

## **UE DIE – Découverte Informatique Electronique**

### **Polycopié de TP d'électronique**

**Salle de TP salle 013 au bât 6  
(entrée par le milieu du bâtiment)**



Equipe pédagogique :

[Sophie.Allain@univ-rennes1.fr](mailto:Sophie.Allain@univ-rennes1.fr)

[Christian.Brousseau@univ-rennes1.fr](mailto:Christian.Brousseau@univ-rennes1.fr)

[Samuel.Crand@univ-rennes1.fr](mailto:Samuel.Crand@univ-rennes1.fr)

[Clement.Ferise@univ-rennes1.fr](mailto:Clement.Ferise@univ-rennes1.fr)

[Souhir.Gabsi@univ-rennes1.fr](mailto:Souhir.Gabsi@univ-rennes1.fr)

[Damien.Hardy@univ-rennes1.fr](mailto:Damien.Hardy@univ-rennes1.fr)

[Olivier.Lafond@univ-rennes1.fr](mailto:Olivier.Lafond@univ-rennes1.fr)

[Patrick.Lamy@univ-rennes1.fr](mailto:Patrick.Lamy@univ-rennes1.fr)

[Jordane.Lorandel@univ-rennes1.fr](mailto:Jordane.Lorandel@univ-rennes1.fr)

[Christophe.Moy@univ-rennes1.fr](mailto:Christophe.Moy@univ-rennes1.fr)

[Anne-Claude.Tarot@univ-rennes1.fr](mailto:Anne-Claude.Tarot@univ-rennes1.fr)



## Sommaire

<b>Partie 1 : Présentation .....</b>	<b>4</b>
1. Rappels : tension et courant .....	4
2. Signaux analogiques et numériques .....	4
3. Les composants .....	6
4. La carte capteur .....	9
5. Les Appareils utilisés en TP .....	12
 <b>Partie 2 : Expérimentations .....</b>	 <b>15</b>
1. Mesure d'une tension à l'aide de l'oscilloscope .....	16
2. Etude d'un filtre passe-bas .....	19
3. Etude d'un amplificateur de tension.....	25
4. Etude d'un comparateur entre une tension variable et une tension continue.....	29
5. Etude d'un Convertisseur Analogique Numérique – CAN .....	33
6. Etude d'un Convertisseur Numérique Analogique – CNA .....	39
7. Test de la chaîne de traitements .....	46
 <b>Partie 3 : Les capteurs .....</b>	 <b>50</b>
1. Joystick .....	50
2. Capteur Ultrason .....	54
3. Capteur de température - LM35 .....	58
4. Capteur de lumière .....	60
5. Capteur de son .....	62
6. Fusion des données des capteurs .....	65
 <b>Annexe 1 .....</b>	 <b>68</b>
 <b>Annexe 2 .....</b>	 <b>69</b>

## IMPORTANT – À LIRE IMPERATIVEMENT

- ⦿ **ABSENCE** : une absence injustifiée entrainera un 0 pour le TP concerné et 2 absences injustifiées entraineront un 0 à la note de TP globale.
- ⦿ **AVANT LA 1<sup>ERE</sup> SEANCE** :
  - 1 - Vous devez lire la partie 1 du poly et regarder les vidéos disponibles sur le lien <https://foad.univ-rennes1.fr/course/view.php?id=1006235>.
  - 2 - Ensuite répondre individuellement aux questions notées.

**ACCES MOODLE** : Pour accéder à vos cours sur e-formation, allez à la page <http://ent.univ-rennes1.fr> onglet formation → Mes cours en ligne.

Ensuite, cliquez sur Accès Cours et programme. Une fois connecté, la liste de vos cours auxquels vous êtes inscrit apparaît.

Ou directement sur <https://foad.univ-rennes1.fr/my/>

- ⦿ **TRAVAIL INDIVIDUEL** :
  - 1 - Les TP sont à lire et à préparer avant chaque séance
  - 2 - Préparer un TP cela veut dire : surligner les informations importantes, préparer vos questions pour les enseignants, repérer les mesures que vous devrez faire.
- ⦿ **TRAVAIL EN BINÔME** : Le document de réponses des TP est un document personnel à compléter durant les séances de TP. Par conséquent, chaque personne du binôme complète son document. Il vous permettra de présenter, expliquer vos résultats expérimentaux et sera utilisé comme support pour échanger avec les enseignants. De plus, il vous sera utile pour préparer l'examen final (QCM).
- ⦿ **EVALUATION** : La note de DIE comporte la note de TP (2/3) et la note du QCM final sur table (1/3)

# Partie 1 : Présentation

Durant les séances de travaux pratiques d'électronique de l'UE DIE, vous utiliserez la carte capteur qui vous sera présentée lors de la 1<sup>ère</sup> séance.

## 1. RAPPELS : TENSION ET COURANT

En électronique, l'information utile aux traitements (son, vidéo) est transmise par deux grandeurs physiques : le courant et la tension.

L'unité du courant est l'ampère (A) et celle de la tension est le volt (V).

La tension est associée à l'existence d'un champ électrique aux bornes d'un conducteur électrique. (voir [fr.wikipedia.org/wiki/Tension\\_électrique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Tension_électrique))

Le courant est dû au déplacement des charges électriques au sein de ce conducteur soumis à un champ électrique. (voir [fr.wikipedia.org/wiki/Courant\\_électrique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Courant_électrique))

Dans la majeure partie des cas, la grandeur utilisée pour effectuer les différents traitements d'une application est la tension, plus aisée à observer. En effet, lorsqu'on souhaite effectuer une mesure, il faut que cette dernière impacte le moins possible le fonctionnement du circuit.

La mesure d'une tension consiste à relever la différence de potentiel entre deux points à l'aide d'un voltmètre ou d'un oscilloscope. L'appareil de mesure est connecté en parallèle du circuit sans en modifier la structure.

## 2. SIGNAUX ANALOGIQUES ET NUMERIQUES

L'électronique a pour fonction principale de faciliter l'interaction avec notre environnement représenté par différentes grandeurs physiques (température, luminosité, vibrations mécaniques, ...) qui sont traduites en grandeurs électriques (tension/courant) à l'aide de capteurs.

Les tensions/courants générées vont représenter l'information utile. Par conséquent, tout l'enjeu de l'électronique va consister à manipuler cette information pour la stocker, la traiter, l'analyser, l'exploiter.

Pour effectuer ces différentes tâches, il est possible d'utiliser les signaux dans les domaines analogique et numérique.

Une tension dite analogique est une tension continue dans le temps et dans l'espace (amplitude). Elle est représentée par une infinité de valeurs dans ces deux dimensions. Par conséquent, une tension analogique correspond parfaitement à la grandeur physique mais certaines tâches peuvent être plus difficiles à réaliser. Par exemple, si on souhaite mémoriser une tension analogique, il est nécessaire de stocker une infinité de valeurs différentes.

Pour faciliter l'exécution de certains traitements, la tension analogique est convertie en une tension numérique.

Cette tension dite numérique est une tension discrétisée dans le temps et dans l'espace. Elle est donc représentée par un nombre fini d'échantillons dans le temps (fréquence d'échantillonnage) et dans l'espace (résolution en amplitude).

Cette représentation en un nombre fini de données (échantillons) facilite les traitements et peuvent être exécutés par des machines numériques (microcontrôleur, processeur) présents dans les objets électroniques quotidiens (ordinateur, téléphone portable, montre connectée, vélo électrique, ... )

La traduction d'une tension analogique en numérique est appelée conversion analogique numérique et l'opération inverse, conversion numérique analogique.

Ces deux opérations sont effectuées physiquement par un CAN (**Convertisseur Analogique Numérique**) et par un CNA (**Convertisseur Numérique Analogique**).

Les deux paramètres les plus importants d'un CAN et d'un CNA, sont la **résolution** et la **fréquence d'échantillonnage**.

La résolution représente en nombre de bits, c'est à dire le nombre de valeurs distinctes que la tension peut prendre. Par exemple, un convertisseur (CAN) 10 bits permet de convertir une tension analogique en 1024 ( $2^{10} = 1024$ ) valeurs différentes.

La fréquence d'échantillonnage permet de définir le nombre d'échantillons disponibles de la tension sur la durée d'une seconde. Par exemple, un convertisseur (CAN) ayant une fréquence d'échantillonnage d'1 MHz permet de générer 1 million d'échantillons distincts en 1 seconde.

### 3. LES COMPOSANTS

#### ⦿ Résistance

L'unité de résistance est l'Ohm ( $\Omega$ ). Les multiples souvent utilisés sont le kilo-Ohm ( $1\text{k}\Omega = 10^3 \Omega$ ) et le méga-Ohm ( $1\text{M}\Omega = 10^6 \Omega$ ). La résistance est donnée par la loi d'Ohm :  $R = \frac{U}{I}$ . Sur chaque résistance, la valeur de la résistance et sa précision sont indiquées par un code couleur (Figure 1)

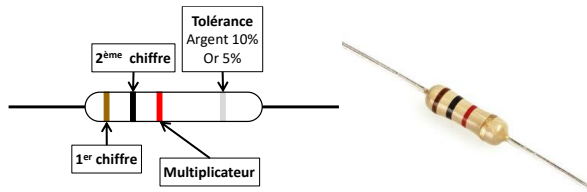


Figure 1 : Code couleur des résistances

#### ⦿ Potentiomètre

Un potentiomètre est une résistance variable que l'on peut régler à l'aide d'une molette.

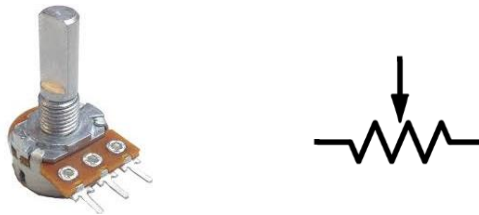


Figure 2 : Potentiomètre (photo et schéma)

#### ⦿ LED (Light Emitted Diode)

Une LED ou DEL (Diode ÉlectroLuminescente) émet une lumière lorsqu'elle est parcourue par un courant (diode passante). Elle est éteinte lorsqu'elle n'est pas parcourue par un courant (diode bloquée).



Figure 3 : LED (photo et schéma)

#### ⦿ Condensateur

Le condensateur est un composant électronique qui permet de stocker de l'énergie. Son unité est le farad (F).

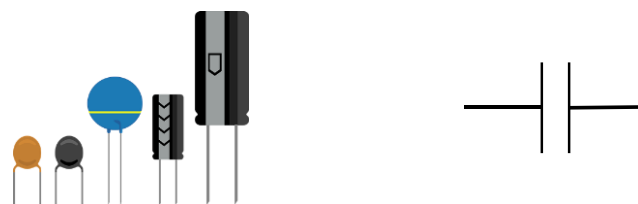


Figure 4 : Condensateur (photo et schéma)

## ☺ Capteurs

Les capteurs permettent de mesurer une grandeur physique à l'aide d'une grandeur électrique. Tous les capteurs utilisés dans les TP sont décrits par la suite : le joystick, le capteur ultra-sons, le capteur de température, le capteur de son et le capteur de lumière.

## ☺ Circuits intégrés

Les circuits intégrés sont des composants électroniques complexes constitués de plusieurs fonctions et composants à l'intérieur d'un boîtier. Ils sont en général alimentés par une source extérieure de tension. Les circuits intégrés suivants seront utilisés dans les séances de travaux pratiques.

### ☺ Amplificateur (AOP) TL081

Il a 5 connexions :

- 2 connexions pour l'alimentation symétrique **V<sub>CC-</sub>** et **V<sub>CC+</sub>** : broches 4 et 7
- 2 entrées **IN-** et **IN+** : broches 2 et 3
- 1 sortie **OUT** : broche 6

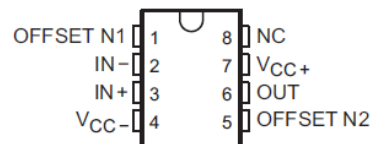
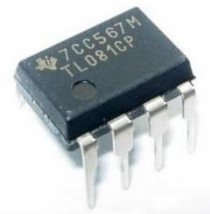


Figure 5 : TL081 (photo et schéma)

### ☺ CAN, CNA

Ces Convertisseurs Analogique-Numérique et Numérique-Analogique sont décrits page 33 et page 39 du polycopié.



## • Carte microcontrôleur Arduino UNO

La figure 6 reproduit le brochage de la carte Arduino UNO. Le composant principal présent sur la carte Arduino est un microcontrôleur alimenté (tension de 5 Volts) par la prise USB reliée à un ordinateur.

Les connexions sont :

- les 14 entrées/sorties numériques (repérées 0 à 13) pouvant fonctionner en entrée ou en sortie sous le contrôle du programme. Elles admettent et délivrent des signaux logiques (niveau bas : 0V et niveau haut : 5V).
- les 6 entrées analogiques (repérées A0 à A5) comprises entre 0 et 5 volts. Ces entrées analogiques sont gérées par un convertisseur analogique/numérique de 10 bits.

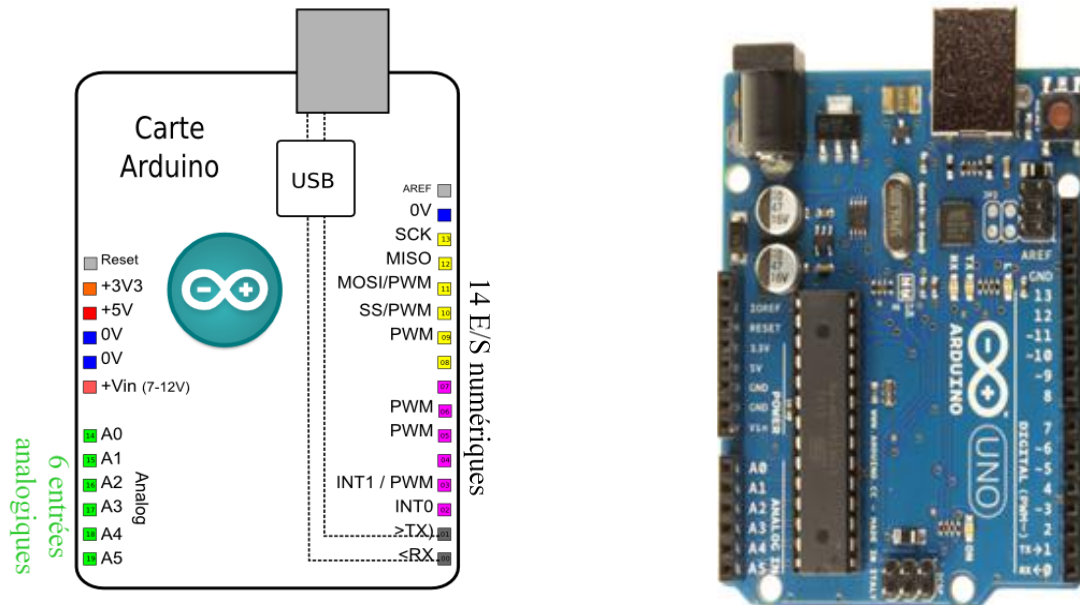


Figure 6 : Carte ARDUINO/UNO

## 4. LA CARTE CAPTEUR

La carte capteur (figures 7 et 9) est disponible sur chaque table et sera utilisée pour réaliser différentes mesures. Elle est composée de tous les éléments et composants décrits précédemment.

La figure 8 représente un schéma-blocs des fonctions de la carte capteur qui seront utilisées durant les séances. Ce schéma est décomposé en blocs :

- Le bloc capteurs dont les sorties sont traitées par le microcontrôleur,
- le microcontrôleur Arduino,
- le bloc conversion commandé par le microcontrôleur,
- le bloc traitement de la tension après conversion,
- l'alimentation utile pour un grand nombre de composants. Elle est symétrique -15V/+15V,
- le potentiomètre qui permet d'obtenir une tension variable.

Il est aussi possible de rajouter une tension  $V_e$  en entrée qui peut être continue, sinusoïdale, carrée ou autre. Cette carte contient 2 sorties OUT1 et OUT2.

Les quatre interrupteurs permettent de choisir différentes configurations et tensions d'entrée pour les blocs. Afin de réaliser les mesures et de visualiser les tensions lors des travaux pratiques, vous disposez de nombreux Points Test (PT) sur la carte.

