

---

# Oscilloscopes

---

- tous les manuels d'introduction à l'électronique
- brochure Tektronix : Principe de l'oscilloscope
- R. Rateau, L'oscillographe cathodique, Coll. "Que sais-je ?", PUF
- les notices des constructeurs et leurs versions abrégées dactylographiées

## I) Introduction aux manipulations en électricité

### 1) L'instrument de base : l'ohmmètre

**Rappelons qu'un ohmmètre ne s'utilise que sur des appareils débranchés !**

- pour d'évidentes raisons de sécurité en haute tension,
- à cause de son principe de mesure : l'ohmmètre est un générateur de courant, qui débite un courant constant imposé par le calibre choisi, un voltmètre interne mesurant alors la tension à ses propres bornes.

À l'aide d'un ohmmètre, trouver ou vérifier quelles sont les bornes connectées entre elles pour un câble coaxial BNC – banane et pour un BNC – BNC.

De même, prendre un boîtier de résistances AOIP et mesurer les résistances entre ses trois bornes.

### 2) Quelle masse ?

La plupart des composants que vous utiliserez cette année sont fixés dans un boîtier. Ils peuvent :

- avoir une simple carcasse isolante,
- avoir une carcasse métallique, ou "masse", éventuellement recouverte d'une protection en plastique.

Vérifiez à l'ohmmètre le type du composant que vous utilisez.

Sur de vieux appareils, il y a parfois une prise séparée qui permet de brancher un fil directement sur la carcasse, ce qui peut éliminer des parasites. Les repérer à l'ohmmètre, par exemple sur les boîtes à décades de condensateurs, pour éviter de les confondre avec une vraie prise.

**Ces prises n'ont en général aucun intérêt.**

Vérifier à l'ohmmètre que :

- sur un appareil muni d'une prise BNC, le contact extérieur de la BNC est relié à la carcasse,
- s'il y a deux prises BNC, leurs contacts extérieurs sont en général reliés.

### 3) Quelle terre ?

Si la carcasse d'un appareil est métallique, elle doit désormais par sécurité être connectée au troisième fil des prises électriques. Ce fil est lui-même relié à un gros pieu métallique planté dans un mètre de terre dans la cave, pour obtenir un bon contact électrique avec la Terre. Vérifier à l'ohmmètre que, quand on branche les cordons d'alimentation d'un générateur basse fréquence et d'un oscilloscope, leurs deux carcasses sont reliées. **Autrement dit, qu'on le veuille ou non, deux points du circuit peuvent être déjà reliés avant qu'on ait commencé à manipuler.** À vous de voir si cela est un avantage ou un inconvénient dans le circuit que vous montez. Si vous avez un doute, toujours vérifier avec un ohmmètre !

**Lexique :**

- **Banane** : connecteur simple, relié à un seul fil.
- **BNC** ("Bayonet Navy Connector") : connecteur double. Il est fait de deux fiches concentriques, entre lesquelles on peut appliquer une tension allant jusqu'à 1000 V. On l'utilise avec du câble bifilaire coaxial, également capable de supporter ces tensions.

- **Carcasse** : capot d'un appareil.
- **GBF** : générateur basse fréquence (de quelques Hz à quelques MHz).
- **Masse** : à l'origine, désigne la carcasse conductrice d'un appareil. Par extension, désigne un point du circuit électrique qui sert de référence. Il ne faut pas la confondre avec la terre, même si les deux sont souvent reliées.
- **Oscillo différentiel** : oscilloscope qui évalue la tension entre ses deux entrées flottantes, alors qu'un oscilloscope normal évalue, lui, la tension entre une entrée flottante et une reliée à sa carcasse.
- **Prise de terre** :
  - troisième fiche d'une prise électrique, reliée à un pieu dans la cave.
  - troisième fiche du cordon d'alimentation d'un appareil, reliée à sa carcasse si elle est conductrice.
- **Résistance de charge** : résistance utile, celle dans laquelle on cherche à débiter de la puissance.

## II) L'oscillographe analogique

### 1) Introduction

Commencer par choisir deux oscilloscopes de marques différentes. Se familiariser avec les réglages décrits ci-dessous en réalisant les expériences proposées. Pour repérer les boutons, remarquer leur aspect systématique. Par exemple, chez Tektronix, noter l'utilisation des boutons poussoirs et les encadrements de couleurs regroupant les commandes.

### 2) Le tube cathodique

Les réglages associés au canon à électrons du tube sont :

- **POWER** : mise sous tension,
- **INTENSITY** : réglage de l'intensité du faisceau électronique (par la tension de l'électrode de Wehnelt),
- **FOCUS** : réglage des électrodes de focalisation, et éventuellement :
- **ILLUM** : éclairage de la graduation de l'écran,
- **BEAM FINDER** : recherche préalable du spot – facilite les réglages de position.

