)  
print p.multi_r2ftime('IN2', 8)
```

0.008

### 13.1.20 select\_range(canal, calibre)

Les calibres pour A1 et A2 peuvent être réglés depuis  $\pm 0.5 V$  jusqu'à  $\pm 16 V$ , à l'aide d'amplificateurs à gain programmable.

```
p.select_range('A1', 4)          # 4 volt maximum
p.select_range('A1', 8)          # 8 volt maximum
```

### 13.1.21 capture1(entree, nbEchantillons, intervalleTemps)

Numérise l'entrée spécifiée. Le nombre de échantillons peut aller jusqu'à 10000. La durée entre deux échantillons consécutifs est donnée en microseconde (intervalle de 2 à 1000  $\mu s$ ).

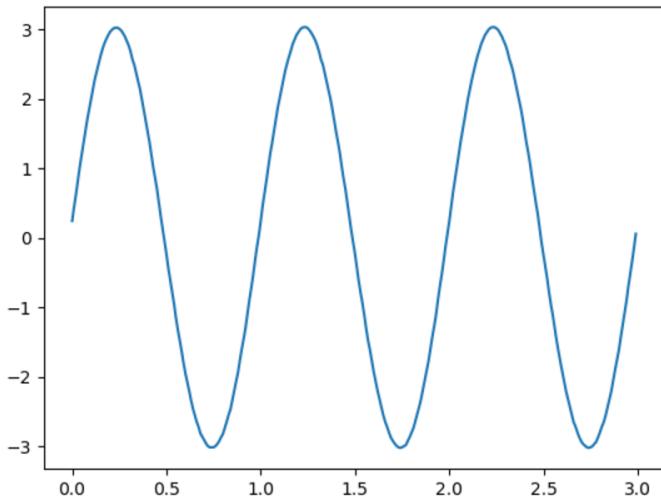
```
print p.capture1('A1', 5, 5)
```

affichera deux tableaux de dates et de tensions.

Quand on a besoin de créer un graphique de la tension de sortie pour une meilleure compréhension, on peut le faire à l'aide du module `matplotlib`, importé grâce à l'interface `pylab`. Connecter WG à A1 à l'aide d'un fil et lancerà:

```
from pylab import *
p.set_sine_amp(2)
p.set_sine(1000)
p.select_range('A1', 4)
t,v = p.capture1('A1', 300, 10)
plot(t,v)
show()
```

Le résultat de ce code est donné ci-dessous.



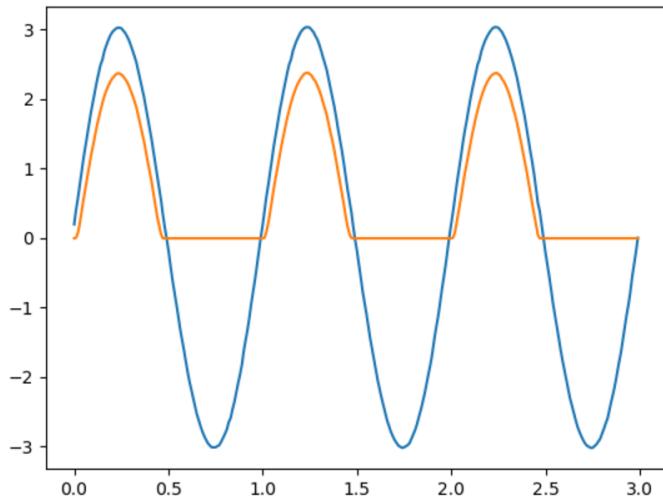
### 13.1.22 capture2(nbEchantillons, intervalleTemps)

Numérise les entrées A1 et A2 simultanément. Le nombre de échantillons peut aller jusqu'à 10000. La durée entre deux échantillons consécutifs est donnée en microseconde (intervalle de 2 à 1000  $\mu s$ ).

Connecter WG à A1, et une diode entre A1 et A2. Lancer le code ci-dessous:

```
from pylab import *
p.set_sine_amp(2)
p.set_sine(1000)
p.select_range('A1', 4)
t,v,tt,vv = p.capture2(300, 10)
plot(t,v)
plot(tt,vv)
show()
```

Le résultatat de ce code est donné ci-dessous.

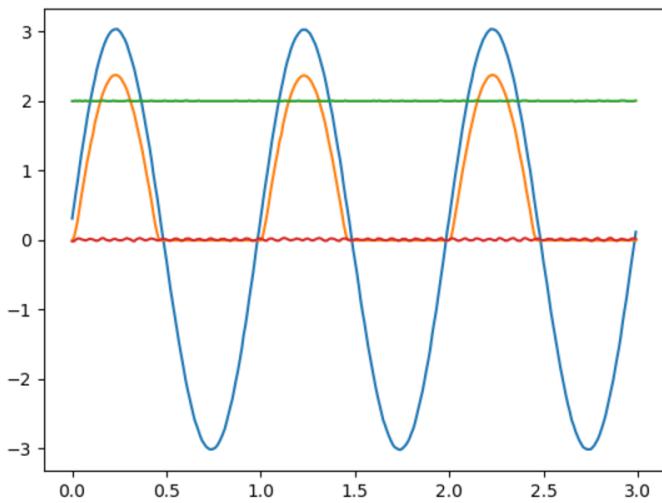


### 13.1.23 capture4(nbEchantillons, intervalleTemps)

Numérisse les entrées A1, A2, A3 et MIC simultanément. Le nombre déchantillons peut aller jusqu'à 10000. La durée entre deux échantillons consécutifs est donnée en microseconde (intervalle de 2 à 1000  $\mu s$ ).

Connecter WG à A3 et lancer le code donné ci-dessous. Le résultatat est montré ci-dessus.

```
from pylab import *
p.set_sine_amp(2)
p.set_sine(1000)
p.select_range('A1', 4)
res = p.capture4(300, 10)
plot(res[4],res[5])           # A3
plot(res[6],res[7])           # MIC
show()
```



### 13.1.24 set\_wave(fréquence, typeDeSignal)

Si le paramètre `typeDeSignal` n'est pas spécifié, cela génère un signal en utilisant la table donde existante. Si `typeDeSignal` est spécifié 'sine' ou 'tria', la table donde correspondante est chargée.

```
from pylab import *
p.set_wave(1000, 'sine')
p.set_wave(100)          # fréq. 100Hz avec la table existante
x,y = p.capture1('A1', 500,50)
plot(x,y)
p.set_wave(100, 'tria')  # table d'onde triangulaire et 100 Hz
x,y = p.capture1('A1', 500,50)
plot(x,y)
show()
```

### 13.1.25 load\_equation(fonction, intervalle)

Crée la table donde en utilisant l'équation. Connecter WG à A1 et lancer le code ci-dessous. Le résultat est montré plus bas.

```
from pylab import *

def f1(x):
    return sin(x) + sin(3*x)/3

p.load_equation(f1, [-pi,pi])
p.set_wave(400)
x,y = p.capture1('A1', 500,10)
plot(x,y)
show()
```

### 13.1.26 load\_table(table)

On peut aussi charger la table donde avec un tableau de 512 éléments. Connecter WG à A1 et lancer le code ci-dessous. Après l'opération de valeur absolue, la table commence par 256, puis descend jusqu'à 0 et enfin remonte jusqu'à 255, ce qui trace un signal triangulaire. Le résultat dû à ce tableau est montré ci-dessus.

```
from pylab import *
x = arange(-256, 256)
x = abs(x)
p.load_table(x)
p.set_wave(400)
x,y = p.capture1('A1', 500, 10)
plot(x,y)
show()
```

