

### E1.1 BUT DE LA MANIPULATION

Le but de la manipulation est de vous familiariser à l'utilisation d'un appareil de mesure couramment employé en électricité ou en électronique dans la vérification des circuits : un oscilloscope. Vous mesurerez des hauteurs et des durées de signaux, des déphasages entre 2 signaux de même fréquence; vous ferez la différence entre une tension maximale et une tension efficace et vous observerez également des figures de Lissajous (signaux de fréquence multiple).

Vous réaliserez en outre des circuits comprenant des diodes à semi-conducteur, ce qui vous permettra d'étudier leur utilité pratique (circuits redresseurs).

### E1.2 DESCRIPTION DE L'OSCILLOSCOPE

#### E1.2.1 Introduction

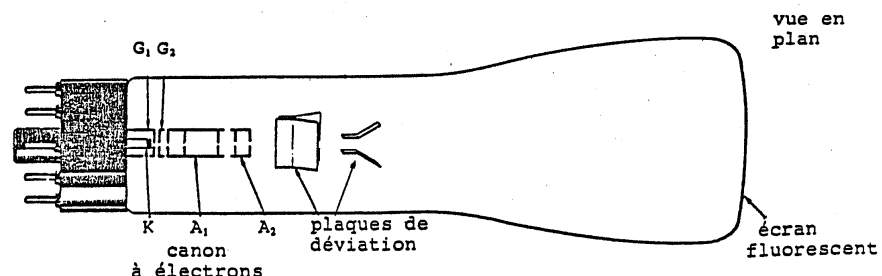
L'oscilloscope permet de visualiser 2 signaux électriques, 2 tensions  $U_1$  et  $U_2$  en fonction du temps :  $U_1(t)$  et  $U_2(t)$ ; **il s'agit de tensions**  $\Rightarrow$  **l'oscillo se branche en parallèle dans un circuit**. Il permet également la représentation graphique du signal  $U_1$  (ou X) en fonction du signal  $U_2$  (ou Y)  $\Rightarrow$  permet de visualiser la fonction  $Y = f(X)$  (mode Lissajous).

La partie essentielle de l'oscilloscope est le tube à rayons cathodiques. Des circuits électriques permettent l'alimentation et le réglage du tube cathodique ainsi que l'amplification et la génération de divers signaux. Le phénomène étudié apparaît sur l'écran par impact d'un faisceau d'électrons sur une couche fluorescente déposée sur la surface interne de l'écran.

Grâce à la faible inertie des électrons, l'oscilloscope est parfaitement adapté à l'observation de signaux variant très rapidement (bande passante de l'oscillo). Il est à remarquer qu'il existe de nombreux modules qui permettent la conversion d'une grandeur physique quelconque en un signal électrique; par conséquent, le domaine d'utilisation de l'oscilloscope est très vaste.

#### E1.2.2 Composants de l'oscillo : le tube cathodique

Le tube cathodique comprend (cf. Fig) un canon à électrons, qui émet les électrons, les accélère et les focalise sur l'écran ; un système de déviation électrostatique des électrons, comportant deux paires de plaques ; un écran fluorescent pour visualiser le point d'impact des électrons. L'ensemble est placé dans une enceinte de verre, vide d'air (1 nm Hg).



Le canon à électrons est formé de plusieurs électrodes:

- La cathode K, qui émet les électrons par effet thermoélectronique.
- La grille  $G_1$ , appelée aussi grille de Wehnelt. Cette grille est portée à un potentiel négatif par rapport à K. En faisant varier le potentiel de  $G_1$ , on peut régler l'intensité du faisceau d'électrons et par conséquent la luminosité de la trace sur l'écran.
- La grille  $G_2$  et les anodes  $A_1$  et  $A_2$  sont portées à des potentiels positifs par rapport à la cathode, de

sorte que le champ électrique résultant accélère les électrons. Les électrodes remplissent un autre rôle. Les électrons sortent de l'ouverture de  $G_1$  suivant différentes directions ; en outre, un faisceau d'électrons tend à s'élargir à cause de la répulsion électrostatique. Il faut donc focaliser le faisceau sur l'écran si on désire une petite tache lumineuse. Le champ électrique entre  $G_2$  et  $A_1$  ainsi qu'entre  $A_1$  et  $A_2$  réalise cette focalisation. La forme à donner aux électrodes et les potentiels à imposer sont des problèmes d'optique électronique, par analogie avec des problèmes semblables rencontrés en optique.