### 3) La déviation verticale

Pour dévier le faisceau d'électrons, la tension nécessaire entre les plaques est de l'ordre de 100 V. Les tensions d'entrée sont donc amplifiées (jusqu'à  $10^6$  fois). À chacune des deux voies d'entrée (notées A et B, CH1 et CH2, ou Left et Right) correspond un amplificateur, dont la résistance d'entrée standard est de  $1\text{M}\Omega$ . Le signal d'entrée est toujours une tension relative à la masse !

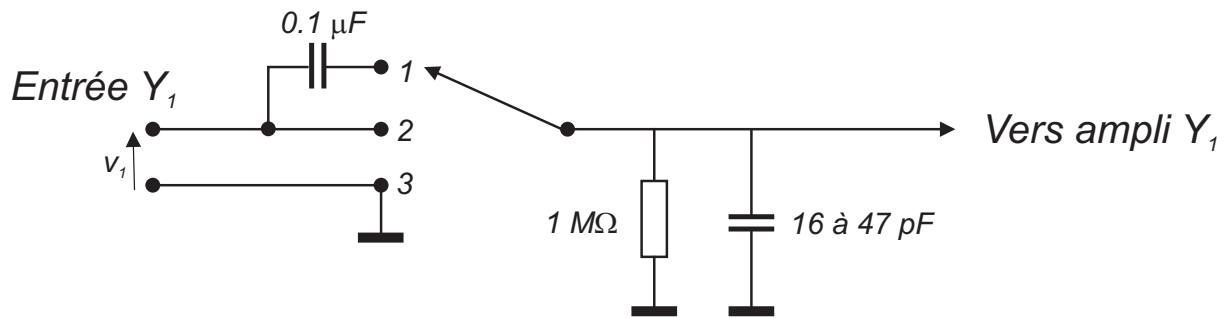


FIG. 1 – Schéma équivalent de l'entrée d'un oscilloscope non différentiel (le réglage de sensibilité n'est pas représenté).

#### a) Commandes relatives aux signaux d'entrée

1. : **AC** (alternative coupling) : entrée par le condensateur qui arrête les très basses fréquences et le continu
2. : **DC** (direct coupling) : entrée normale
3. : **GD** (ground) : déconnexion du signal d'entrée et annulation de la tension de déflexion

**Toujours brancher le signal en DC ! (au moins pour commencer)**

**Le cadrage** : le réglage des positions verticale et horizontale des signaux est assuré par l'addition de tensions continues. Avant de faire des mesures absolues, veiller à bien positionner la trace en position **GD**.

#### b) Réglage du gain des amplis : VOLT/DIV ou AMPL/DIV

Le gain affiché n'est valable qu'en position calibrée (CAL). **Attention à ne pas faire de mesure en position VARIABLE !** Remarquer que la sensibilité maximale dépend du type d'oscilloscope. La mesure sera plus précise pour un calibre adapté, c'est-à-dire quand la trace occupe le maximum de place à l'écran.

Si le signal d'entrée est trop grand ( $> 50$  V), il faut l'atténuer en utilisant une sonde, par exemple une sonde 1/10 qui augmente la résistance d'entrée à  $10\text{ M}\Omega$  (voir sa notice et l'annexe 3 à la fin du poly).

#### c) Fonctions du commutateur ALT/CHOP

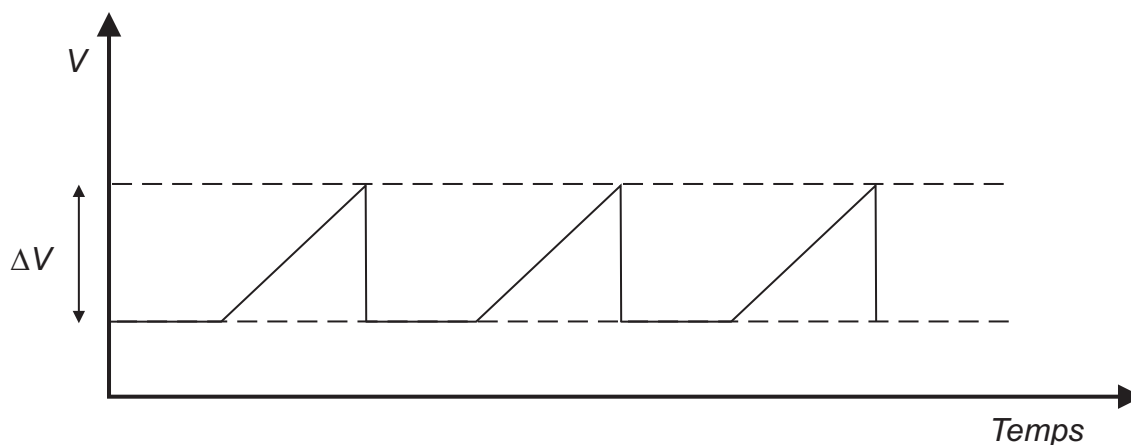
Ce commutateur permet de visualiser deux signaux à partir d'un seul faisceau d'électrons. Les différents modes sont :

- en monocourbe, on visualise un seul des deux signaux (A ou B, ou boutons DISPLAY),
- **CHOP** (chopped = haché) : le spot décrit les deux courbes par morceaux en passant rapidement de l'une à l'autre (à  $100\text{ kHz}$ ), à employer en basse fréquence,
- **ALT** : à chaque balayage, le spot décrit alternativement une courbe puis l'autre, utile en haute fréquence,
- **ADD** : donne une courbe correspondant à la somme des deux signaux (ou la différence si l'un d'eux a été inversé par INVERT).