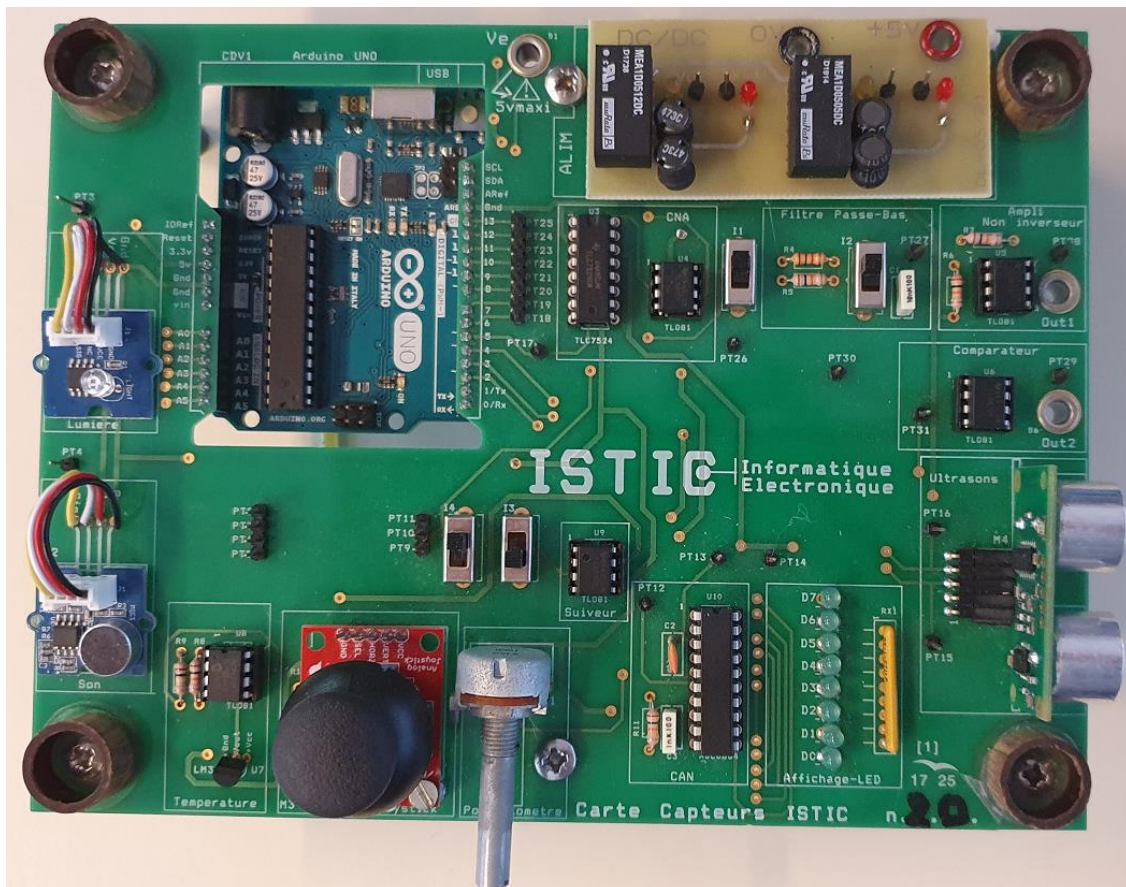


Figure 7 : Photo de la carte

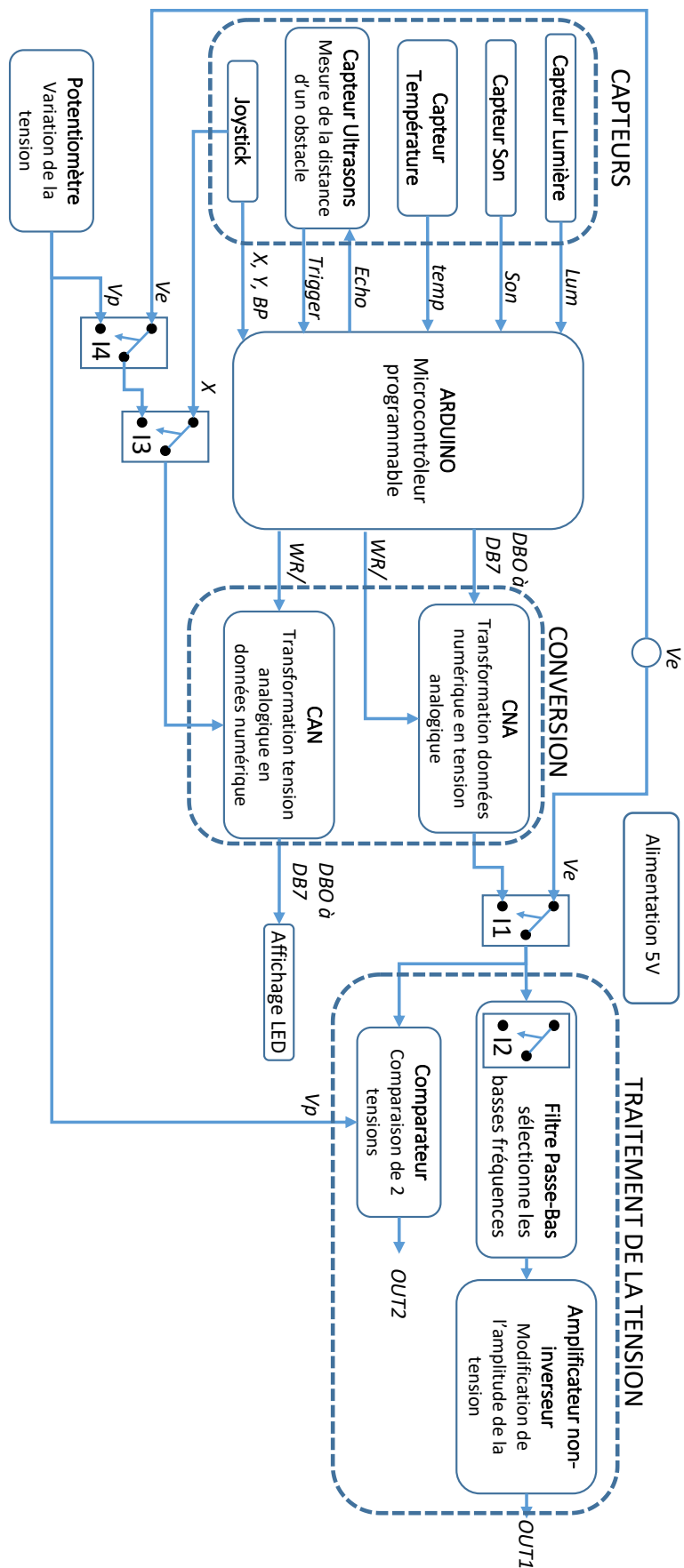


Figure 8 : Schéma-blocs de la carte

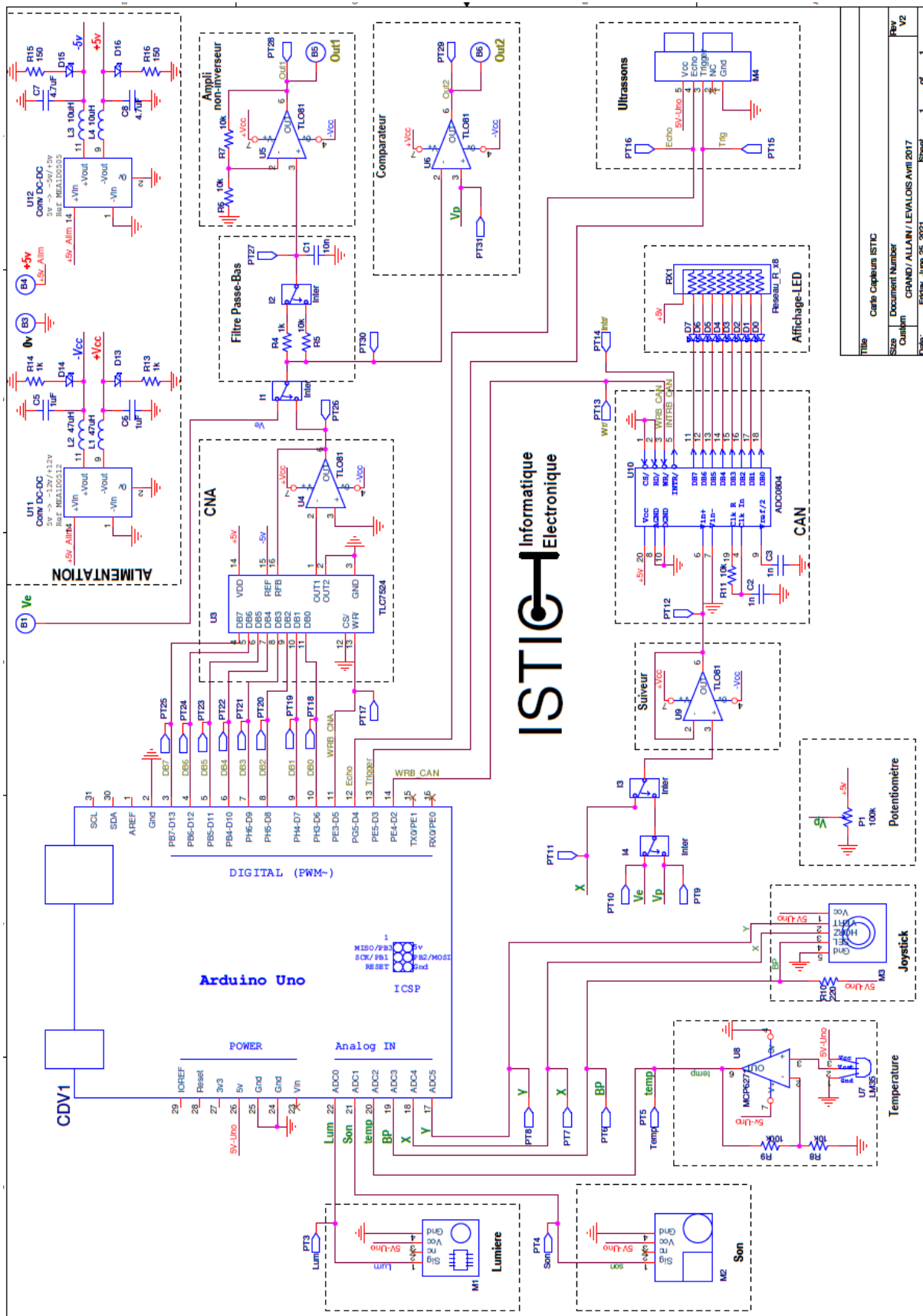


Figure 9 : Schéma électronique de la carte capteur

## 5. LES APPAREILS UTILISES EN TP

### 5.1. Alimentation – GPS-3303

Les alimentations sont des générateurs de signaux constants (ou continus) comme les piles, les accumulateurs, dynamos.

En travaux pratiques d'électronique, l'alimentation est utilisée afin de générer une tension continue (non-variable avec le temps).

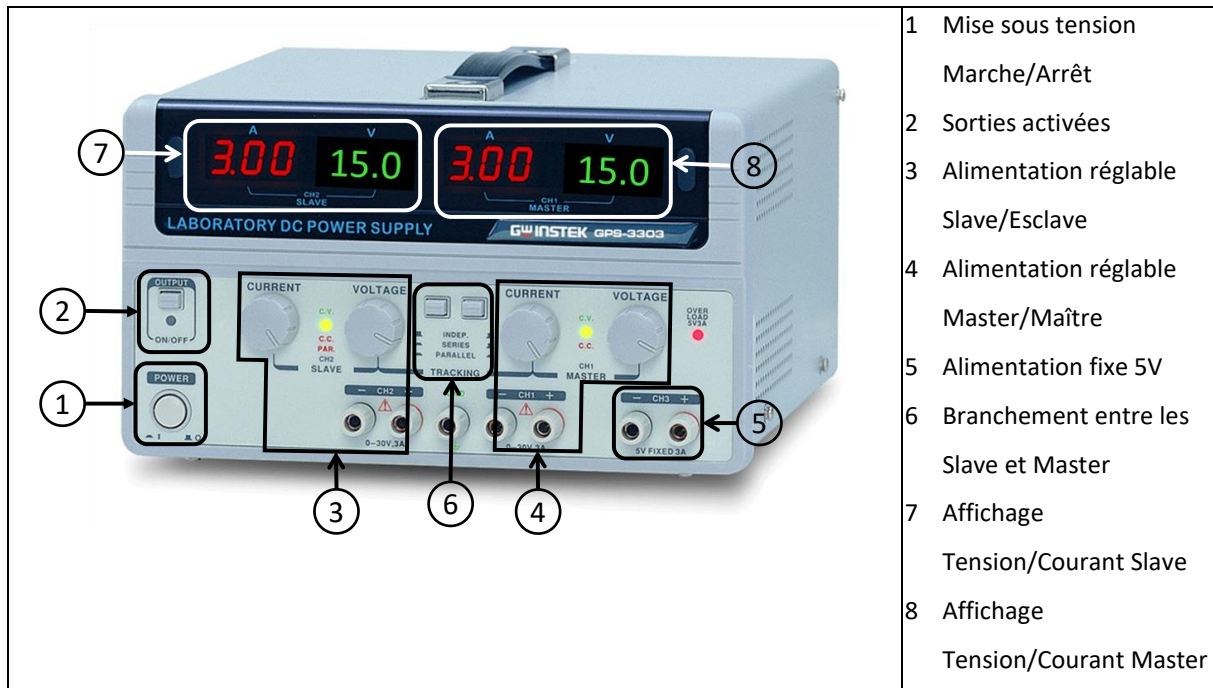


Figure 10 : Alimentation

## 5.2. Générateur de signaux Basses Fréquences (GBF) – SFG-2104

Un signal est une grandeur physique quelconque (acoustique, lumineuse, électrique ...), généralement variable avec le temps, qui transporte des informations.

Utilisé en salle de travaux pratiques d'électronique, le générateur de signaux basses fréquences présenté sur la figure 11 permet de créer des tensions variables avec le temps.

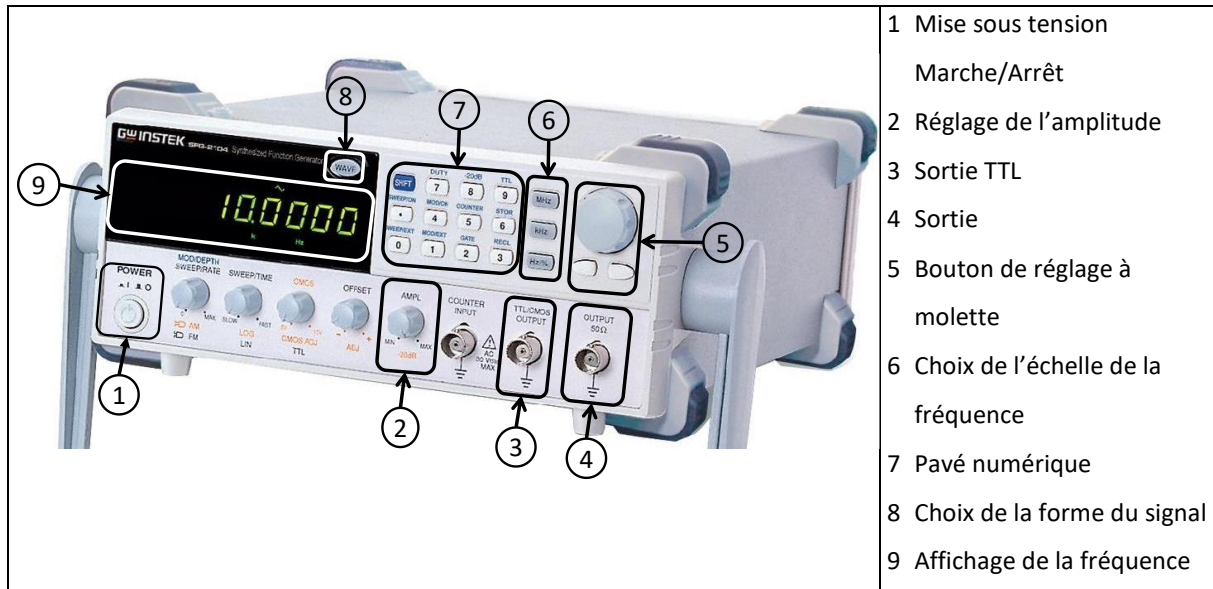


Figure 11 : Générateur Basses Fréquences (GBF)



### 5.3. Oscilloscope – GDS-1022

L'oscilloscope est un appareil électronique qui permet de visualiser des tensions en fonction du temps.

En salle de TP, l'oscilloscope numérique de la figure 12 est utilisé et permet de visualiser une ou deux tensions.

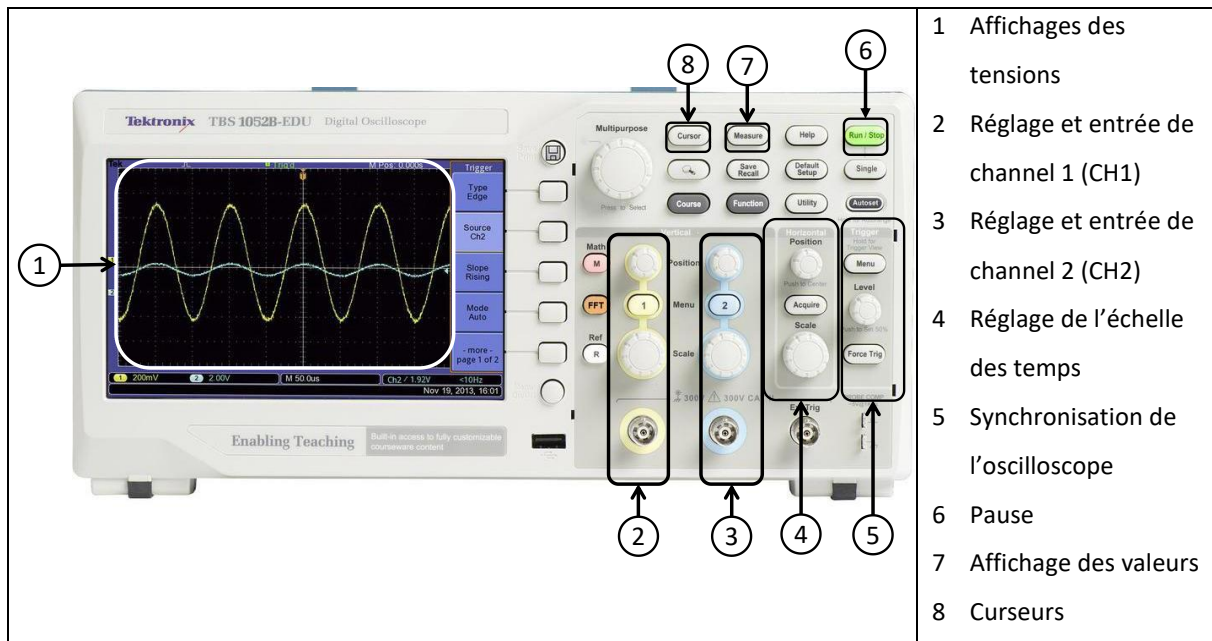


Figure 12 : Oscilloscope

#### Quelques explications

Les zones 2 et 3 permettent de régler la visualisation des tensions appliquées sur la borne BNC via l'adaptateur « BNC vers 2 fils ». Elles permettent de positionner, par exemple la trace du signal au centre de l'écran et de sélectionner le calibre « tension » permettant une visualisation optimale.