Le système de déviation est constitué de deux paires de plaques: deux plaques pour la **dévi**ation **horizontale** et deux pour la **dévi**ation **verticale**. Le faisceau d'électrons passe entre les plaques ; lorsqu'on applique une différence de potentiel entre les plaques de l'une ou l'autre paire, le champ électrique transversal qui en résulte dévie le faisceau.

La paroi interne de l'écran est recouverte d'un matériau fluorescent qui convertit l'énergie cinétique des électrons en énergie lumineuse. L'intensité lumineuse dépend de la vitesse des électrons et de l'intensité du faisceau.

### E1.2.3 Note sur la déviation d'un faisceau d'électrons

► Soit (fig)  $U_a$  la tension d'accélération des électrons et  $U_d (=E.d)$  la tension appliquée aux plaques de déviation. En supposant que les électrons sortent de la cathode (**K**) avec une vitesse négligeable, on peut calculer la vitesse des électrons à la sortie de l'espace d'accélération en fonction de  $U_a$ :

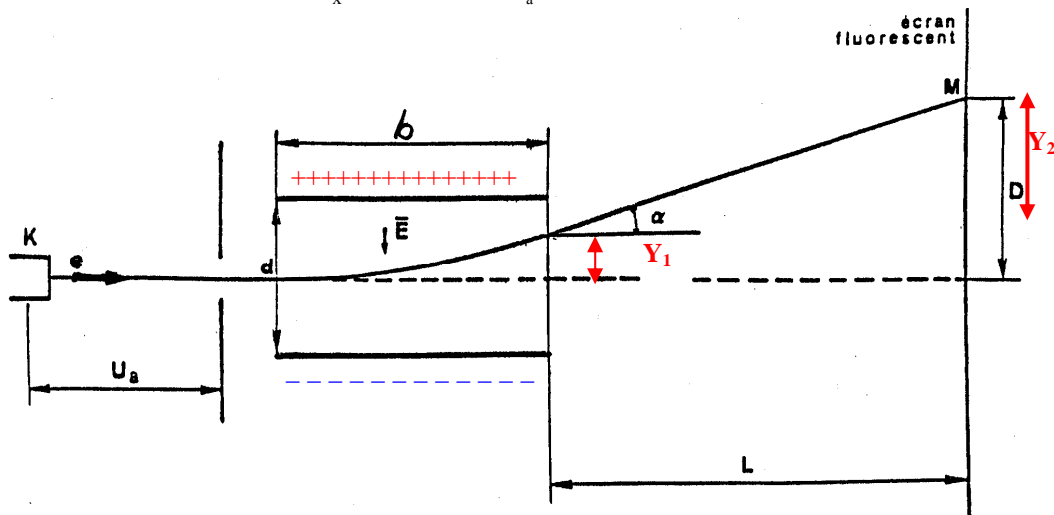
$$v_x^2 = 2 e U_a / m$$

► Le champ électrique entre les plaques étant supposé uniforme et la vitesse des électrons à l'entrée perpendiculaire à ce champ, on établit l'équation de la trajectoire des électrons dans l'espace entre les plaques. On prend l'axe  $Ox$  parallèle à la vitesse à l'entrée et l'axe  $Oy$  orthogonal aux plaques ; les paramètres sont  $U_a$ ,  $E$  et les distances  $b$  et  $L$ .  $\Rightarrow$  entre les plaques, la trajectoire est parabolique :

$$y = a_y x^2 / 2 v_x^2 \quad \text{avec} \quad a_y = e E / m \quad \Rightarrow \quad Y_1 = a_y b^2 / 2 v_x^2 \quad \Rightarrow \quad \tan \alpha = |dy / dx|_{x=b} = a_y b / v_x^2$$

► Sachant que, au-delà des plaques, le champ électrique est supposé nul et donc que les électrons suivent une trajectoire rectiligne tangente à la trajectoire suivie entre les plaques, on peut calculer  $Y_2$  par la relation de Pythagore ( $Y_2 = L.tg\alpha$ ) et montrer que la déviation  $D$  du faisceau au niveau de l'écran est :

$$D = Y_1 + Y_2 = \frac{a_y b}{v_x^2} \left( \frac{b}{2} + L \right) = \frac{U_d}{U_a} \frac{b(b + 2L)}{4d} \quad (1)$$