## 4) La déviation horizontale

### a) Balayage

Le signal de balayage fourni par la base de temps a la forme suivante :



L'amplitude  $\Delta V$  de la dent de scie est constante et telle que le balayage couvre tout l'écran. La durée d'un balayage est choisie par le bouton de base de temps (TIME/DIV ou SEC/DIV) qui ajuste donc la pente de la dent de scie (position calibrée CAL).

### b) Déclenchement

- On doit d'abord choisir le **signal de déclenchement** :
  - celui des voies 1 ou 2,
  - utiliser un signal externe pour synchroniser (en EXT),
  - à noter que sur certains oscilloscopes, la synchro peut se faire directement sur le secteur (LINE). En général, rester sur AC (uniquement pour le déclenchement). On peut passer en DC si on travaille en basse fréquence car en mode AC, le filtrage des variations à basse fréquence peut perturber la synchronisation.
- Les oscilloscopes fonctionnent en mode déclenché (TRIGGER = déclencheur), c'est-à-dire que la dent de scie démarre lorsque le signal d'entrée atteint un **niveau** donné, qu'on règle avec le bouton LEVEL. De plus, le déclenchement est inhibé tant que la **pente** du signal n'a pas un signe choisi au préalable (SLOPE + ou -) ; sinon, dans le cas d'une sinusoïde par exemple, il y aurait deux déclenchements par période.
- Certains oscilloscopes possèdent un bouton P-P (peak-to-peak = crête-à-crête) : quand il est enclenché, le réglage du niveau est automatiquement limité entre les valeurs minimale et maximale du signal déclencheur. Cela facilite le réglage en évitant de fixer un niveau de déclenchement que le signal n'atteint pas.
- En position AUTO, il y a toujours une trace sur l'écran : dans ce mode, en l'absence de signal synchronisant, le balayage se déclenche après une attente de l'ordre de 50 ms. Il est en général plus agréable que le mode manuel, sauf quand la période des signaux est supérieure à 50 ms (puisqu'alors, il ne synchronise pas).
- Dans un circuit utilisant un générateur basse fréquence (GBF), on peut utiliser le mode AUTO pour obtenir un signal. Il est néanmoins recommandé de passer ensuite en déclenchement **externe** sur la sortie synchro (ou TTL) du GBF, qui délivre des créneaux de

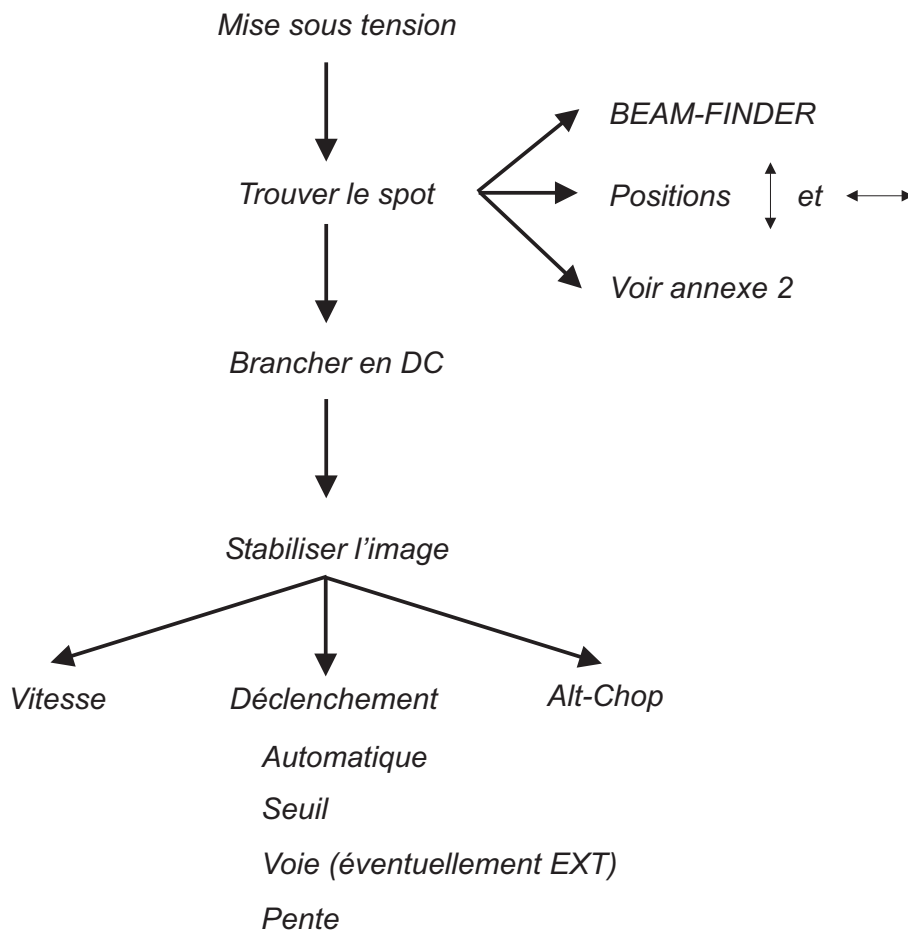
tension (entre 0 et 5 V) synchronisés avec la sortie du GBF. Dans le cas contraire, en mode NORMAL ou AUTO, on risque un déclenchement instable en phase, qui complique beaucoup les manip, voire l'absence de déclenchement si les signaux observés deviennent trop faibles.