La zone 4 permet de régler la durée d'observation de la tension via le calibre « temps »

La zone 5 permet de synchroniser la tension à observer pour que cette tension dite périodique apparaisse comme stable à l'écran. Ce signal stable permet de l'observer distinctement et d'effectuer des mesures.

## Partie 2 : Expérimentations

### Remarques et précautions de câblage

- Les entrées de l'oscilloscope sont de type BNC. Chacune est associée à un adaptateur « BNC vers 2 fils ». Chacun des 2 fils est d'une couleur distincte : rouge et noire.
- L'entrée noire est utilisée pour la masse.
- L'entrée rouge est utilisée pour la tension à visualiser.
- La masse est le référentiel de mesures des différentes tensions du circuit. Dans la suite des TP, la masse sera la référence 0V et toutes les tensions seront mesurées entre la masse (0V) et le potentiel.
- Ne prendre que les cordons nécessaires et les ranger à la fin de la séance
- Avant d'effectuer vos mesures toutes les masses des appareils doivent être connectées entre elles à l'aide de fils noirs.
- Ne pas débrancher la carte du générateur de tension continue qui délivre une tension de 5 V.
- Pour visualiser/mesurer une tension disponible sur un point de test de la carte, vous devez utiliser un câble de type grippe fil. La fiche banane de ce câble est connectée à l'appareil de mesure (par exemple l'oscilloscope) et l'autre extrémité correspondant au grippe-fil (petite pince à actionner manuellement) doit être connectée au point de test (par exemple PT17 de la carte de prototypage, voir figure 7)



# 1. Mesure d'une tension à l'aide de l'oscilloscope

**OBJECTIF** : Apprendre à utiliser un oscilloscope.

## 1.1. Mesure de tensions continues et fixes

**Objectif** : A l'aide de l'oscilloscope, mesure des tensions d'alimentation nécessaires au fonctionnement de l'ensemble des composants présents sur la carte.

La carte est alimentée par un générateur de tension (figure 10) fournissant une tension fixe de 5V.

**Ne débranchez pas la carte du générateur de tension continue.**

## MANIPULATION

1.1.1. Avant d'effectuer des mesures avec l'oscilloscope, quelques réglages sont nécessaires :

- a) Positionner l'oscilloscope en couplage GND
- b) Positionner la référence 0V au milieu de l'écran.
- c) Positionner l'oscilloscope en DC (menu couplage : DC)
- d) Positionner le calibre d'amplitude de l'oscilloscope sur 5 V/div
- e) Positionner le calibre de la base de temps sur 1 ms/div.

1.1.2. Brancher la carte à l'alimentation (fil noir = 0V et fil rouge = 5V)

1.1.3. Mesurer la tension 5V générée par l'alimentation.

1.1.4. Modifier le calibre de l'oscilloscope Volts/div : 500mV, 1V, 2V et 5V.

Qu'observez-vous ?

Est-ce que cela change vos mesures à l'oscilloscope ? Pourquoi ?

1.1.5. Indiquer le calibre permettant la mesure la plus précise

1.1.6. Modifier calibre de la base de temps (échelle de temps) sur 100  $\mu$ s/div.

Pourquoi, vos mesures à l'oscilloscope ne sont pas modifiées ?

## 1.2. Mesure d'une tension variable

**OBJECTIF** : Mesure d'une tension de type sinusoïdal, variable en amplitude et en fonction du temps à l'aide de l'oscilloscope.

$$V_e = V_{me} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F_e \cdot t)$$

Avec :  $F_e$  représente la fréquence de la tension. Son unité est le Hertz (Hz)

$T_e = 1/F_e$  représente la période de la tension. Son unité est la seconde (sec)

$V_{me}$  représente la tension maximale. Son unité est le Volt (V)

$t$  représente le temps. Son unité est la seconde

## MANIPULATION

1.2.1. Configurer le générateur basse fréquence (GBF) (figure 11)

- Sélectionner la forme d'onde (tension) sinusoïdale.
- Régler la fréquence à 1kHz
- Régler l'amplitude à 2V (la tension varie entre -2V et +2V)

1.2.2. Régler l'oscilloscope

- Positionner le calibre d'amplitude sur 500mV/div
- Positionner la base de temps à 500  $\mu$ s/div

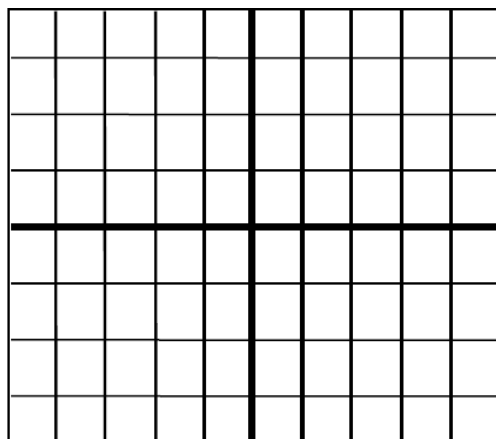
1.2.3. Connecter le générateur basse fréquence (GBF) à l'oscilloscope à l'aide de 2 fils.

- Un fil noir pour relier les références de tension (la masse ou le 0V).
- Un fil vert pour relier la sortie du GBF (borne rouge) à l'entrée CH1 (borne rouge) de l'oscilloscope.
- La sortie du GBF correspond à la zone 4 (figure 11) nommée « output 50 $\Omega$  ».

**Remarque : la mesure d'une tension est toujours effectuée entre 2 points : la référence et le point « chaud »**

1.2.4. Relever le signal observé sur l'oscilloscope.

- Mesurer la tension maximale du signal observé :  $V_{me}$
- Mesurer la période du signal :  $T_e$
- Calculer la fréquence du signal :  $F_e$



Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div

Tensions maximale  $V_{me}$  :

Période  $T_e$  :

Fréquence  $F_e$  :

#### 1.2.5. Modifier l'amplitude de la tension $V_e$ sur le GBF

- Pour les amplitudes 500 mV, 1V, 2V et 5V compléter le tableau ci-dessous en indiquant le calibre (V/div) permettant d'observer le plus précisément possible la tension et la valeur de la fréquence  $F_e$ .

$V_{me}$ (V)	0.5	1	2	5
Calibre (V/div)				
$F_e$ (Hz)				

Tableau 1 : Mesure d'une tension sinusoïdale en fonction de l'amplitude

Modifier la fréquence de la tension  $V_e$  sur le GBF avec  $V_{me} = 2V$

- Pour les fréquences 500 Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz, 15kHz et 20kHz, compléter le tableau ci-dessous en indiquant le calibre permettant d'observer le plus précisément possible la tension et la valeur de  $V_{me}$ .

$F_e$ (Hz)	500	1k	5k	10k	15k	20k
Calibre (sec/div)						
$V_{me}$ (V)						

Tableau 2 : Mesure d'une tension sinusoïdale en fonction de la fréquence

## 2. Etude d'un filtre passe-bas

**OBJECTIF** : Caractérisation d'un filtre passe-bas à l'aide de l'oscilloscope et du GBF.

Un filtre passe-bas laisse passer les tensions à basses fréquences et atténue (coupe) les tensions à hautes fréquences. Le montage du filtre passe-bas est indiqué sur la figure 13.

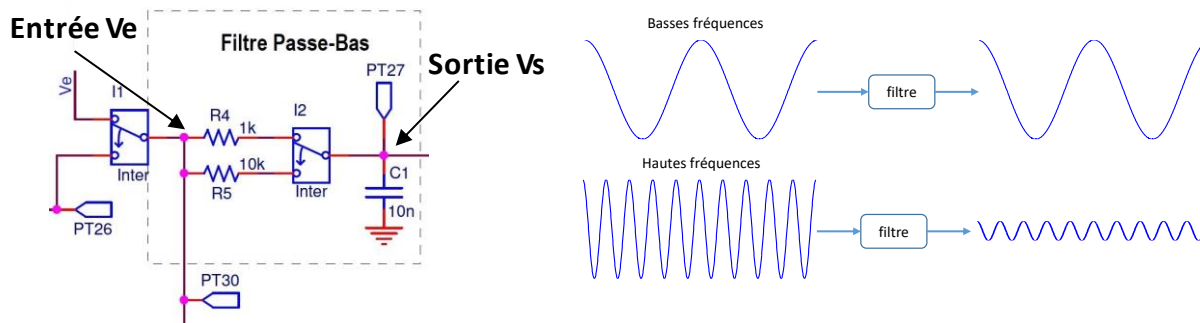


Figure 13 : Schéma du filtre passe-bas (carte)

Ce circuit passe-bas est constitué d'une résistance et d'un condensateur. Dans ce montage, l'interrupteur I2 permet de sélectionner la résistance R4 ou R5.

La fréquence de coupure ( $F_c$ ) est un paramètre qui caractérise le fonctionnement du filtre.

Elle est définie pour le montage de la carte capteur par 
$$F_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C1}$$

Avec  $R = R4$  ou  $R = R5$  selon I2.

Elle définit ainsi la bande passante du filtre (entre 0 et  $F_c$ ) correspondant à la gamme de fréquences dans laquelle, le filtre n'atténue pas le signal.

### PREPARATION

- Identifier le filtre passe-bas sur le schéma de la carte capteur
- Relever les points de tests pour l'entrée et la sortie

Entrée : PT

Sortie : PT

- Calculer à l'aide de la formule les fréquences de coupure :

$F_{c4} =$  pour  $R = R4$

$F_{c5} =$  pour  $R = R5$

## MANIPULATION

### 2.1. Caractérisation du filtre passe-bas à fréquence fixe

#### 2.1.1. Régler le GBF

Amplitude : 1 V

Fréquence = 100 Hz

Forme : sinusoïdale

#### 2.1.2. Positionner l'interrupteur I2 pour utiliser la résistance R4.

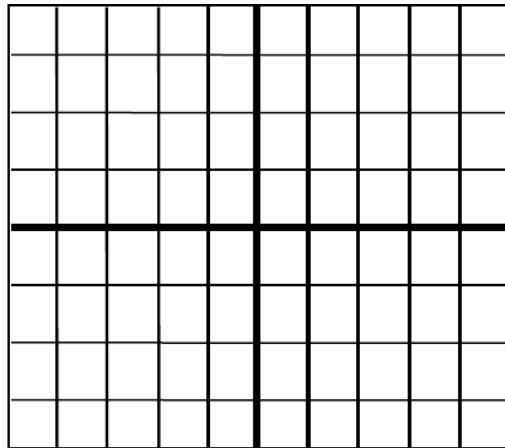
#### 2.1.3. Connecter la sortie « Output 50 $\Omega$ » du GBF à l'entrée Ve de la carte (ne pas oublier la masse).

#### 2.1.4. Positionner l'interrupteur I1 pour que ce signal soit transmis en entrée du filtre.

#### 2.1.5. Observer la tension d'entrée du filtre à l'aide de la voie CH1 de l'oscilloscope.

#### 2.1.6. Observer la tension de sortie du filtre à l'aide de la voie CH2.

#### 2.1.7. Tracer sur la figure suivante les tensions à l'entrée (Ve) et à la sortie (Vs) du filtre avec deux couleurs distinctes.



Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div

Forme de la tension Ve :

Amplitude de Ve :

Fréquence de Ve :

Forme de la tension Vs :

Amplitude de Vs :

Fréquence de Vs :

- Calculer le gain G du filtre. Le Gain G du filtre correspond au rapport d'amplitudes entre les tensions de sortie et d'entrée

$$G = V_s/V_e =$$

- Quel est le comportement de ce filtre à la fréquence 100 Hz ?

## 2.2. Caractérisation du filtre passe-bas à fréquences variables

Pour les fréquences de  $V_e$  suivantes (100Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 5kHz, 10kHz, 15kHz, 20kHz, 50kHz, 100kHz) et pour la fréquence  $F_c$  calculée précédemment :

2.2.1. Mesurer l'amplitude de la tension d'entrée du filtre sur la voie CH1 de l'oscilloscope.

2.2.2. Mesurer l'amplitude de la tension de sortie du filtre sur la voie CH2 de l'oscilloscope.

2.2.3. Calculer le Gain du filtre  $G = V_s/V_e$  et en dB (décibel)  $G_{dB} = 20 \times \log (V_s/v_e)$

2.2.4. Remplir le tableau suivant

Fréquence (Hz)	100	500	1 k	2 k	5 k	10 k	15 k	$F_c$	20 k	50 k	100 k
Amplitude de $V_e$ (V)											
Amplitude de $V_s$ (V)											
Gain du filtre $G = V_s/V_e$											
Gain du filtre $G_{db}$ en dB											

Tableau 3 : Réponse en fréquence du filtre passe-bas avec la résistance  $R_4$

2.2.5. Vérifier que pour  $f = f_c$  (fréquence de coupure),  $\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$V_s/V_e =$

2.2.6. Commenter les résultats de mesures et justifier le terme filtre passe-bas.

2.2.7. Positionner l'interrupteur I2 pour utiliser la résistance R5.

2.2.8. Caractériser de nouveau le filtre suivant le même plan d'expérimentation et remplir le tableau suivant.

Fréquence (Hz)	100	500	1 k	Fc5	2 k	5 k	10 k	15 k	20 k	50 k	100 k
Amplitude de Ve (V)											
Amplitude de Vs (V)											
Gain du filtre $G = V_s/V_e$											
Gain du filtre Gdb en dB											

Tableau 4 : Réponse en fréquence du filtre passe-bas avec la résistance R5

2.2.9. Vérifier que pour  $f = f_c$  (fréquence de coupure),  $\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$V_s/V_e =$

2.2.10. Commenter les résultats de mesures.

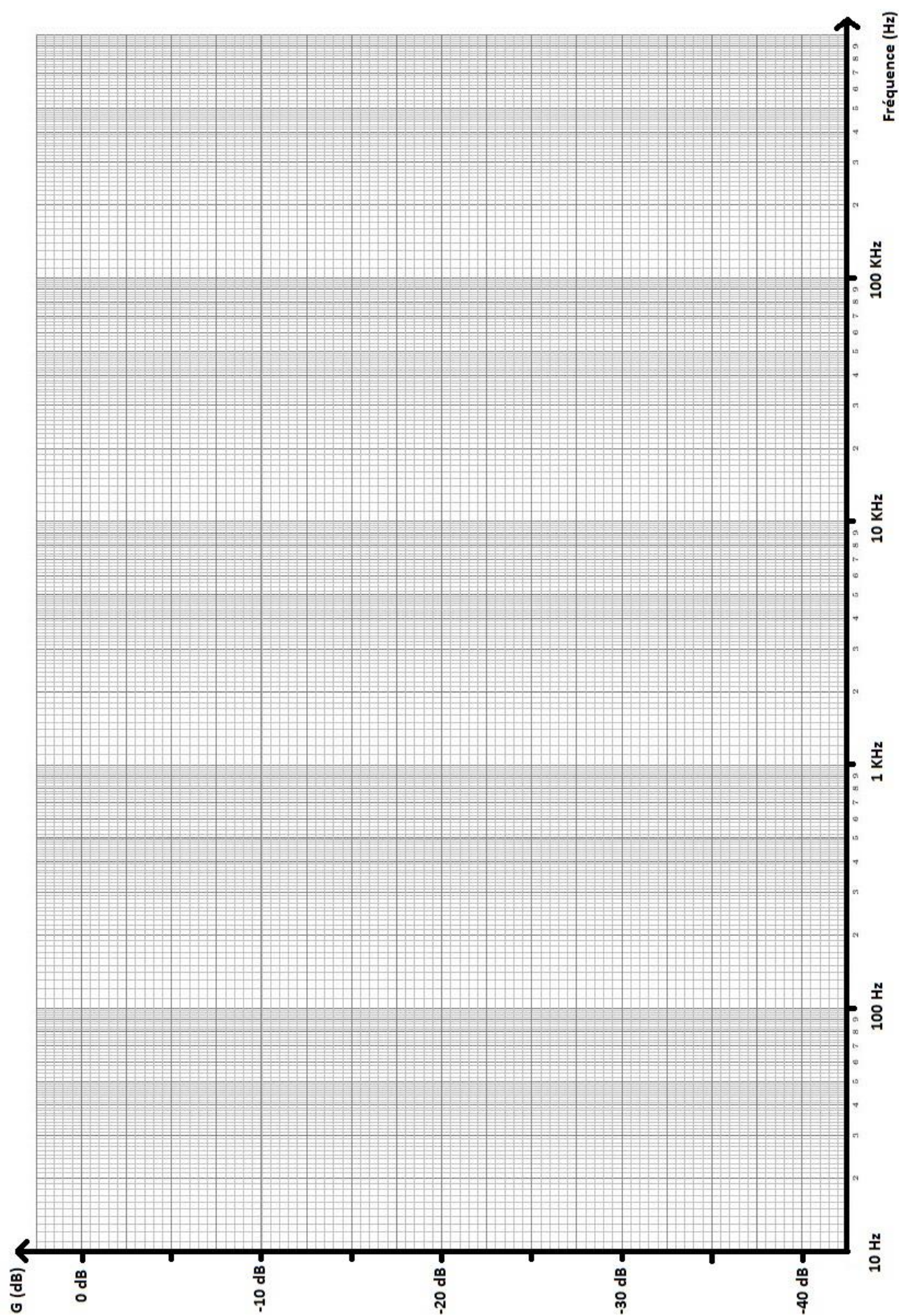
### 2.3. Tracer la réponse en fréquences du filtre.