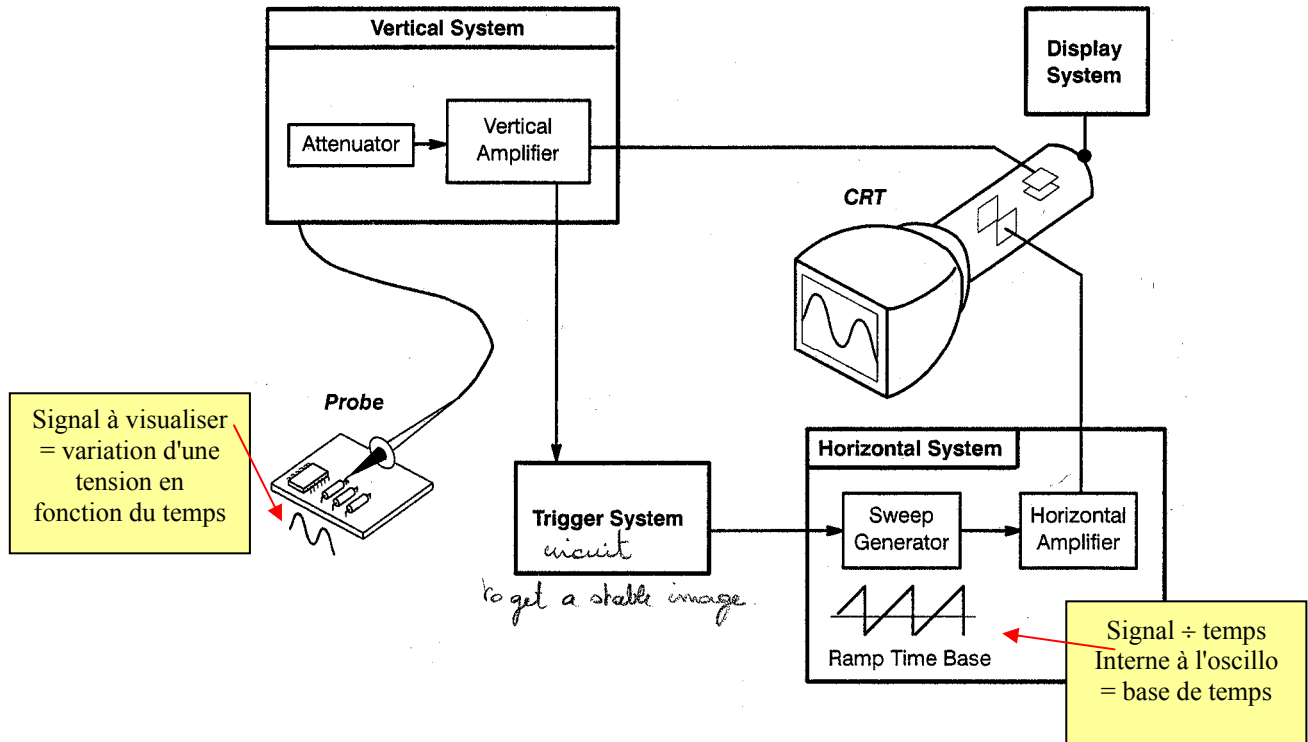
► La sensibilité de déviation du tube cathodique se définit comme le rapport  $D/U_d$  [mm/V]; elle vaut:

$$s = \frac{D}{U_d} = \frac{1}{U_a} \frac{b(b + 2L)}{4d} \quad (2)$$

On voit que pour obtenir une grande sensibilité de déviation, il ne faut pas accélérer trop les électrons ; mais on perd alors en luminosité.

### E1.2.4 Circuits d'amplification – atténuation des signaux à visualiser

Dans beaucoup de cas, il est nécessaire d'amplifier (atténuer) les signaux électriques avant de les appliquer sur les plaques de déviation ; en outre, si on désire observer un signal en fonction du temps, il faut engendrer un signal proportionnel au temps (cf. § suivant).