### c) Fonctionnement XY

Avant de l'utiliser, visualiser chaque signal séparément ! La déviation horizontale est due au signal entré sur la voie 1. Le commutateur de la base de temps doit être sur XY, EXT-X ou LvR (Left versus Right).

## 5) Récapitulatif

Voici la démarche à suivre en général lorsqu'on utilise un oscilloscope :



**Améliorations fines et facultatives du résultat quand cela est nécessaire :**

- améliorer la qualité de l'image obtenue par ILLUM, FOCUS pour le spot,
- décalibrer et régler en hauteur et largeur la courbe obtenue **si on ne fait pas de mesure absolue**,
- passer en XY,
- prendre un oscillo plus adapté : à mémoire, différentiel, numérique,
- utiliser le mode AC.

### III) Expériences proposées

#### 1) Observation d'un signal de générateur basse fréquence

La masse du GBF et celle de l'oscilloscope sont en général reliées par l'intermédiaire des prises de terre des cordons d'alimentation. On n'a donc pas le choix : ce point est nécessairement commun dans le circuit.

Entraînez-vous à :

- régler le déclenchement (LEVEL, AUTO, ...),
- choisir entre les modes CHOP et ALTERN suivant la fréquence,
- observer l'effet de l'entrée AC (sur un signal carré de basse fréquence en particulier).

Vérifier que le branchement de cette entrée peut modifier le signal : **il faut donc éviter au maximum son utilisation !**

Si vous disposez d'un oscillo à mémoire, entraînez-vous à stocker le signal d'une voie et à le comparer avec d'autre signaux modifiés.

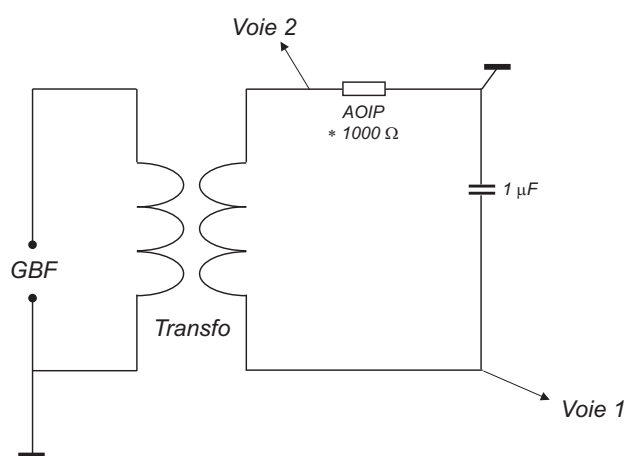
#### 2) Impédance d'un circuit RC

Cela donne l'occasion d'utiliser les deux voies des oscilloscopes et le fonctionnement en mode XY. Si l'oscillo utilisé n'a pas d'entrées différentielles, on doit utiliser le montage *a*, avec un transformateur de rapport 1, appelé alors transformateur d'isolement. S'il en a, le montage *b* convient : revoir le branchement d'un oscillo différentiel en annexe 1.

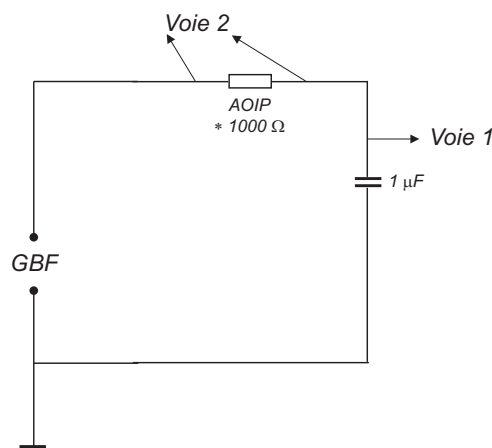
Montrer la quadrature entre les tensions aux bornes de R et de C :

- en mesurant le décalage entre les deux sinusoïdes,
- en passant en XY.

Repérer quelle tension est en avance sur l'autre.