La fréquence varie de 100 Hz à 100 KHz, par conséquent une échelle logarithmique de 4 décades est utilisée pour tracer le gain du filtre en fonction de la fréquence.

Tracer sur la feuille suivante, le gain du filtre  $G_{dB} = 20 \log (V_s/V_e)$  pour chaque fréquence (Tableau 4) du filtre passe bas avec  $R = R_4$  et  $R = R_5$ .

- Abscisse (échelle semi-Logarithmique) : fréquence
- Ordonnée (échelle linéaire) : GdB

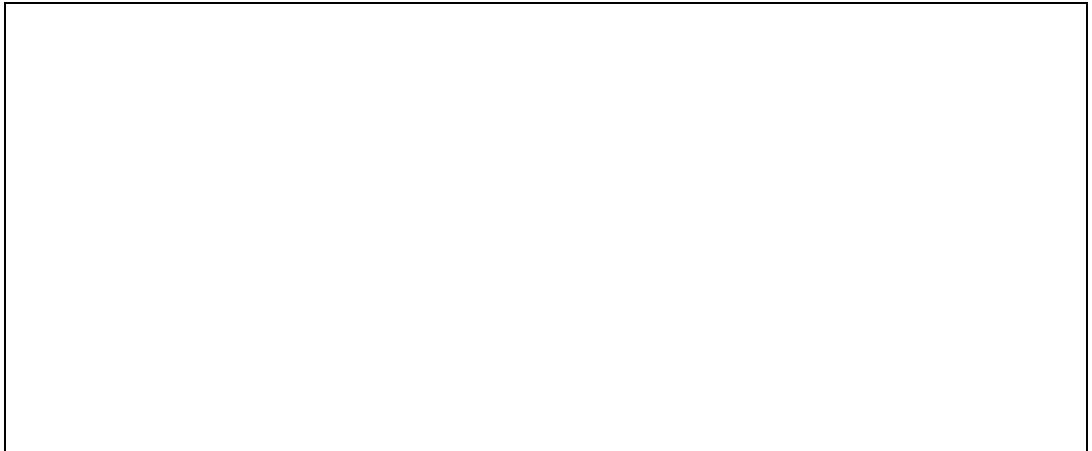
### Réponse en fréquence du filtre passe bas avec $R = R_4$ et $R = R_5$





2.3.1. Comparer le comportement (réponse en fréquences) du filtre suivant sa configuration

- Filtre avec R4
- Filtre avec R5



2.3.2. Vérifier qu'une tension continue (par exemple 5V) n'est pas modifiée par le filtre passe bas et expliquer pourquoi.



**2.4. Donner quelques exemples d'utilisation de filtres électroniques**



### 3. Etude d'un amplificateur de tension

**OBJECTIF** : Caractérisation d'un amplificateur.

Un amplificateur permet d'augmenter une tension appliquée sur son entrée. Le rapport entre  $V_s$  et  $V_e$  est appelé gain  $G$ , comme pour le filtre.

Dans le cas de la figure 14, la tension de sortie  $V_s$  (OUT1 sur la figure 14) est donnée par  $V_s = V_e * \frac{R6+R7}{R6}$

Le gain est donc  $G = \frac{R6+R7}{R6}$

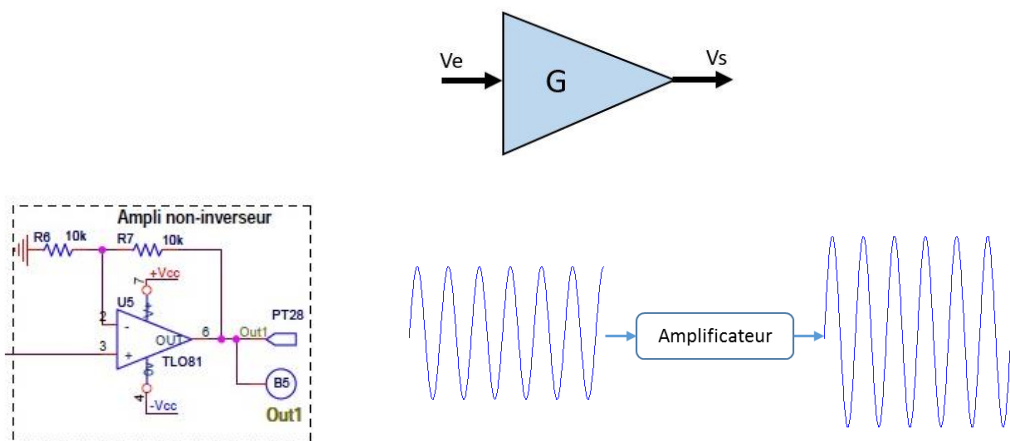


Figure 14 : Schéma de l'amplificateur (carte)

#### PREPARATION

- Lister les 3 composants de ce montage.

- Calculer le gain  $G$  de l'amplificateur.

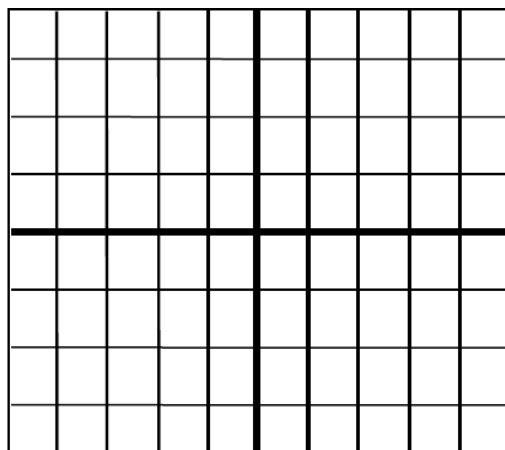
- L'amplificateur est alimenté à l'aide de tension continue de +12 et -12V. Pourquoi est-il nécessaire de fournir à l'amplificateur une alimentation ?

## MANIPULATION

### 3.1. Caractérisation de l'amplificateur avec une tension continue.

- 3.1.1. Positionner l'interrupteur I1 pour sélectionner l'entrée Ve à l'entrée du filtre.
- 3.1.2. Positionner l'interrupteur I2 pour sélectionner R = R5.
- 3.1.3. Connecter la tension continue fixe de 5 Volts (Alimentation GPS-3303, voir figure 10) à l'entrée Ve de la carte.
- 3.1.4. Observer et mesurer la tension à la sortie du filtre et donc à l'entrée de l'amplificateur sur la voie CH1 de l'oscilloscope.
- 3.1.5. Observer et mesurer la tension à la sortie de l'amplificateur sur la voie CH2 de l'oscilloscope.
- 3.1.6. Comparer les tensions Vs mesurée et théorique ( $V_s = V_e \cdot \frac{R_6+R_7}{R_6}$ ).

### 3.1.7. Tracer sur la figure suivante les tensions Ve et Vs.



Calibre Axe horizontal :                      /div

Calibre Axe vertical :                      /div

**Ve :**

Forme de la tension :                      Amplitude maximale :                      Fréquence :

**Vs :**

Forme de la tension :                      Amplitude maximale :                      Fréquence :

### 3.1.8. Commenter les résultats obtenus.

### 3.2. Caractérisation de l'amplificateur avec une tension sinusoïdale.

3.2.1. Positionner l'interrupteur I1 pour sélectionner l'entrée Ve à l'entrée du filtre.

3.2.2. Positionner l'interrupteur I2 pour sélectionner R = R5.

3.2.3. Régler le GBF.

Amplitude : 1 V

Fréquence = 100 Hz

Forme : sinusoïdale

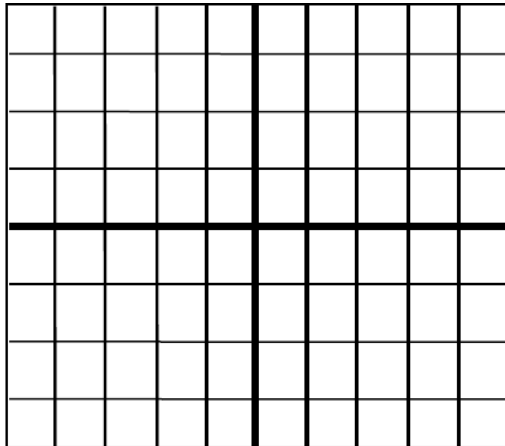
3.2.4. Connecter la tension de sortie du GBF à l'entrée Ve de la carte.

3.2.5. Observer et mesurer la tension à la sortie du filtre et donc à l'entrée de l'amplificateur sur la voie CH1 de l'oscilloscope.

3.2.6. Observer et mesurer la tension à la sortie de l'amplificateur sur la voie CH2 de l'oscilloscope.

3.2.7. Comparer les tensions VS mesurée et théorique ( $V_s = V_e * \frac{R_6 + R_7}{R_6}$ ).

3.2.8. Tracer sur la figure suivante les tensions à l'entrée Ve et Vs.



Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div

**Ve :**

Forme de la tension :

Amplitude maximale :

Fréquence :

**Vs :**

Forme de la tension :

Amplitude maximale :

Fréquence :

3.2.9. Commenter les résultats obtenus.

A large, empty rectangular box with a black border, intended for the user to write their comments on the results.

**3.3. Donner un exemple d'utilisation d'amplificateurs**

A large, empty rectangular box with a black border, intended for the user to provide an example of amplifier usage.

## 4. Etude d'un comparateur entre une tension variable et une tension continue

**OBJECTIF** : Caractérisation d'un comparateur.

Un comparateur est un composant permettant de comparer 2 tensions :  $V_-$  et  $V_+$ . La sortie d'un comparateur est binaire. C'est-à-dire que la sortie peut prendre uniquement 2 états : haut et bas.

La sortie du comparateur est à l'état bas si  $V_- > V_+$

La sortie du comparateur à l'état haut si  $V_- < V_+$

Le comparateur présent sur la carte capteur permet de comparer une tension quelconque à une tension de référence dite seuil.

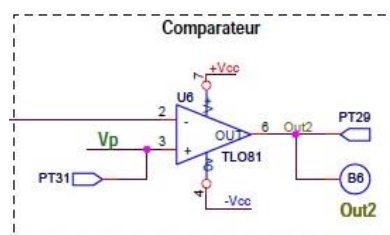
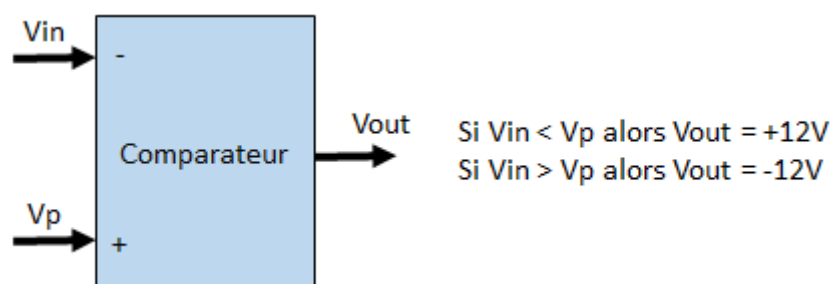


Figure 15 : Comparateur

### PREPARATION

- Repérer sur la carte le comparateur.
- Relever les points de tests pour les tensions d'entrée ( $V_{in}$ ), de seuil ( $V_p$ ) et de sortie ( $V_{out}$ ).

Tension d'entrée : PT
Tension de seuil : PT
Tension de sortie : PT

La tension de seuil  $V_p$  est générée à l'aide d'un potentiomètre. Un potentiomètre est une résistance variable.

- Repérer sur la carte le potentiomètre.
- Relever les 2 points de tests pour la tension ( $V_p$ ) utilisée comme tension de seuil pour le comparateur.

Tension $V_p$ : PT
Tension $V_p$ : PT

## MANIPULATION

### 4.1. Génération de la tension de seuil ( $V_p$ ).

4.1.1. Faire varier le potentiomètre P1 et observer la tension  $V_p$  à l'oscilloscope.

4.1.2. Relever les valeurs minimale et maximale de  $V_p$ .

$V_{pmin} =$

$V_{pmax} =$

4.1.3. Régler la tension  $V_p$  à 3V.

### 4.2. Génération d'une tension triangulaire ( $V_e$ ).

Le GBF permet de générer des signaux et donc des tensions de différentes formes.

- Sinusoïdale
- Triangulaire
- Carrée

4.2.1. Régler le GBF.

Amplitude : 2 V

Fréquence = 1 KHz

Forme : triangulaire

4.2.2. Vérifier à l'oscilloscope les caractéristiques du signal généré.

### 4.3. Caractérisation du comparateur.

4.3.1. Connecter la sortie du GBF sur l'entrée  $V_e$

4.3.2. Positionner l'interrupteur I1 pour connecter la tension  $V_e$  à l'entrée - du comparateur.

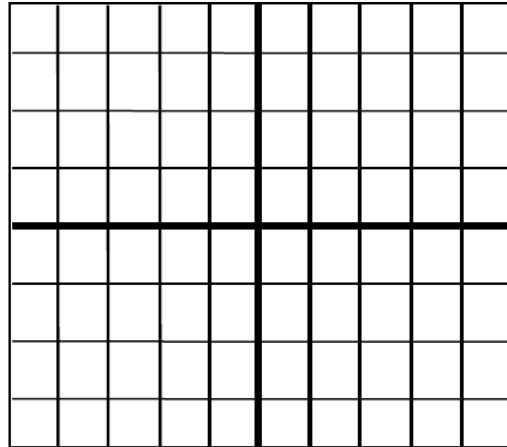
4.3.3. Observer à l'aide de l'oscilloscope, sur la voie CH1, la tension d'entrée  $V_e$  et sur la voie CH2, la tension de sortie du comparateur. La tension  $V_p$  est réglée à 3V. (voir 4.1.3)

4.3.4. Commenter les observations.

4.3.5. Faire varier le potentiomètre P1 pour générer une tension  $V_p = 1,2 \text{ V}$ . L'observation et le réglage de cette tension se fera à l'aide de la voie CH2 de l'oscilloscope.

4.3.6. Observer de nouveau à l'aide de l'oscilloscope, sur la voie CH1, la tension d'entrée  $V_e$  et sur la voie CH2, la tension de sortie du comparateur.

4.3.7. Tracer les oscillogrammes correspondants.



Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div

**Tension d'entrée  $V_e$  :**

Période :

Fréquence :

**Tension de sortie :**

Forme de la tension :

Tension état bas :

Durée état bas :

Tension état haut :

Durée état haut :

Période :

Fréquence :

4.3.8. Justifier la forme de la tension de sortie.

4.3.9. Comparer la fréquence des tensions d'entrée et de sortie.

Le rapport cyclique de la tension de sortie est défini par  $\alpha = \frac{\text{Durée état haut}}{\text{Période}}$

4.3.10. Calculer ce rapport cyclique.



4.3.11. Faire varier la tension de seuil  $V_p$  de 0 à 5 V, commenter les observations.

4.3.12. Calculer le rapport cyclique pour 3 valeurs de tension de seuil différentes et indiquer son évolution en fonction de la tension de seuil.

4.4. **Donner un exemple d'utilisation de comparateurs.**

## 5. Etude d'un Convertisseur Analogique Numérique - CAN

### OBJECTIFS :

- Comprendre le rôle primordial d'un convertisseur analogique numérique en électronique,
- Mesures les caractéristiques du CAN,
- Apprendre à utiliser le CAN à l'aide d'un microcontrôleur.

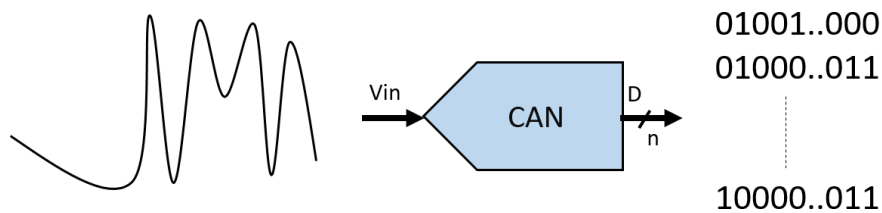


Figure 16 : Convertisseur analogique numérique  $n$  bits

Le convertisseur analogique numérique permet de transformer une tension analogique  $V_{in}$  en une tension numérique représentée par une donnée  $D$  sur  $n$  bits. (Figures 16 et 17).