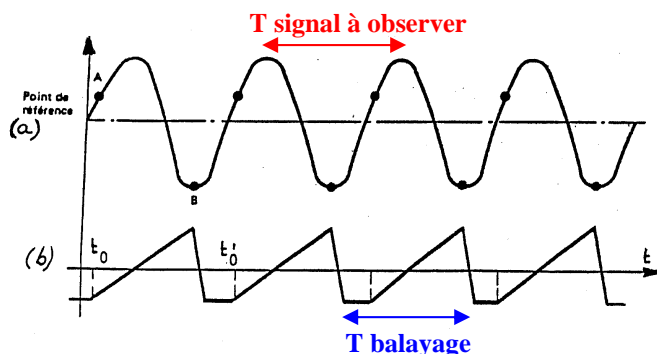


### E1.2.5 Base de temps – balayage horizontal

Si on désire observer la variation d'une tension en fonction du temps, il suffit d'appliquer cette tension (appelée souvent "signal") à l'entrée de l'amplificateur vertical et d'appliquer à l'entrée de l'amplificateur horizontal une tension qui varie proportionnellement au temps ; cette tension varie donc linéairement avec le temps et il en résulte un déplacement horizontal, à vitesse constante, du spot lumineux. Ce mouvement du spot s'appelle le balayage horizontal et le circuit électrique qui engendre la tension de balayage est la **base de temps**.

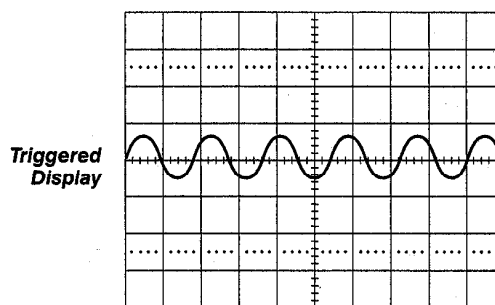
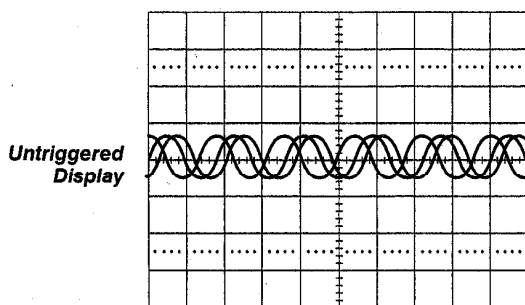
► Un seul passage du spot sur l'écran permet rarement une observation visuelle parce que le temps d'observation est souvent trop bref (on peut photographier l'écran et observer la photo). Dans le cas fréquent où on observe un signal périodique, on peut appliquer une tension de balayage périodique de manière que les traces successives se superposent. La **tension de balayage** est alors une tension **en dents de scie** (fig). À cause de la persistance rétinienne, lorsque la fréquence de la tension de balayage est assez grande, l'observateur voit une courbe d'intensité lumineuse constante. L'écran possède aussi une persistance (ou rémanence) .

- (a) Signal à visualiser :  $V(t)$
- (b) Signal en dent de scie =  $V$  de balayage = signal de la base de temps



### E1.2.6 synchronisation de la base de temps : triggering

► Pour que la base de temps soit synchronisée (sur le signal à observer), il faut que la période des impulsions de synchronisation (période des signaux base de temps en forme de dents de scie qui détermine le temps de parcours du spot lumineux de gauche à droite de l'écran) soit égale à celle du signal observé ou à l'un de ses multiples (ou même à l'un de ses sous-multiples).

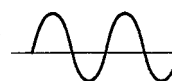


⇒ placer le **commutateur de synchronisation en position Ch 1 ou Ch 2** (suivant le signal observé) & **TOURNER le bouton "TRIGGER"** pour aboutir à la synchronisation (on fait varier la pente des signaux en dents de scie et on aboutit à la stabilisation de l'image).

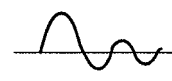
### E1.2.8 Observation d'un signal en fonction du temps

Voici quelques formes possibles de signaux les plus fréquemment rencontrées:

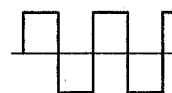
- onde sinusoïdale
- sinusoïde amortie
- signal carré
- signal rectangulaire
- signal en dents de scie
- signal triangulaire
- discontinuité de tension
- impulsion de tension