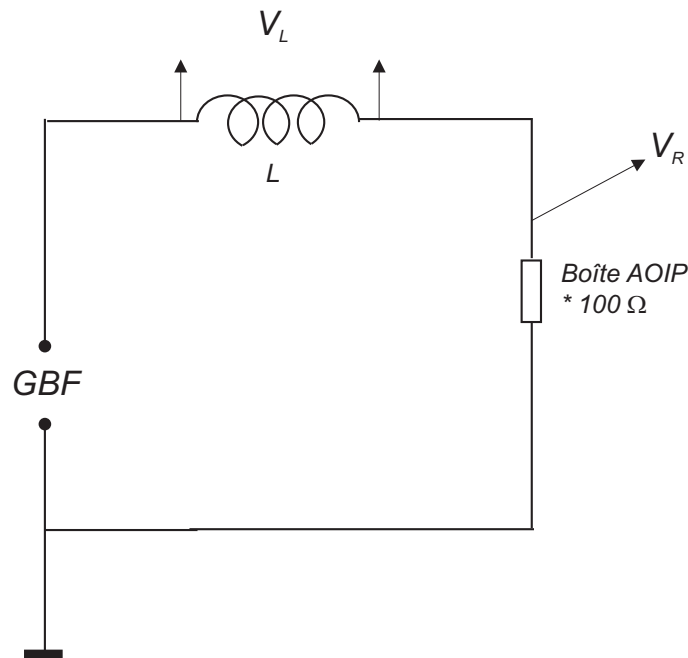
Montage a



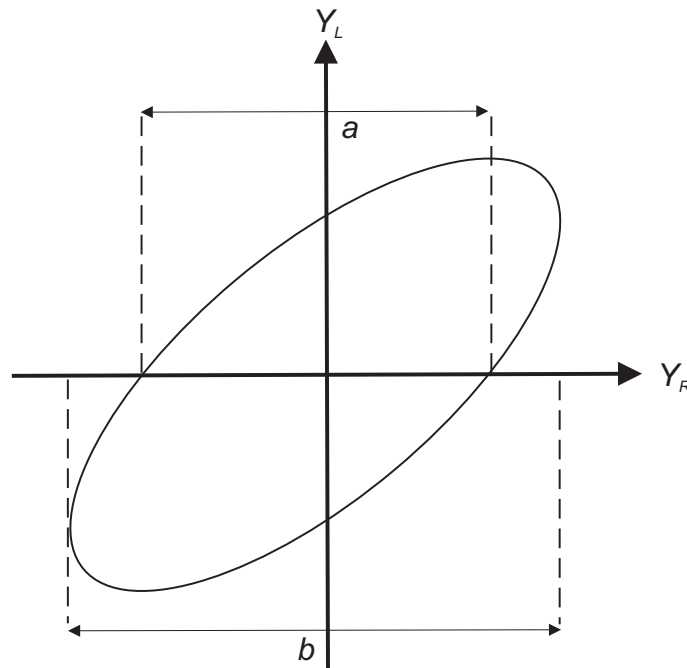
Montage b

#### 3) Impédance d'un circuit RL

Même choix que dans le cas précédent d'un montage avec ou sans transfo d'isolement. On ne dessine ici que le schéma *b*. Utiliser une self sans fer (pourquoi?).



- Mesurer les déphasages entre  $V_R$  et  $V_L$  en balayage et en XY ; en XY,  $|\sin \varphi| = a/b$ .
- Comparer les précisions obtenues. Faire varier la fréquence.



## IV) Oscilloscope numérique

CONSEIL : avant de commencer à utiliser un oscilloscope numérique, appeler la fonction CONFIG PAR DEFALT (ou DEFAULT SETUP) qui place l'appareil dans son état de sortie d'usine et élimine les fonctions programmées par les utilisateurs précédents. Cependant avec les



oscilloscopes TDS cet état inclut une correction de sonde atténuatrice 1/10 (cf. annexe 3) qu'il faut déprogrammer sinon les mesures de tension sont faussées.

Au cours de l'utilisation courante, la fonction AUTOSET règle automatiquement la sensibilité et le balayage adaptés au signal étudié.

## 1) Mesures avec curseurs

Reprendre l'expérience précédente, s'entraîner à l'utilisation des curseurs pour mesurer une tension, une fréquence, une durée. Application à la mesure d'un déphasage.

## 2) Transformée de Fourier discrète

Les oscilloscopes numériques permettent de faire la transformée de Fourier d'un signal. On étudiera la transformée de Fourier en détail dans le TP "Télécommunications – Traitement du signal".

### a) Propriétés de la transformée de Fourier discrète d'un signal

#### Caractéristiques du signal :

**Fenêtre d'analyse** Le calcul de la transformée est fait sur une durée  $T$  finie qui correspond à la partie du signal visible sur l'écran de l'oscilloscope et qui est facile à déterminer en utilisant le calibre temporel.

**Numérisation** Le signal est échantillonné régulièrement avec un pas  $t_e$ , appelé temps d'échantillonnage; la fenêtre définie précédemment correspond donc à un nombre  $n$  de points tel que  $T = n \times t_e$ . Le nombre de points  $n$  est généralement une puissance de 2 (1024, 2048, 4096, ...), pour accélérer les calculs.