Une tension analogique présente une infinité de valeur en amplitude et en temps.

Une tension dite numérique est constituée d'un nombre limité de données en amplitude et en temps. Chaque donnée est appelée échantillon.

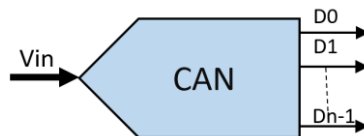


Figure 17 : Convertisseur analogique numérique  $n$  bits

Le CAN présent sur la carte est un convertisseur 8 bits. Il est contrôlé par le microcontrôleur.

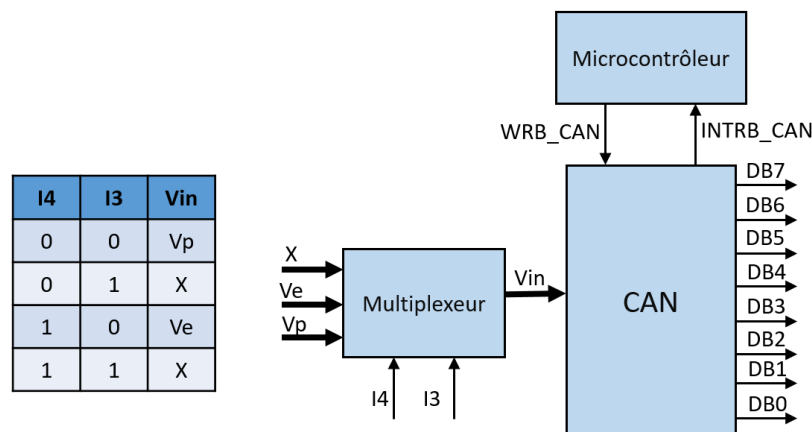


Figure 18 : Convertisseur analogique numérique 8 bits

Ce CAN peut convertir 3 tensions différentes : X, Ve et VP, selon la position des 2 interrupteurs I3 et I4.

Le signal WRB\_CAN est l'ordre de conversion généré par le microcontrôleur. C'est une entrée du CAN.

Le signal INTRB\_CAN est l'information de fin de conversion générée par le CAN. C'est une sortie du CAN.

Les sorties DBi peuvent prendre uniquement deux valeurs dites logiques : 0 ou 1.

Comme indiqué sur la figure 18 chaque sortie DBi du CAN est connectée à une LED.

Lorsque DBi = 0, la LEDi est allumée

Lorsque DBi = 1, la LEDi est éteinte

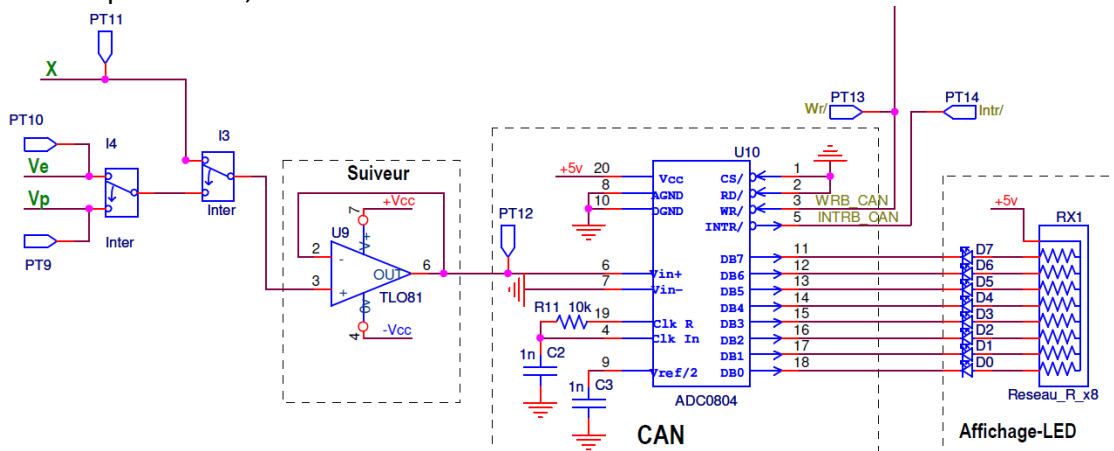


Figure 19 : Schéma comprenant le CAN (carte)

La tension d'entrée analogique du CAN Vin est convertie en une donnée numérique sur 8 bits DB[7:0] suivant l'équation suivante. Vin\_num représente la tension analogique correspondante à la tension Vin numérisée. Chaque donnée numérique DBi sur 1 bit est égale soit à 0 soit à 1.

$$Vin\_num = \sum_{i=0}^7 \frac{5}{2^{8-i}} \times DBi$$

On peut donc considérer que chaque bit DBi de la donnée sur 8 bits représente une partie de la tension analogique Vin\_num selon le tableau ci-dessous.

Sortie	DB7 (MSB)	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0 (LSB)
Tension	2,5V	1,25 V	625 mV	312,5 mV	156,25 mV	78,125 mV	39,1 mV	19,5 mV

Tableau 5 : Tableau de conversion du CAN

Vin\_num s'exprime donc de la manière suivante :

$$Vin\_num = DB7 \times 2,5 V + DB6 \times 1,25 V + DB5 \times 625 mV + DB4 \times 312,5 mV + DB3 \times 156,25 mV + DB2 \times 78,125 mV + DB1 \times 39,1 mV + DB0 \times 19,5 mV$$

Avec DBi = 1 ou 0

*Exemple :*

Pour une tension d'entrée  $V_{in}$  égale à 3,125V, la sortie numérique constituée de 8 bits est égale à :

DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	1	0	0	0	0	0

*Tableau 6 : Exemple de conversion*

En effet,  $V_{in} = \text{DB7} \times 2,5 + \text{DB5} \times 0,625 = 3,125\text{V}$

## PREPARATION

La valeur numérique maximale en sortie du CAN est donc  $\text{DB}_i = 1$  pour  $i$  de 0 à 7 (DB = 11111111).

- Calculer la valeur maximale de la tension analogique pouvant être convertie.

$V_{in \text{ max}} =$

La valeur numérique minimale en sortie du CAN correspondant à une tension analogique non nulle est donc  $\text{DB}_0 = 1$  et  $\text{DB}_i = 0$  pour  $i$  de 1 à 7 (DB = 00000001).

- Calculer la valeur minimale de la tension analogique pouvant être convertie. Cette tension est appelée pas de quantification.

$V_{in \text{ min}} =$

Pour des tensions analogiques d'entrées égales à 0V, 1V, 3V et 4 V en vous aidant des informations précédentes.

- Donner la valeur des 8 bits  $\text{DB}_i$ .

$V_{in}$ (V)	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0								
1								
3								
4								

- Donner l'état de chacune des diodes : allumée (A)/éteinte (E).

$V_{in}$ (V)	LED7	LED6	LED5	LED4	LED3	LED2	LED1	LED0
0								
1								
3								
4								

## MANIPULATION

Comme indiqué sur la figure 18, le circuit CAN est piloté par le microcontrôleur présent sur la carte Arduino (voir figure 6). Ce microcontrôleur est un circuit qui permet d'exécuter une suite d'instructions (un code informatique) pour effectuer un traitement ou générer des signaux.

Dans le cadre de cette manipulation, le code `CAN_V1.ino` va permettre de générer le signal périodique `WRB_CAN`. Ce signal `WRB_CAN` est connecté en entrée du circuit CAN. Lorsque ce signal passe de l'état haut à l'état bas, le CAN convertit en numérique la tension présente sur son entrée (`Vin` sur la figure 18 et `PT12` sur la figure 9).

Le signal `INTRB_CAN`, généré par le circuit CAN indique que la conversion est terminée et que le résultat est disponible sur les sorties `DB0` à `DB7` (figure 18) connectées à des LEDs (figure 19).

2 scénarios différents vont être étudiés avec deux entrées différentes choisies grâce aux 2 interrupteurs, `I3` et `I4`. → Code : `CAN_V1.ino`.

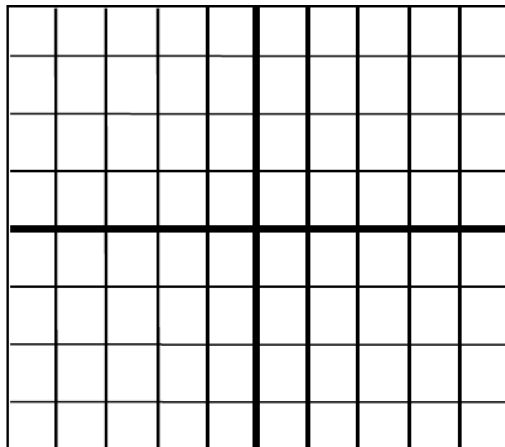
- Une tension (`Vp`) contrôlée par le potentiomètre
- Une tension (`Ve`) externe

### 5.1. Conversion de la tension `Vp`

5.1.1. Programmer le microcontrôleur avec le code `CAN_V1.ino`. Ne pas oublier de « téléverser ». Utiliser l'annexe p. 69 sur la programmation de la carte Arduino en respectant dans l'ordre les étapes A à D.

5.1.2. Observer à l'aide de l'oscilloscope les 2 signaux de contrôle `WRB_CAN` (`PT13`) sur CH1 et `INTRB_CAN` (`PT14`) sur CH2.

5.1.3. Tracer les oscillogrammes correspondants.



Calibre Axe horizontal :            /div

Calibre Axe vertical :            /div

**Tension WRB\_CAN :**

Tension état bas :                      Durée état bas :  
 Tension état haut :                      Durée état haut :  
 Période :                                  Fréquence :

**Tension INTRB\_CAN :**

Tension état bas :                      Durée état bas :  
 Tension état haut :                      Durée état haut :  
 Période :                                  Fréquence :

5.1.4. A partir des observations précédentes, déduire la période d'échantillonnage et la fréquence d'échantillonnage du CAN.

Tech =  
 Fech =

5.1.5. Positionner les interrupteurs I3 et I4 pour sélectionner l'entrée Vp correspondant à la sortie du montage potentiomètre et donner le Point Test correspondant.

Vp = PT

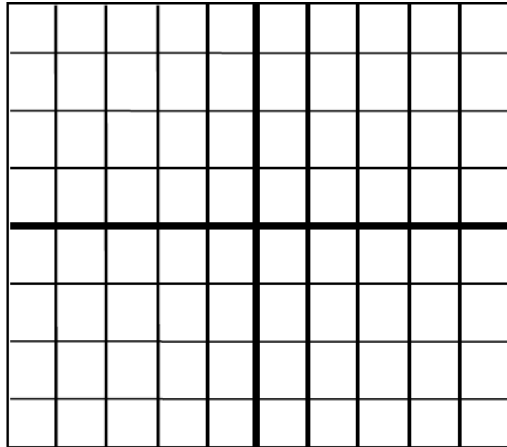
5.1.6. Régler le potentiomètre pour obtenir les valeurs de tension d'entrée du CAN à 0V, 1V, 3V et 4V, donner les états des LEDs et comparer à la préparation ?

Vin (V)	LED7	LED6	LED5	LED4	LED3	LED2	LED1	LED0
0								
1								
3								
4								

## 5.2. Conversion de la tension Ve

5.2.1. Régler la fréquence du GBF à 1Hz, sélectionner « square » avec le bouton « wave » et relier la sortie « TTL/CMOS output » du GBF sur l'entrée Ve de la carte (ne pas oublier la masse).

5.2.2. Observer avec l'oscilloscope (CH1) la sortie « TTL/CMOS output » du GBF et relever cette tension.



Calibre Axe horizontal :                      /div

Calibre Axe vertical :                      /div

5.2.3. Positionner les interrupteurs I3 et I4 pour appliquer la tension Ve à l'entrée du circuit CAN via le circuit suiveur (figure 19). Cette tension Ve correspond à la tension appliquée sur la borne Ve située en haut à gauche de la carte (Figure 7).

- Quels sont les états des LEDs pour l'état haut : 5 V et l'état bas : 0 V ?

- Est-ce normal ? Pourquoi ?

5.2.4. Refaire les mêmes observations à l'oscilloscope et sur l'état des LEDs pour des fréquences réglées avec le GBF de 10Hz, 100Hz puis 1kHz.

- Que se passe-t-il quand la fréquence augmente (rappel  $T=1/f$  avec T la période en secondes (s) et f la fréquence en Hertz (Hz)).

## 6. Etude d'un Convertisseur Numérique Analogique - CNA

### OBJECTIFS :

- Comprendre le rôle primordial d'un convertisseur numérique analogique en électronique,
- Mesures les caractéristiques du CNA,
- Apprendre à utiliser le CNA à l'aide d'un microcontrôleur

Le convertisseur numérique analogique permet de transformer une donnée numérique D représentée sur n bits en une tension analogique Vout.

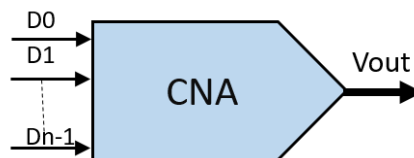


Figure 20 : Convertisseur Numérique Analogique sur n bits

Le CNA présent sur la carte est un convertisseur 8 bits. Il est contrôlé par le microcontrôleur.

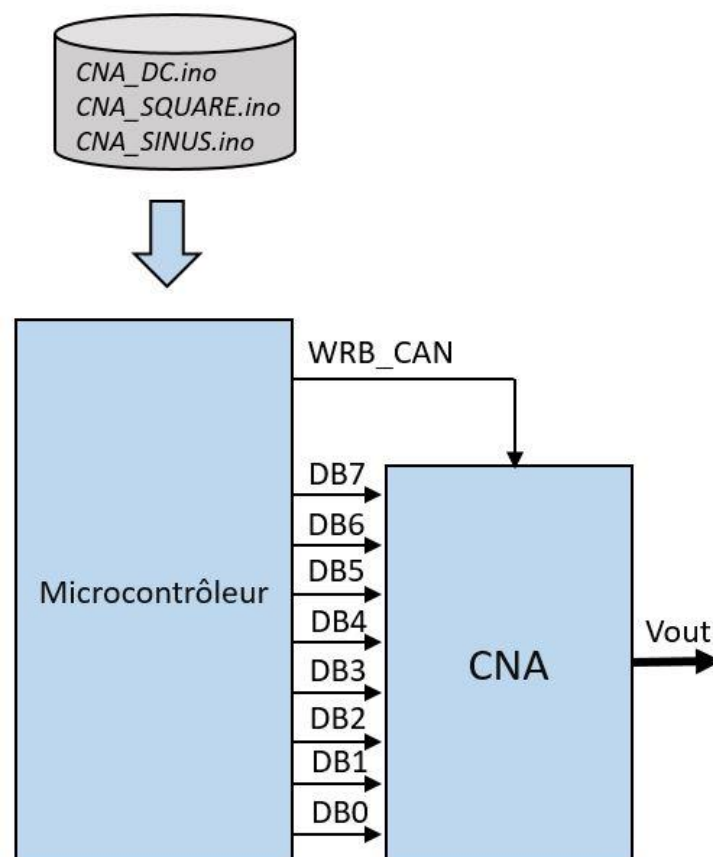


Figure 21 : Convertisseur Numérique Analogique sur 8 bits

Le signal WRB\_CAN est l'ordre de conversion généré par le microcontrôleur. C'est une entrée du CNA.



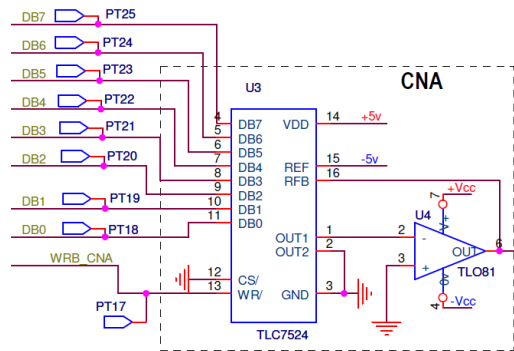


Figure 22 : Schéma du CNA (carte)

La tension de sortie,  $V_{out}$  est proportionnelle aux entrées numériques converties en décimal :

$$V_{out} = -V_{ref} \times D/256$$

$V_{ref}$  est la tension du signal appliquée sur l'entrée REF (dans le cas présent  $V_{ref} = -5V$ ).

L'équation suivante permet de convertir une donnée numérique DB sur 8 bits en une donnée D en base 10.

Chaque donnée numérique DBi sur 1 bit est égale soit à 0 soit à 1.

$$D = \sum_{i=0}^7 2^i \times DB_i$$

Cette équation peut donc s'exprimer de la manière suivante :

$$D = 128 \times \mathbf{DB7} + 64 \times \mathbf{DB6} + 32 \times \mathbf{DB5} + 16 \times \mathbf{DB4} + 8 \times \mathbf{DB3} + 4 \times \mathbf{DB2} + 2 \times \mathbf{DB1} + \mathbf{DB0}$$

avec  $\mathbf{DBi} = 1$  ou  $0$

## PREPARATION

- Quelles sont les valeurs minimale et maximale que le CNA peut convertir ?

$V_{out} \text{ min} =$

$V_{out} \text{ max} =$

- Repérer sur le CNA les broches sur lesquelles arrivent les données numériques d'entrée à convertir ainsi que les Points Test correspondants.