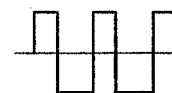
*Sine Wave*



*Damped Sine Wave*



*Square Wave*



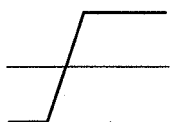
*Rectangular Wave*



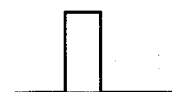
*Sawtooth Wave*



*Triangle Wave*



*Step*



*Pulse*

## E1.3 MANIPULATION

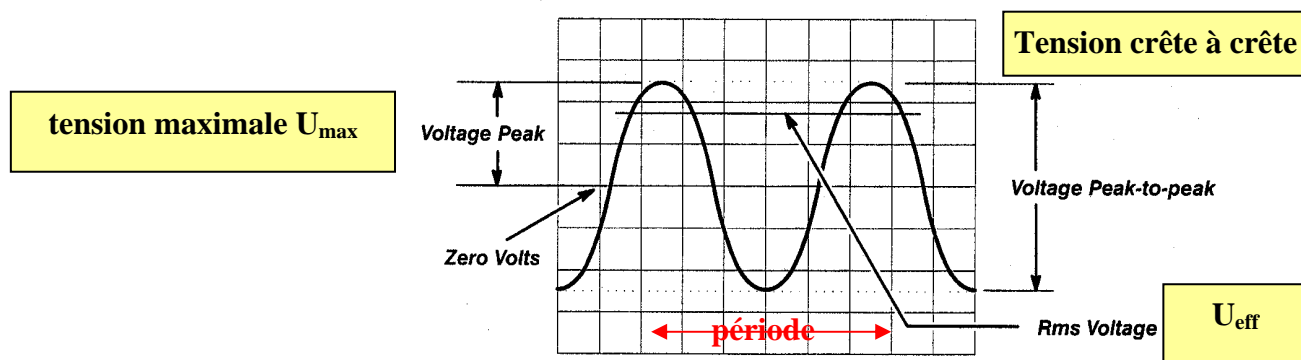
### E1.3.1 Visualisation de tensions alternatives

► Visualisez à l'oscilloscope une tension alternative fournie par le **générateur de signaux alternatifs** (FUNCTION GENERATOR) en utilisant le câble coaxial

⇒ Fixez une fréquence de **500 Hz** au générateur.

⇒ En visualisant le signal à l'oscillo (commutateur sur DC), fixez  $U_{\max}$  entre **1 et 4V** (bouton AMPLITUDE du générateur). Visualisez les 3 formes : **sinusoïdale, triangulaire, carrée**.

⇒ Décrivez vos "difficultés" d'observation et mesurez la période du signal, en déduire la fréquence. Estimer l'erreur de mesure.



⇒ Au moyen du multimètre utilisé en voltmètre AC (ou ~), mesurez, au moyen de câbles à fiche banane, la tension efficace du générateur  $U_{\text{eff}}$

⇒ comparer à la valeur  $U_{\max}$  : **justifiez la différence via le calcul théorique demandé ci-après.**

#### Définitions :

1/ valeur moyenne d'une tension alternative :  $\langle V \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt$  (= 0 si tension  $V$  centrée sur 0)

2/ valeur efficace d'une tension alternative ("Rms voltage")  $V_{\text{eff}} = \sqrt{\langle V^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2 dt} \neq 0$

**même si  $V$  centrée sur 0.** Physiquement, la valeur efficace d'une tension alternative représente la valeur d'une tension CONTINUE qui dissiperait en moyenne la même puissance dans une même résistance:  $\langle P \rangle = \left\langle \frac{V^2}{R} \right\rangle = \frac{1}{R} \langle V^2 \rangle = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R}$