On définit aussi la fréquence d'échantillonnage  $f_e = 1/t_e$ .

#### Caractéristiques du spectre obtenu :

**Résolution en fréquence** Deux points du spectre sont séparés par l'intervalle  $f = 1/T$ .

**Bornes** La borne supérieure du spectre vaut  $f_{max} = 1/2t_e = f_e/2$ ; en toute rigueur le spectre s'étend de  $-f_{max}$  à  $+f_{max}$ , mais comme le signal de départ est réel, le module de ce spectre est symétrique par rapport à  $f = 0$  et on limite généralement son tracé à l'intervalle  $[0, f_{max}]$ .

Les oscilloscopes permettent en général de tracer le spectre sur un intervalle plus limité  $[f_{min}, f_{max}]$  que l'on peut régler avec les boutons appropriés.

### b) Manipulation

Étudier le spectre d'une tension sinusoïdale puis en créneaux. Lire attentivement la notice de l'oscilloscope pour être capable d'obtenir le spectre et de trouver les paramètres du calcul de la transformée de Fourier réalisée par l'oscilloscope. Vérifier expérimentalement les points suivants (utiliser les curseurs de l'oscilloscope) :

– identification de la fréquence du signal : comparer la mesure avec la valeur donnée par un fréquencemètre,

- résolution en fréquence du spectre,
- fréquence maximum du spectre.

Pour les mesures d'amplitude, tenir compte du fait que l'axe vertical est gradué en décibels (dB).

### c) Limitations du calcul de la transformée de Fourier

Pour une fréquence d'échantillonnage donnée, la fréquence maximum du spectre est fixée :  $f_{max} = f_e/2$ . En effet, d'après le théorème de SHANNON on ne peut pas analyser un signal à une fréquence  $f > f_{max}$ . Le vérifier en réalisant l'expérience suivante : fixer les paramètres de la transformée de Fourier et augmenter progressivement la fréquence du signal à analyser. Comparer la mesure de cette fréquence avec celle affichée par le GBF. Constaté que pour  $f > f_{max}$ , on obtient toujours un pic dans le spectre mais qu'il est à une fréquence différente de  $f$ . On a ce qu'on appelle un repliement du spectre (en anglais "aliasing") : le pic obtenu est symétrique du pic réel par rapport à  $f_{max}$ . Plus on augmente  $f$ , plus la fréquence apparente semble diminuer. Si on continue à augmenter  $f$  au-delà de  $2f_{max}$ , la fréquence du pic obtenu se remet à augmenter...

Ce phénomène de repliement du spectre est directement lié à la stroboscopie.

## V) Annexe 1 : Oscilloscopes différentiels

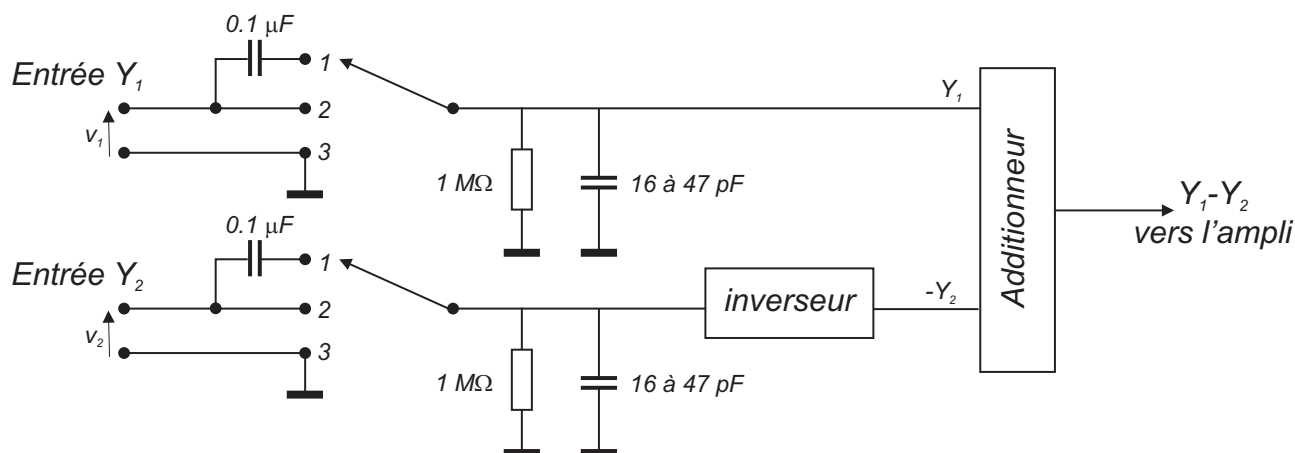


FIG. 2 – Schéma de principe d'une entrée différentielle d'oscilloscope.

Comme il est expliqué plus haut, le signal d'entrée est toujours une tension relative à la masse. Les oscilloscopes différentiels, qui permettent de mesurer la tension  $V_1 - V_2$  entre deux points quelconques d'un circuit, comportent deux amplis par voie (signal  $V_1$  entré en +, signal  $V_2$  entré en -).