- Donner les Points Test de la tension de sortie et du signal de contrôle WRB\_CNA (Figure 9).

$V_{out}$  : PT

WRB\_CNA : PT

## MANIPULATION

Un CNA convertit un signal d'entrée numérique en une tension de sortie analogique.

Afin de tester le CNA, il est nécessaire de transmettre au CNA, le signal à convertir et un signal pour le contrôler (WRB\_CAN).

Trois scénarios vont être étudiés avec des entrées numériques :

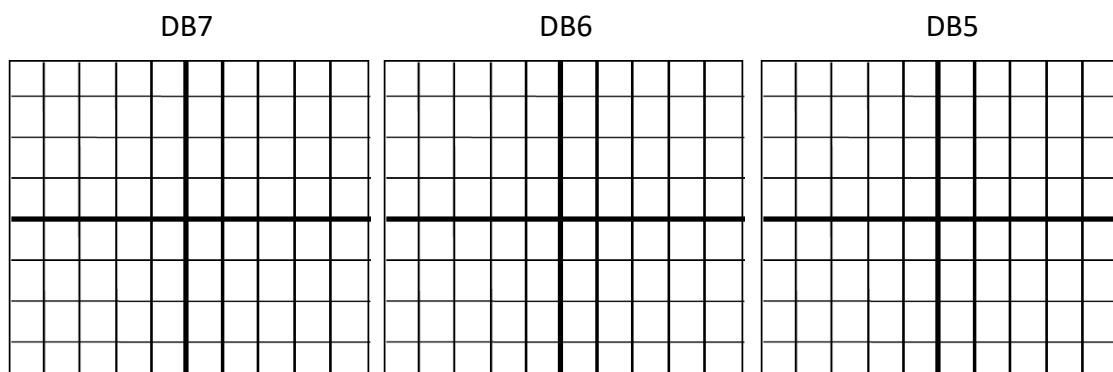
- Une tension continue → Code : `CNA_DC_v1.ino`
- Une tension de forme carrée avec une donnée `level_low` (niveau bas) et une donnée `level_high` (niveau haut) → Code : `CNA_SQUARE_v1.ino`
- Une tension de forme sinusoïdale de période T → Code : `CNA_SINUS_v1.ino`

### 6.1. Conversion de données numériques continues

6.1.1. Programmer le microcontrôleur avec le code `CNA_DC_v1.ino`.

6.1.2. Observer les données DB7 à DB0.

6.1.3. Tracer les données DB7 à DB5.

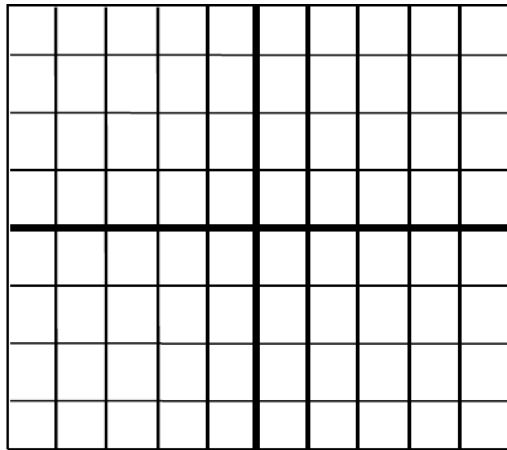


Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div

6.1.4. En étudiant le code `CNA_DC_v1.ino`, expliquer les données relevées expérimentalement.

6.1.5. Observer et mesurer la tension convertie en sortie du CNA.



Calibre Axe horizontal :            /div

Calibre Axe vertical :            /div

6.1.6. A partir des données DB7 à DB0 mesurées et sachant que la tension de référence  $V_{ref} = -5V$ , justifier la valeur de la tension en sortie mesurée expérimentalement.

6.1.7. Modifier les valeurs du signal numérique à convertir en modifiant le code du microcontrôleur. Ne pas oublier de reprogrammer le microcontrôleur à chaque fois que le code est modifié.

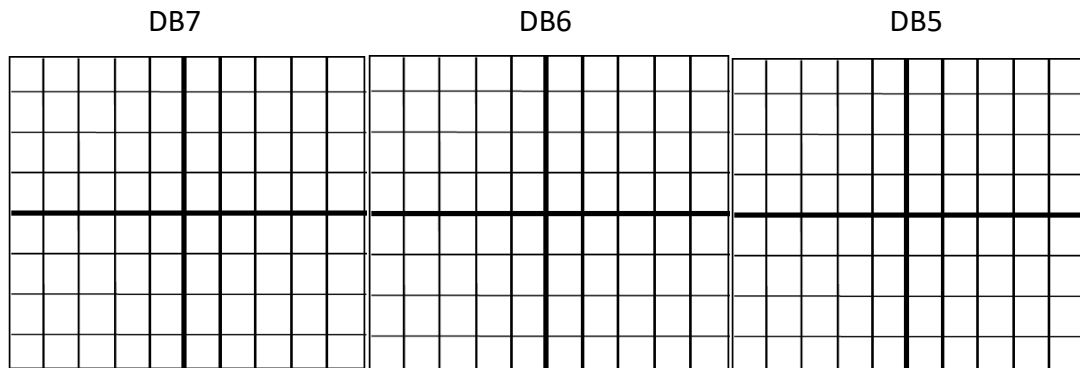
6.1.8. Observer les signaux DB7 à DB0 et la tension en sortie convertie. Justifier le résultat obtenu.

## 6.2. Conversion d'un signal carré

6.2.1. Programmer le microcontrôleur avec le code `CNA_SQUARE_v1.ino`.

6.2.2. Observer les données DB7 à DB0.

6.2.3. Tracer les données DB7 à DB5.



Calibre Axe horizontal : /div

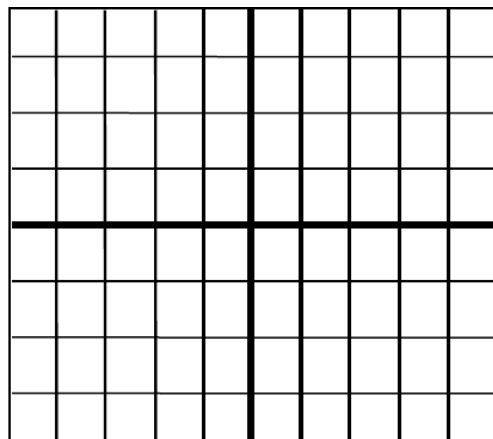
Calibre Axe vertical : /div

6.2.4. En étudiant le code `CNA_SQUARE_v1.ino`, expliquer la forme et la valeur des signaux DB7 à DB0 relevés expérimentalement.

6.2.5. Quelle est la période des signaux DB7 à DB0 ?

T =

6.2.6. Tracer l'oscillogramme de la tension convertie en sortie en indiquant la période du signal et la durée à l'état bas et à l'état haut.



Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div

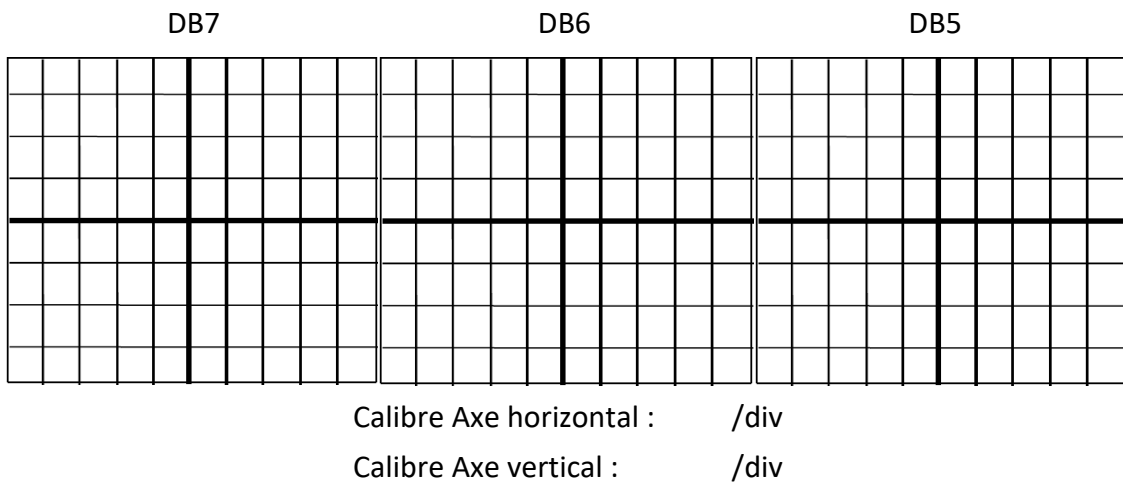
6.2.7. Modifier l'état bas `level_low` et l'état haut `level_high` du signal. Comment procédez-vous ?

### 6.3. Conversion d'un signal sinusoïdal

6.3.1. Programmer le microcontrôleur avec le code `CNA_SINUS_v1.ino`.

6.3.2. Observer les données DB7 à DB0 à l'oscilloscope. En étudiant le code `CNA_SINUS_v1.ino`, expliquer les résultats mesurés.

6.3.3. Tracer les données DB7 à DB5.

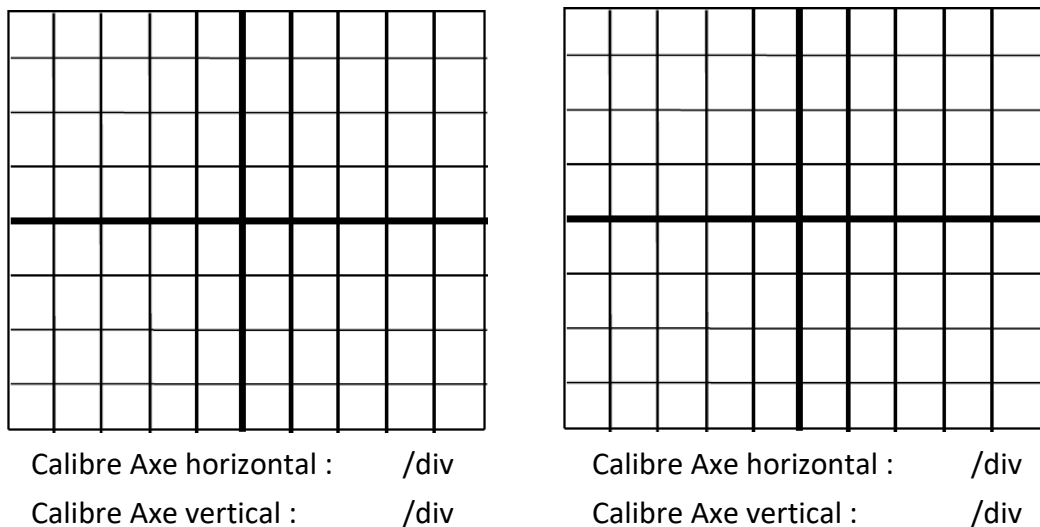


6.3.4. Observer la tension convertie en sortie. Tracer approximativement son allure en indiquant la période du signal. Justifier l'allure.

T =

6.3.5. Observer simultanément la tension convertie et le signal `WRB_CNA`. Ce signal permet de déclencher la conversion.

6.3.6. Tracer ces 2 tensions (sortie du CNA et `WRB_CNA`) et utiliser des calibres différents pour mettre en évidence les informations utiles.



6.3.7. Mesurer la durée des paliers de la tension convertie.

- Cette mesure s'appelle la période d'échantillonnage.

Tech =

- En déduire la fréquence d'échantillonnage.

Fech =

6.3.8. Mesurer ou calculer avec l'oscilloscope la fréquence du signal converti ?

- Comparer cette fréquence avec la fréquence d'échantillonnage.

6.3.9. En étudiant le code `CNA_SINUS_v1.ino`, justifier le signal converti expérimentalement.

6.3.10. Proposer une solution pour augmenter la fréquence du signal généré par le microcontrôleur et converti par le CNA.

6.3.11. Proposer une solution pour générer un signal triangulaire.

## 7. Test de la chaîne de traitements

**OBJECTIF :** Concevoir une chaîne de traitements constituée d'un microcontrôleur, d'un CNA, d'un filtre passe-bas, d'un amplificateur et d'un comparateur.

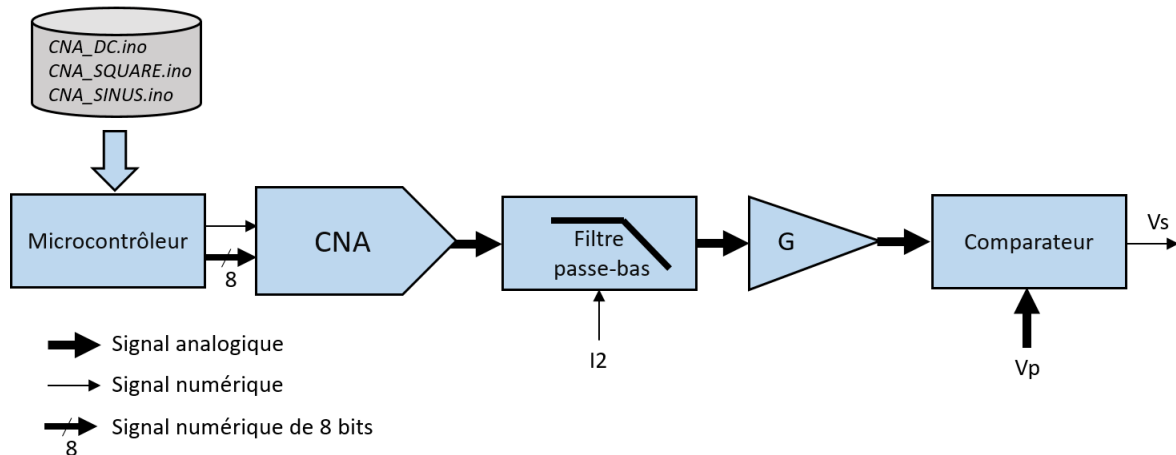


Figure 23 : Chaîne de traitements numérique et analogique d'un signal généré par le microcontrôleur

### MANIPULATIONS

#### 7.1. Microcontrôleur

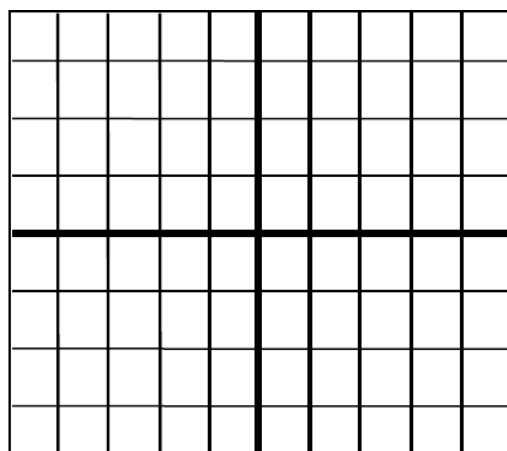
7.1.1. Programmer le microcontrôleur avec le code `CNA_SINUS_v1.ino`.

#### 7.2. Filtre passe-bas

7.2.1. Positionner l'interrupteur I1 pour connecter la sortie du CNA à l'entrée du filtre passe-bas.

7.2.2. Positionner I2 pour utiliser la résistance R4 (haut).

7.2.3. Observer les tensions en entrée et sortie du filtre à l'oscilloscope (indiquer les point-test correspondants).



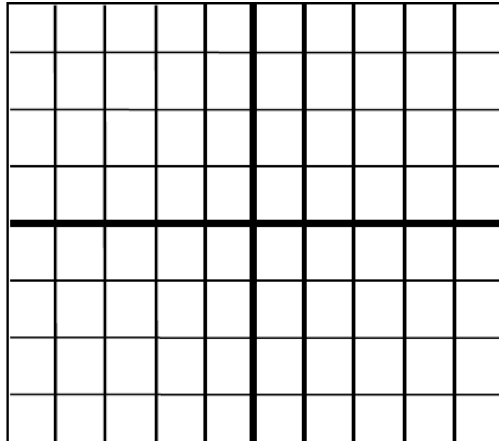
Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div

7.2.4. Les tensions observées sont-elles identiques ? Expliquer le résultat.

7.2.5. Changer la position de l'interrupteur I2 pour sélectionner R5.

7.2.6. Observer et tracer les tensions en entrée et sortie du filtre à l'oscilloscope.



Calibre Axe horizontal : /div

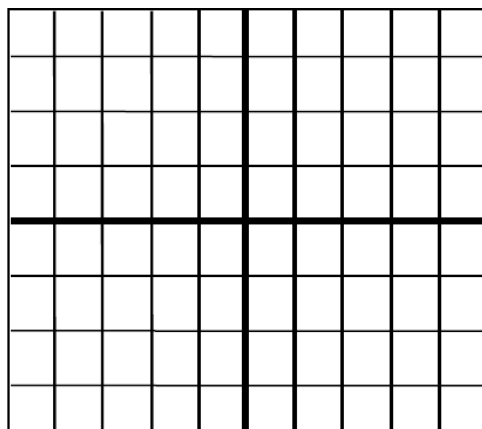
Calibre Axe vertical : /div

7.2.7. Quelles sont les conséquences sur la tension de sortie du filtre ? Expliquer ce résultat.

### 7.3. Amplificateur

7.3.1. Positionner I2 pour utiliser la résistance R4 (haut)

7.3.2. Observer et tracer les tensions en entrée et sortie de l'amplificateur.



Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div



7.3.3. Les tensions observées sont-elles identiques ? Expliquer le résultat.

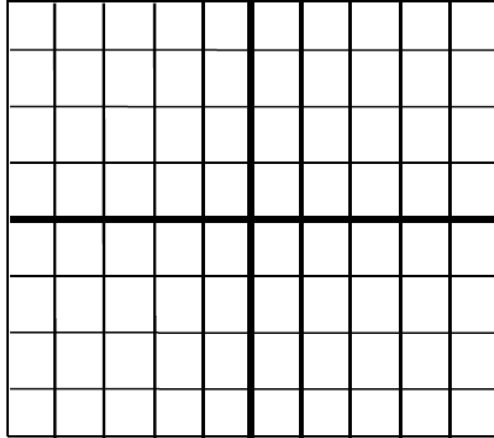
7.3.4. Changer la position de l'interrupteur I2 pour sélectionner R5.