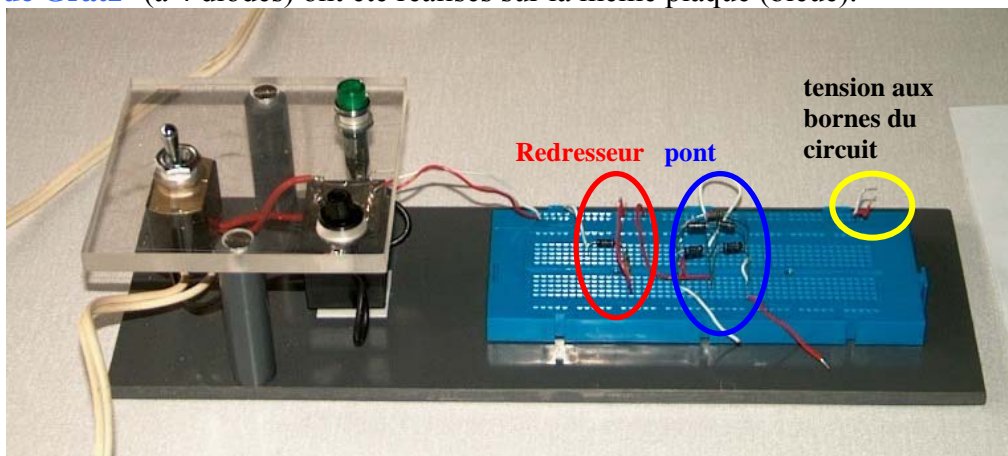
⇒ Etablir la relation liant la valeur efficace et la valeur maximale dans le cas d'une tension alternative sinusoïdale :  $V(t) = V_0 \sin \omega t = V_0 \sin \frac{2\pi t}{T} \Rightarrow V_{\text{eff}} = f(V_{\max}) ?$

sachant que  $\int \sin^2 ax dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin 2ax}{4a}$

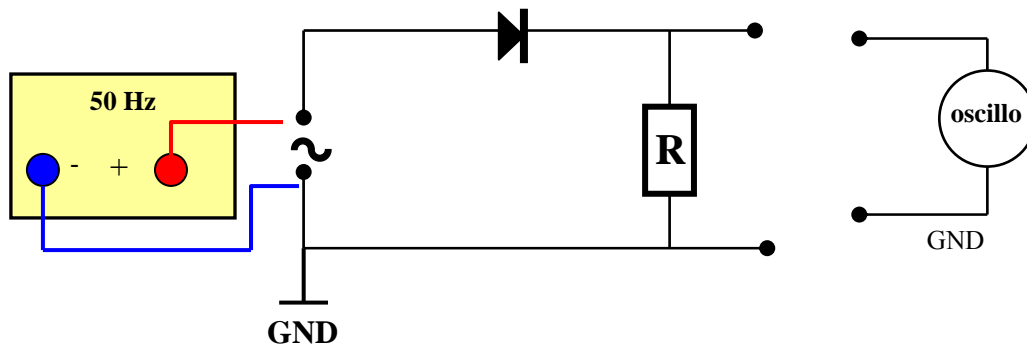
⇒ Pour comparaison, mesurez la tension efficace correspondant à un signal triangulaire et à un signal carré.

### E1.3.2 Etude d'un circuit redresseur simple (1 diode)

On utilise ici des diodes à semi-conducteur dont les caractéristiques seront étudiées dans la manipulation dédiée aux semi-conducteurs (Elec.4). Les circuits "**redresseur simple**" (à 1 diode) et "**pont de Gratz**" (à 4 diodes) ont été réalisés sur la même plaque (bleue).

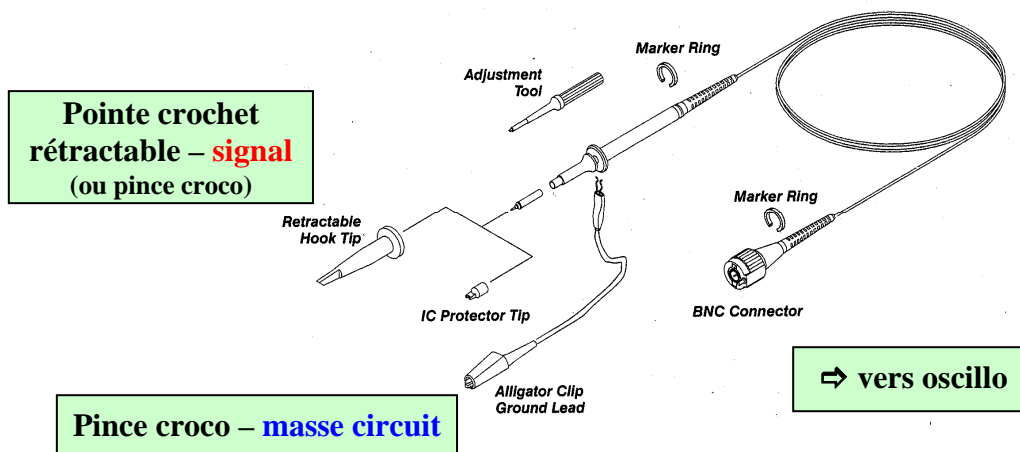


⇒ Le circuit simple redresseur est schématisé ci-dessous; il comprend, outre l'alimentation en tension alternative (50 Hz – réseau), une résistance R et une diode en série.