Sur la voie  $Y_1^+$ , on envoie  $V_B - V_O$ , sur la voie  $Y_1^-$ ,  $V_A - V_O$ , si bien que l'oscillo mesure  $V_R = V_B - V_A$ .

Sur la voie  $Y_2$ , on effectue une mesure ordinaire :  $V_C = V_A - V_O$ .

Il suffit de relier le conducteur externe d'un seul câble à la masse du circuit  $O$ . En effet, les

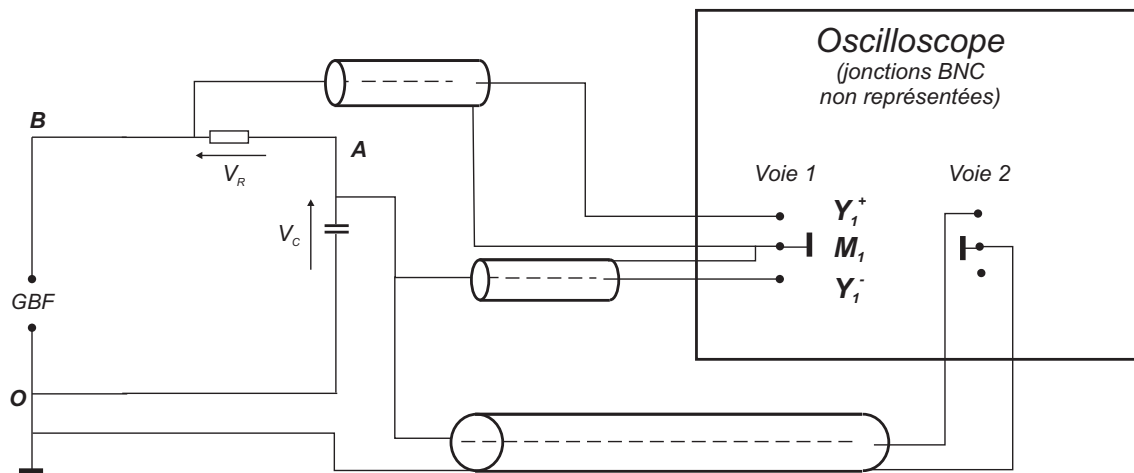


FIG. 3 – Utilisation d'un oscilloscope différentiel avec des câbles blindés.

connecteurs extérieurs des prises BNC de l'oscillo sont reliés à la carcasse, donc entre eux :  $M_1 = M_2$ .

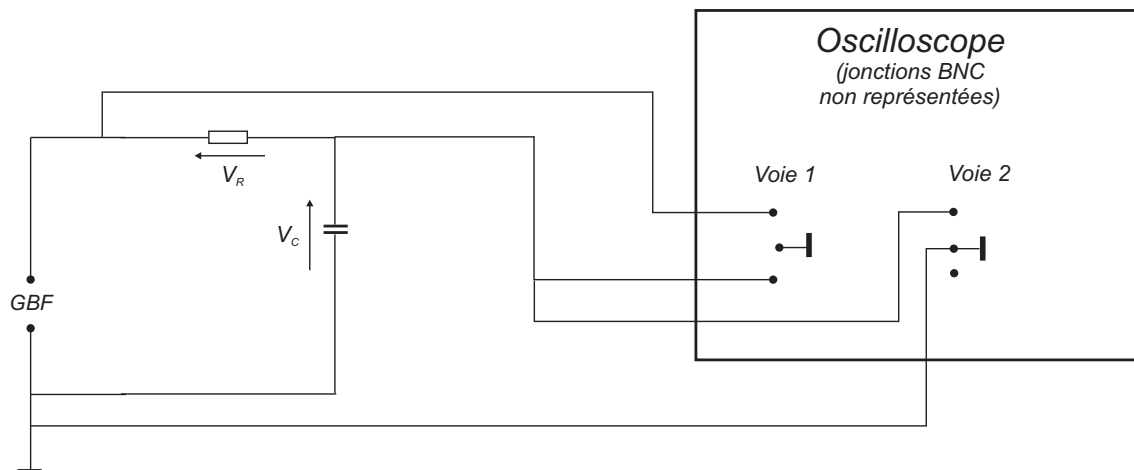


FIG. 4 – Utilisation d'un oscilloscope différentiel avec des câbles ordinaires.