7.3.5. Quelles sont les conséquences sur la tension de sortie de l'amplificateur ?  
Expliquer le résultat.

#### 7.4. Comparateur

7.4.1. Régler la tension de seuil  $V_p$  à 1 V.

7.4.2. Observer et tracer les tensions à l'entrée et la sortie du comparateur à l'oscilloscope et expliquer le résultat.



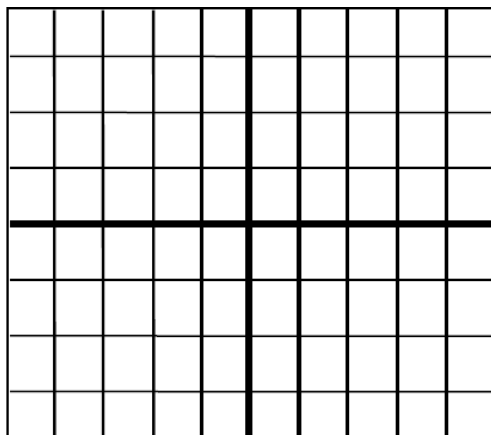
Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div

7.4.3. Calculer le rapport cyclique de la sortie du comparateur et expliquer le résultat.

7.4.4. Régler la tension de seuil  $V_p$  à 4 V.

7.4.5. Observer et tracer les tensions à l'entrée et la sortie du comparateur à l'oscilloscope et expliquer le résultat.



Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div

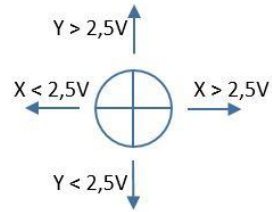
7.4.6. Expliquer le résultat.

## Partie 3 : Les capteurs

### 1. Joystick

**OBJECTIF** : Utiliser un capteur de position

Le joystick est un capteur analogique dont la tension en sortie varie avec la position du joystick sur 2 axes.



Il a 5 connexions :

- **Vcc** : connecté à l'alimentation 5V par la carte Arduino,
- **Gnd** : connecté à la masse,
- **X** : tension proportionnelle au déplacement du joystick sur l'axe horizontal,
- **Y** : tension proportionnelle au déplacement du joystick sur l'axe vertical,
- **BP** : tension égale à 0 V ou 5 V en fonction de l'état du bouton poussoir.

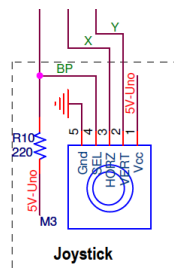


Figure 24 : Joystick

Le joystick permet de régler deux potentiomètres de 10 k $\Omega$  (un pour chaque axe) et de délivrer une tension proportionnelle au déplacement du joystick.

### PREPARATION

Repérer le numéro des Points Test (PT) correspondants aux sorties X, Y et BP du joystick en vous aidant du schéma de la carte capteur sur la figure 9.

X : PT

Y : PT

BP : PT

## MANIPULATION

Le joystick est alimenté par la carte Arduino.

### 1.1. Vérifier le fonctionnement du joystick à l'aide de l'oscilloscope

1.1.1. Relever les tensions sur les sorties X, Y et BP à l'état repos.

1.1.2. Modifier doucement les positions X et Y du joystick tout en observant ces 2 tensions à l'oscilloscope. Comment varient ces valeurs ?

1.1.3. Appuyer sur le bouton poussoir et mesurer la tension sur la sortie BP à l'oscilloscope. Expliquer les différences entre l'état « non appuyé » et l'état « appuyé ».

1.1.4. A la suite de ces mesures et après avoir observé le composant physique du joystick, donner un schéma électrique équivalent.



1.2.4. Expliquer le rapport entre les valeurs numériques relevées par le microcontrôleur (disponibles dans le « moniteur série ») et les tensions en X et en Y.

1.2.5. . Appuyer sur le bouton poussoir, quelle est la conséquence ?

1.2.6. Donner une explication de l'observation.

### 1.3. Utiliser le microcontrôleur pour interpréter les positions du joystick

1.3.1. Modifier le code pour afficher sur le « moniteur série » non pas la donnée convertie brute mais les 9 positions du joystick.

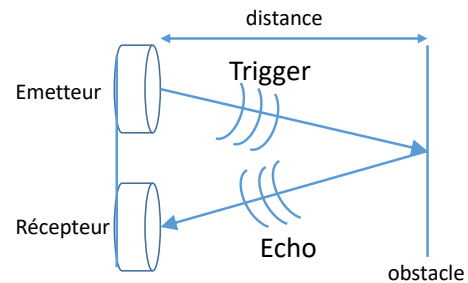
à gauche en bas	à gauche au milieu	à gauche en haut	à droite en bas	à droite au milieu	à droite en haut	milieu	milieu en haut	milieu en bas
-----------------	--------------------	------------------	-----------------	--------------------	------------------	--------	----------------	---------------

1.3.2. Modifier le code pour afficher sur le « moniteur série » l'état du bouton poussoir BP : « APPUYE » ou « NON APPUYE ».

## 2. Capteur Ultrason

**OBJECTIF** : Utiliser un capteur pour mesurer une distance.

Le capteur d'ondes ultrasons est un émetteur/récepteur. Le principe est d'émettre un signal ultrason (principe du SONAR) et de mesurer le temps entre l'émission et la réception après une réflexion sur un obstacle. La mesure de ce temps permet de calculer la distance entre le capteur et l'obstacle.



Ce capteur est composé de 2 cellules ultrason (1 émetteur et 1 récepteur) qui permet des mesures entre 3 cm et 4 m toutes les 50 ms.

Il a 5 connexions :

- **VCC** : Alimentation (habituellement 5V)
- **Gnd** : La masse
- **Trigger** : Emission d'un signal à ultrason
- **Echo** : Réception de l'écho
- **NC** : Non connecté.

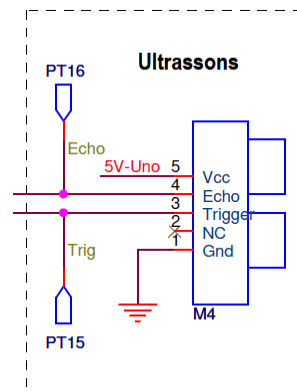


Figure 25 : Capteur ultrason

## PREPARATION

Repérer les broches (pin) du capteur correspondant à Trigger et Echo ainsi que les Points Test de la carte correspondants.

- Trigger : PT
- Echo : PT

Le décalage temporel (retard) entre le signal émis (Trigger) et le signal reçu (Echo) correspond au temps aller-retour de l'onde entre le capteur et l'obstacle. Ce temps dépend de la distance et de la vitesse du signal ultrason :

$$t = 2d/v$$

Sachant que la vitesse du son dans l'air est d'environ 340m.s<sup>-1</sup>, calculer les retards pour les distances suivantes : d= 5 cm, 10 cm, 20 cm et 50 cm.

Retard (d = 5 cm) =
Retard (d = 10 cm) =
Retard (d = 20 cm) =
Retard (d = 50 cm) =

Pour utiliser ce capteur, il est nécessaire de lui fournir le signal d'émission Trigger et d'observer l'information de réception Echo.

Le microcontrôleur pilote le capteur (Trigger), récupère l'information de réception (Echo), l'interprète pour extraire la distance mesurée entre le capteur et l'obstacle.

Le signal Trigger est donc une sortie du microcontrôleur.

Le signal Echo est donc une entrée du microcontrôleur.

La distance est disponible dans la fenêtre terminal « série » de l'IDE d'Arduino (p.69).



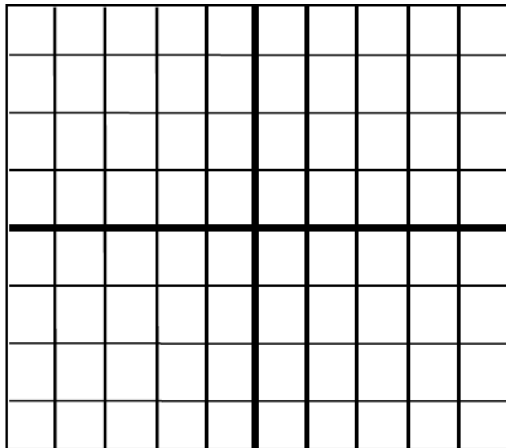
## MANIPULATIONS

### 2.1. Mesures sur le capteur ultrason

2.1.1. Programmer le microcontrôleur avec le code `Capteur_ultrason_v1.ino`.

2.1.2. Observer à l'aide de l'oscilloscope les signaux Trigger (CH1) et Echo (CH2) en mettant un obstacle à quelques cm du capteur.

2.1.3. Tracer ces 2 tensions avec deux couleurs distinctes.



Calibre Axe horizontal : /div

Calibre Axe vertical : /div

La durée de l'état haut de la tension Echo est le temps de propagation aller/retour de l'onde et dépend directement de la distance. Il correspond au temps donné dans la formule  $t = 2d/v$ .

2.1.4. Relever la durée de l'état haut de la tension Echo pour les positions de l'obstacle à 5, 10, 20 cm et 50 cm du capteur.

Retard (d = 5 cm) =

Retard (d = 10 cm) =

Retard (d = 20 cm) =

Retard (d = 50 cm) =

2.1.5. Comparer aux résultats de la préparation.

--

2.1.6. Ouvrir le terminal « série » du logiciel Arduino. La distance entre l'obstacle et le capteur y est affichée.

2.1.7. Vérifier que le capteur fonctionne correctement et que les distances mesurées sont cohérentes par rapport à la position de l'obstacle.

## 2.2. Utilisation du microcontrôleur pour interpréter les informations du capteur

- 2.2.1. Pour différentes positions de l'obstacle, observer les informations affichées dans le terminal « série » de l'IDE d'Arduino.

Commentaires :

- 2.2.2. Modifier le code pour afficher un signal d'alerte « ALERTE » sur le terminal « série » lorsque la distance entre l'obstacle et le capteur est inférieure à 20 cm.

Commentaires :

- 2.2.3. Modifier le code pour allumer la LED disponible sur la carte arduino sur la broche 13 du microcontrôleur lorsque la distance entre l'obstacle et le capteur est inférieure à 20 cm.

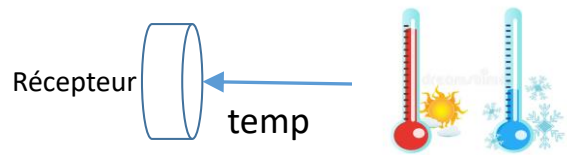
Commentaires :

- 2.2.4. Modifier le code pour faire clignoter à une fréquence d'environ 1 Hz la led disponible sur la carte arduino sur la broche 13 du microcontrôleur lorsque la distance entre l'obstacle et le capteur est inférieure à 10 cm.

Commentaires :

### 3. Capteur de température - LM35

Le capteur de température génère une tension analogique dont la valeur varie en fonction de la température.



Il a 3 connexions :

- **Vcc** : Alimentation (habituellement 5V)
- **Gnd** : La masse
- **V<sub>OUT</sub>** : Tension de sortie

LM35 : La tension de sortie du composant varie d'après ses caractéristiques de 10 mV par °C.

Sur la carte capteur, un amplificateur (TL081) a été ajouté afin d'amplifier la tension de sortie.

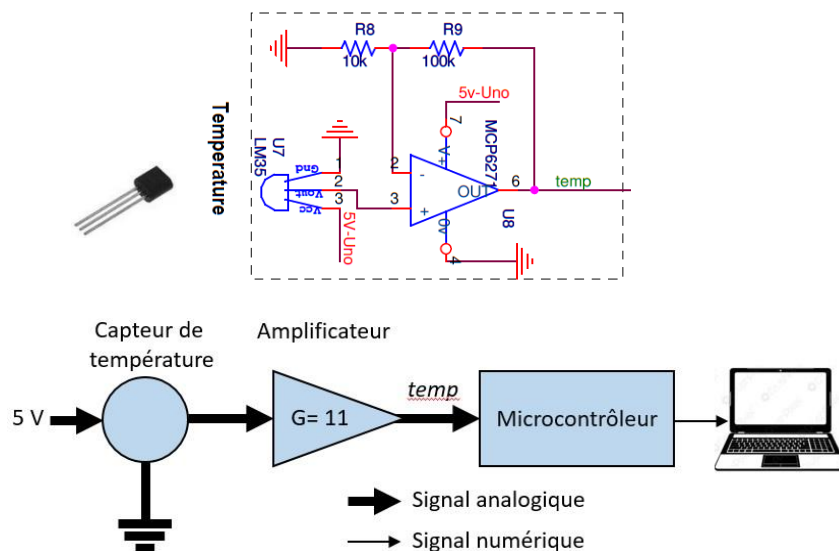


Figure 26 : Capteur de température

#### PREPARATION

Repérer la sortie de l'amplificateur associé au capteur correspondant à Temp ainsi que le Point Test.

Temp : PT

En vous aidant du montage amplificateur de la figure 14, par identification, exprimer la tension VTemp en fonction de la tension de sortie V<sub>OUT</sub>.

VTemp = f(Vout) =

A partir des caractéristiques du capteur LM35, exprimer la température TEMP en fonction de la tension V<sub>OUT</sub>.

Temp = f(Vout) =

## MANIPULATIONS

- 3.1. Observer et mesurer à l'oscilloscope la tension VTemp pour 2 conditions de température différentes (ambiante et entre les doigts par exemple).

Commentaires :

- 3.2. Programmer le microcontrôleur avec le code `Capteur_temperature_v1.ino`.
- 3.3. Ouvrir la fenêtre « moniteur série » de l'IDE d'Arduino, donner les valeurs qui s'affichent pour les 2 conditions ?

- 3.4. Les valeurs affichées sont des nombres décimaux compris entre 0 à 1023 : pourquoi ?

- 3.5. Ouvrir la fenêtre « traceur série » de l'IDE (p. 71).

Commentaires :

- 3.6. Modifier le code du microcontrôleur pour afficher la température en °C.

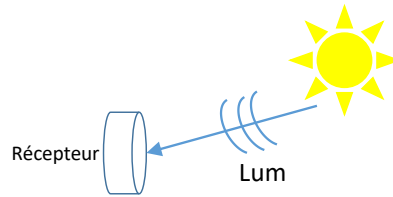
Commentaires :

- 3.7. Modifier le code du microcontrôleur pour interroger le capteur toutes les secondes et afficher la moyenne de 5 mesures toutes les 5 secondes.

Commentaires :

## 4. Capteur de lumière

Le capteur de lumière composé d'une photorésistance et d'un ampli LM358 génère une tension analogique dont la valeur varie en fonction de la luminosité.



Il a 4 connexions :

- **VCC** : Alimentation (entre 3V et 5V)
- **Gnd** : La masse
- **Sig** : Tension de sortie
- **Nc** : Non connecté

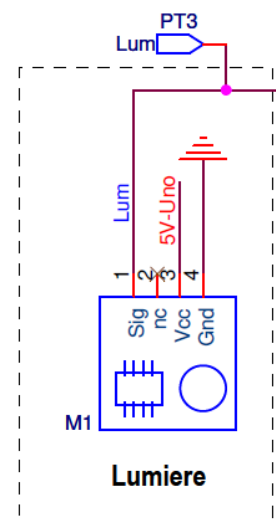
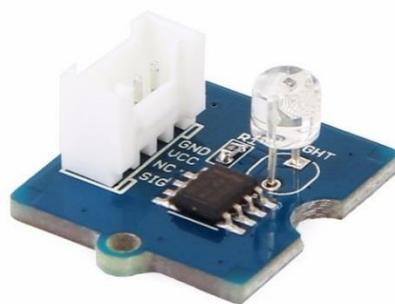


Figure 27 : Capteur de lumière

### PREPARATION

Repérer la broche (pin) du capteur correspondant à Lum ainsi que le Point Test.

Lum : PT
----------

## MANIPULATIONS

- 4.1. Observer et mesurer à l'oscilloscope la tension Lum pour 2 conditions de luminosité différentes (avec cache et sans cache). Observez-vous une différence ?

- 4.2. Programmer le microcontrôleur avec le code `Capteur_lumiere_v1.ino`.

- 4.3. Ouvrir la fenêtre « moniteur série » de l'IDE d'Arduino, donner les valeurs qui s'affichent pour les 2 conditions ? Commenter.

- 4.4. Ouvrir ensuite la fenêtre « traceur série ».

- 4.5. A partir du code `Capteur_lumiere_v1.ino`, estimer la fréquence d'échantillonnage du capteur.

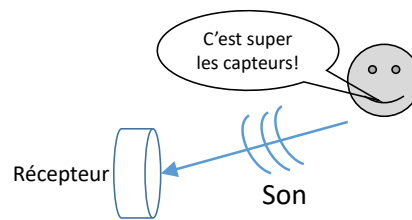
- 4.6. Modifier le code du microcontrôleur pour afficher un nouveau message dans la fenêtre « moniteur série » uniquement lorsqu'il y a un changement important de luminosité (avec cache et sans cache).

Commentaires :

## 5. Capteur de son

Ce module détecteur de bruit est basé sur un micro amplifié par un LM358.

Le capteur de son génère une tension analogique dont la valeur varie en fonction de l'ambiance sonore.



Il a 4 connexions :

- **VCC** : Alimentation (entre 3V et 5V)
- **Gnd** : La masse
- **Sig** : Tension de sortie
- **Nc** : Non connecté

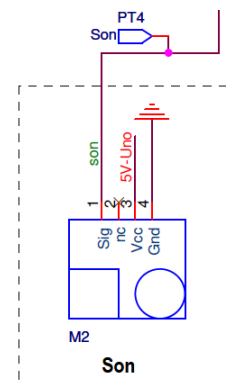


Figure 28 : Capteur de son

### PREPARATION

Repérer la broche (pin) du capteur correspondant au signal Son ainsi que le Point Test.

Son : PT

### MANIPULATIONS

- 5.1. Observer et mesurer à l'oscilloscope la tension Son pour des conditions sonores différentes (par exemple : chuchoter, parler normalement, siffler, parler fort, applaudir).

Commentaires

5.2. Télécharger les 3 fichiers WAV disponibles sur Moodle sur votre téléphone portable.

Ces 3 fichiers WAV d'une durée de 4 secondes chacun représentent la note LA à 3 octaves différentes LA3 : 440 Hz, LA5 : 1760 Hz et LA6 : 3520 Hz.

5.3. Ecouter ces fichiers WAV et appliquer le haut-parleur (HP) de votre téléphone à proximité du micro.

5.4. Observer et mesurer à l'oscilloscope la tension Son pour chaque fichier WAV.



5.5. Programmer le microcontrôleur avec le code `Capteur_audio_v1.ino`.

5.6. Ouvrir la fenêtre « moniteur série » puis la fenêtre « traceur série » de l'IDE d'Arduino, observer l'évolution du signal généré par le microcontrôleur correspondant à la tension Son convertie en numérique pour différentes ambiances sonores (claquement de doigts, silence, sifflement, ...)

Commenter vos observations



5.7. A l'aide de votre téléphone, générer de nouveau les 3 fichiers WAV. Observer l'évolution du signal sur le « traceur série » et commenter.



5.8. Les signaux observés à l'aide du « traceur série » ne sont pas identiques à ceux observés à l'aide de l'oscilloscope (question 5.4). Pourquoi ?





- 5.9. En utilisant la fonction `micros()`, Comment est-il possible de déterminer approximativement la fréquence d'échantillonnage du capteur de son pour le code `Capteur_audio_v1.ino` ?

<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/time/micros/>

- 5.10. Modifier le code `Capteur_audio_v1.ino` pour mesurer la fréquence d'échantillonnage

- 5.11. Dans le code `Capteur_audio_v1.ino`, supprimer l'instruction `Serial.println(data);` et calculer de nouveau la fréquence d'échantillonnage.

Commentaires :

- 5.12. Développer un code `Capteur_audio_v1.ino` permettant de détecter un claquement de doigts à proximité du capteur.

Expliquer la démarche suivie.

## 6. Fusion des données des capteurs

### 6.1. Introduction et objectif

Avant de transmettre à un système externe (ordinateur) les données issues des capteurs, il est nécessaire de les collecter et de les mettre en forme pour faciliter leur exploitation. Cette étape se nomme fusion des données. Une fois ces données reçues par l'ordinateur, elles seront interprétées et permettront d'effectuer des actions.

Jusqu'à présent chaque capteur était piloté/interrogé indépendamment. Cette partie consiste à présenter un code permettant d'interroger les 5 capteurs (joystick, température, distance, son, lumière). Ce nouveau code peut être vu comme une juxtaposition des codes utilisés et développés précédemment pour chaque capteur

### 6.2. Programme de fusion des données

Le principe consiste à afficher les informations provenant de chaque capteur dans la fenêtre « terminal » de l'IDE d'Arduino.

Pour que les données soient exploitables par un système extérieur il est nécessaire de se fixer un format particulier.

Le format choisi est le suivant :

```
balisedebut
joystick,x,gauche
joystick,y,haut
joystick,bp,appuyé
temperature,22
ultrason,35
son,44
lumiere,29
balisefin
```

Ce message est transmis à l'extérieur de la carte de développement par la liaison série et s'affiche en continu dans la fenêtre « terminal » de l'IDE Arduino. C'est-à-dire qu'une fois que les 9 lignes ont été affichées, il y a renouvellement de l'affichage du même message avec les données issues des capteurs remises à jour et ainsi de suite.

Ce message est constitué de 9 lignes

- Ligne 1            **balisedebut** permet d'identifier le début du message.
- Ligne 2            **joystick,x,gauche** signifie que la position du joystick en X est à gauche.  
3 positions sont possibles : **gauche,milieu,droite**  
Pour définir la position des joysticks, il est impératif de définir un fenêtrage, c'est-à-dire d'associer une position à un intervalle valeurs mesurées.  
Le joystick associé au microcontrôleur génère une information comprise entre 0 et 1023.  
Par conséquent, la position **gauche** est validée lorsque la valeur mesurée est par exemple comprise entre 0 et 56.
- Ligne 3            **joystick,y,haut** signifie que la position du joystick en Y est en haut.  
3 positions sont possibles : **haut,milieu,bas**
- Ligne 4            **joystick,bp,appuyé** signifie que le bouton poussoir (BP) du joystick est activé.  
2 positions sont possibles : **appuyé, non appuyé**
- Ligne 5            **temperature,22** signifie que la température mesurée est de 22°C.  
Il sera donc nécessaire de traduire la donnée fournie par le capteur comprise entre 0 et 1023 en une donnée en °C.
- Ligne 6            **ultrason,35** signifie que la distance mesurée entre le capteur et l'obstacle est de 35 cm.
- Ligne 7            **son,44** la donnée 44 est une donnée illustrant l'ambiance sonore. Cette donnée correspondra à la valeur maximale issue du capteur durant 2 secondes. Par conséquent cette donnée sera recalculée toutes les 2 secondes.
- Ligne 8            **lumiere,29** la donnée 29 est une donnée illustrant le niveau de luminosité de l'environnement du capteur.
- Ligne 9            La dernière ligne **balisefin** permet d'identifier la fin du message.

### 7.5. Travail à faire

Avant d'exploiter les données au niveau purement logiciel, il vous est demandé de développer et de tester le code `fusion_donnees.ino` à partir des compétences acquises durant les séances précédentes.

Ce travail consiste à programmer le microcontrôleur avec le code `fusion_donnees.ino` et de vérifier la pertinence des informations affichées dans la fenêtre « terminal » de l'IDE Arduino.

### 7.6. Questions

7.6.1. Est-il possible d'interroger les 6 capteurs précisément au même instant ?  
Pourquoi ?

7.6.2. Qu'appelle-t-on fréquence d'échantillonnage d'un capteur ?

7.6.3. Est-ce que chaque capteur nécessite la même fréquence d'échantillonnage ?  
Pourquoi ?

7.6.4. Pourquoi est-il nécessaire de choisir la fréquence d'échantillonnage du capteur en fonction de la grandeur physique à mesurer ?

# Annexe 1

## Glossaire

**AC** : Alternating Current

**Bande passante** : Bande de fréquences dans laquelle le gain du filtre est constant

**CAN** : Convertisseur Analogique Numérique

**CNA** : Convertisseur Numérique Analogique

**Carte de développement** : Carte contenant le microcontrôleur et les circuits périphériques permettant de l'utiliser

**DC** : Direct Current

**Décade** : Rapport de 10 entre 2 nombres. Exemple : [100 Hz – 1KHz] représente une décade

**Fréquence** :  $1/\text{Période}$

**Fréquence d'échantillonnage** : Vitesse de conversion du CAN ou du CNA en nombre d'échantillons par seconde

**Fréquence de coupure** : Fréquence caractéristique d'un filtre à partir de laquelle le gain diminue

**Gain** : Rapport de la tension de sortie  $V_s$  sur la tension d'entrée  $V_e$  ( $G = V_s/V_e$ )

**IDE (Integrated Development Environment)** : outil de développement

**IHM** : Interface Homme Machine

**LED** : Light-Emitted Diode

**LSB** : Least Significant Bit (Bit de poids faible)

**MSB** : Most Significant Bit (Bit de poids fort)

**Microcontrôleur** : Circuit intégré programmable équipé d'un processeur, de mémoires et de périphériques de communication

**Pas de quantification** : Précision du CAN ou du CNA (plus faible tension pouvant être convertie)

**Période** : Motif d'un signal qui se répète indéfiniment dans le temps

**Port USB** : Interface physique permettant la communication entre le PC et le microcontrôleur

**Référence de tension GND (Ground)** : 0 V

**Tension de seuil** : Tension de basculement d'un comparateur

### Unités

Résistance : ohm ( $\Omega$ )

Condensateur ou capacité : Farad (F)

Période : seconde (sec)

Fréquence : Hertz (Hz)

Tension : Volts (V)

## Annexe 2

### Utilisation de l'IDE Arduino

#### A. Lancement de l'outil de développement Arduino

Menu (taper dans recherche de programme arduino ou dans tous les programmes/Electronique)

Lorsque l'outil Arduino est exécuté, la fenêtre suivante s'affiche (Figure 1).

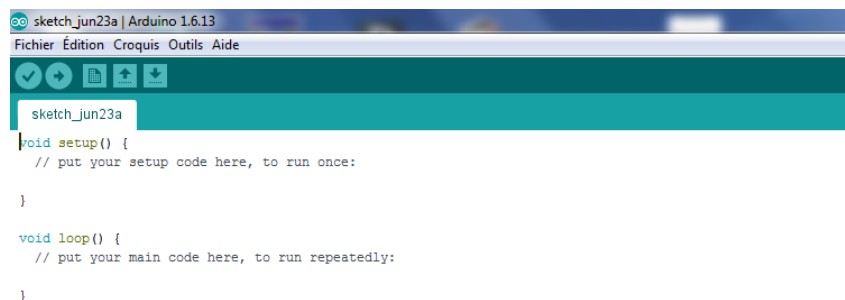


Figure 1 : Fenêtre d'ouverture avant d'ouvrir un fichier

#### B. Ouverture d'un fichier

Ouverture d'un fichier avec un code, par exemple le code CNA\_DC\_v1 (Figure 2)

Fichier -> Ouvrir ->

Se déplacer dans l'arborescence, sélectionner le répertoire CNA\_DC\_v1, puis le fichier CNA\_DC\_v1.ino

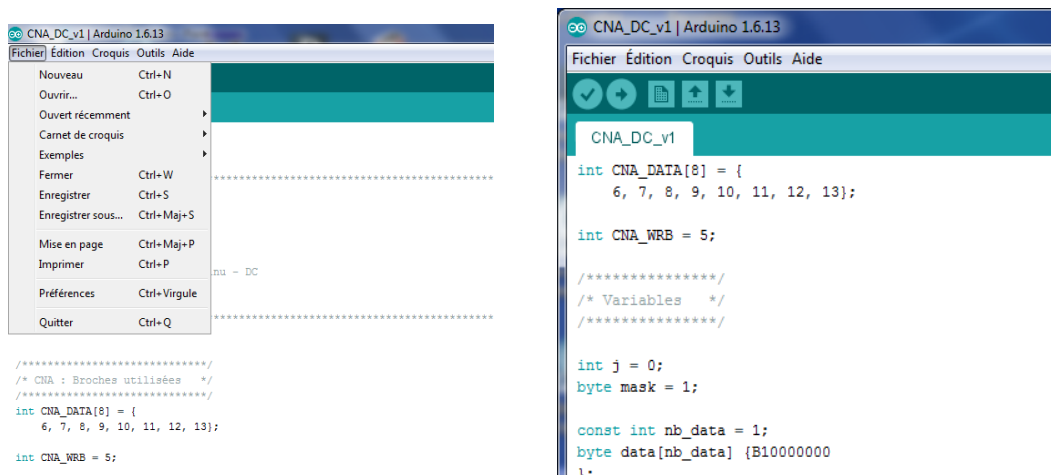


Figure 2 : Menu déroulant Fichier

### C. Configuration de l'environnement de développement (Figure 4)

Cette configuration est généralement nécessaire une seule fois par session ou lorsqu'il y a une perte de communication entre le PC et la carte Arduino.

Il est nécessaire de définir la carte de développement utilisée.

*Outils -> Type de carte -> Arduino/Genuino Uno*

Il est nécessaire de définir le port COM utilisé pour la communication entre le PC et le microcontrôleur. Ce port permettra de programmer le microcontrôleur et de lui transmettre des informations ou de recevoir des informations de sa part durant une application (par exemple réception d'une donnée issue d'un capteur).

*Outils -> Port*

Choisir le port COMi Arduino/Genuino avec  $i \neq 1$ . S'il n'y a que le port COM1, déconnecter la carte, reconnecter la, attendre quelques secondes et réitérer l'opération pour choisir le port COMi.

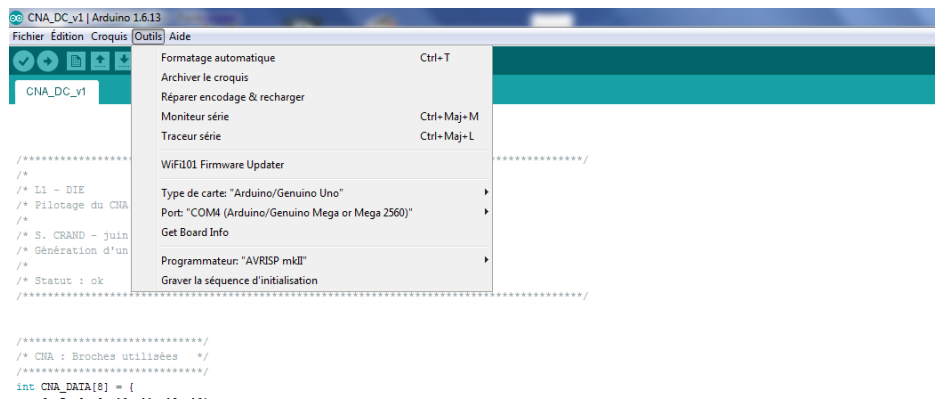


Figure 4 : Menu Outils

### D. Programmation du microcontrôleur (figure 5)

Le terme utilisé dans l'IDE Arduino pour programmer est « téléverser ». Cette opération consiste à vérifier que le code est syntaxiquement correct, le traduire en langage machine et de le transmettre au microcontrôleur.

*Croquis -> Téléverser*

### E. Ouverture du moniteur série (fenêtre terminal de l'IDE d'Arduino)

Le moniteur série est une interface homme-machine qui permet de visualiser sous forme textuelle les informations qui transitent entre le PC et le microcontrôleur

*Outils -> Moniteur série*

## F. Ouverture du Traceur série

Le traceur série est une interface homme-machine qui permet de visualiser sous forme graphique certaines des informations qui transitent entre le PC et le microcontrôleur

*Outils -> Traceur série*

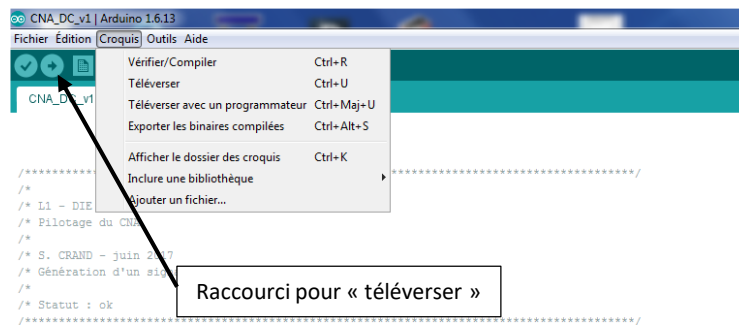


Figure 5 : Menu Croquis

## G. Modification d'un code

Pour modifier le code, il suffit de modifier le texte dans la fenêtre principale, d'effectuer une vérification syntaxique suivie d'une compilation puis de reprogrammer le microcontrôleur.

*Croquis -> Vérifier/Compiler*

*Croquis -> Téléverser*

## H. Vocabulaire

- **Microcontrôleur** : Circuit intégré programmable équipé d'un processeur, de mémoires et de périphériques de communication
- **Carte de développement** : Carte contenant le microcontrôleur et les circuits périphériques permettant de l'utiliser
- **Port USB** : Interface physique permettant la communication entre le PC et le microcontrôleur
- **IDE (Integrated Development Environment)** : outil de développement
- **Croquis ou sketch** : Code
- **Téléversement** : Programmation du microcontrôleur