## VI) Annexe 2 : Que faire quand ça ne marche pas ?

- Si le faisceau est peu visible, vérifier :
  - la focalisation,
  - l'intensité.
- Si le faisceau n'est pas visible, vérifier :
  - le déclenchement,
  - si on affiche une ou deux voies,
  - les réglages de position, de sensibilité, de balayage.
- Si l'image sautille, vérifier :

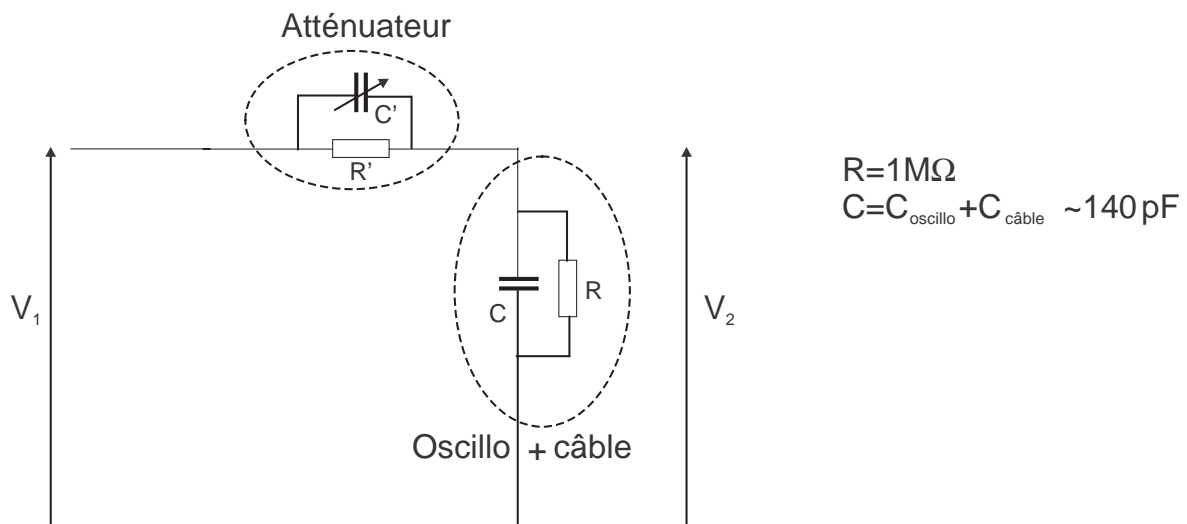
- la base de temps,
- la position ALT/CHOP,
- le déclenchement.
- Si vous avez un signal de période 20 ms, c'est un parasite qui vient du réseau EDF à 50 Hz. Vérifier les branchements, en particulier que vous prenez bien la différence de tension entre deux points bien branchés d'un même circuit électrique.
- En XY, toujours visualiser séparément les deux signaux.

### Et quand on a tout testé ?

Il existe dans certains oscilloscopes des fonctions particulières qui ne servent pas dans le cadre des TP. Cependant, certaines d'entre elles peuvent perturber sérieusement les mesures :

- HOLD OFF : inhibe le déclenchement de la synchronisation pendant un temps réglable (pour synchroniser certains signaux compliqués). Doit être sur sa valeur minimale, sinon réduit la fréquence de balayage.
- DELAY : retarde le balayage après le déclenchement (permet d'observer un phénomène périodique *avant qu'il ne déclenche la synchronisation*). Doit être annulé, sinon réduit la fréquence de balayage.
- MAGNIFIER ("loupe" en anglais)  $\times 5$  ou  $\times 10$  : utilisé pour voir des détails (dilate la base de temps, mais laisse accès à l'ensemble du signal par le bouton de position horizontale). Doit normalement être annulé, donc laissé en position  $\times 1$ , car il change le calibre de la base de temps, réduit la fréquence de balayage et introduit des difficultés d'interprétation.

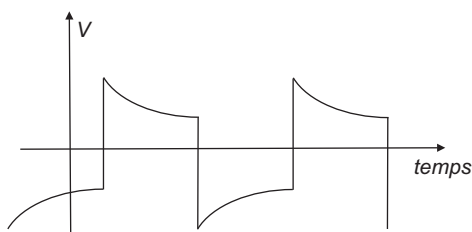
## VII) Annexe 3 : Principe et réglage d'une sonde atténuatrice



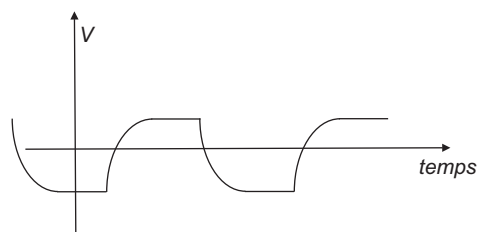
**But :** Diviser la tension à mesurer par 10 et accroître l'impédance d'entrée. Ne pas entrer cependant des tensions supérieures à 500 V.

**Réalisation** : Si l'on met en série avec l'oscillo une impédance  $Z'$  ( $R'$  et  $C'$  en parallèle) qui vaut 9 fois l'impédance d'entrée  $Z$  de l'oscillo, on a réalisé un diviseur de tension. On établira facilement que pour que ceci soit vrai quelle que soit la fréquence, il faut que  $R' = 9R = 9M\Omega$  et  $C' = C/9 \simeq 15pF$ .

**Réglage** : Envoyer à travers la sonde un bon signal carré (utiliser celui délivré par la sortie calibration de l'oscillo) et régler la capacité de façon à observer un signal non déformé.



*$C'$  trop grand*



*$C'$  trop petit*