Repérez le circuit sur la plaque, vérifiez-le et schématisez-le dans le rapport.

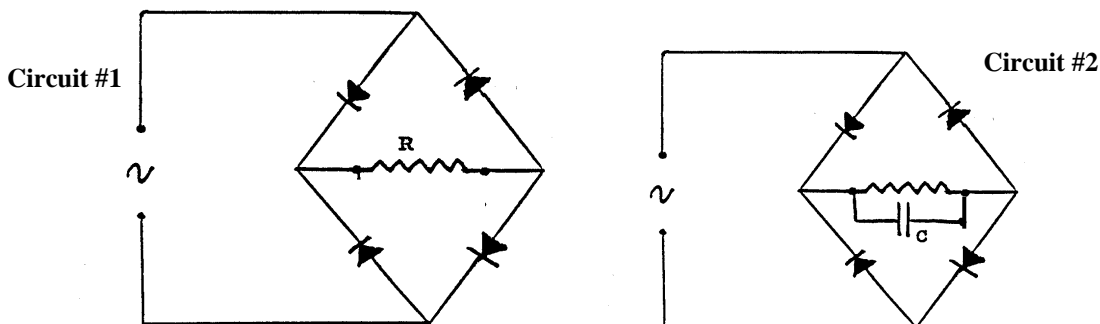
⇒ Visualisez (oscilloscope) la tension appliquée aux bornes du circuit (commutateur de tension sur DC). ⇒ Visualisez ensuite la tension aux bornes de la résistance  $U_R$  (qui est l'image du courant dans le circuit) en utilisant une sonde ou un câble "BNC-croco" pour capter le signal :



► ⇒ **expliquer** vos observations sachant qu'une diode ne laisse passer le courant que dans un sens (celui de la "flèche" qui est son symbole = sens passant).

### E1.3.3 Etude d'un circuit redresseur en pont (pont de Gratz)

♦ Le circuit étudié ici, dénommé pont de Gratz, est plus complexe; il permettra un meilleur redressement du courant comme vous allez le constater.



- ▶ A) Prévoir l'allure du courant dans la résistance du circuit #1 (explication + schéma dans le rapport)
- B) Le circuit est monté  $\Rightarrow$  vérifiez-le.
- C) Visualisez le signal aux bornes de R et vérifiez ainsi vos prédictions du point A)

♦ Placez une capacité (voire 2 ou 3) aux bornes de R et constatez l'effet sur la forme du courant obtenu (schéma #2). Dans le rapport, redessinez le circuit et décrivez vos observations. Bien préciser le but final poursuivi.

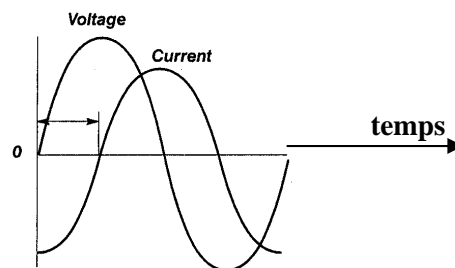
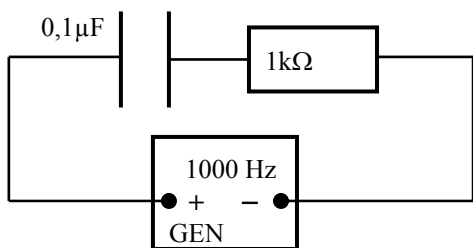
### E1.3.4 Visualisation de 2 signaux sinusoïdaux de même fréquence déphasés

On utilise l'oscilloscope pour mesurer le déphasage entre 2 tensions sinusoïdales, par exemple, la tension appliquée au circuit et le courant qui traverse ce circuit.

- ▶ Réalisez un circuit RC tel que schématisé ci-dessous.

Visualisez **simultanément** la tension appliquée au circuit (CH1) et la tension aux bornes de R c-à-d le courant I (CH2). Mesurez le déphasage (réponse en fraction de période et en degré).

Comparez à la valeur théorique :  $\text{tg}\phi = \frac{1}{\omega RC}$



Pour ces 2 signaux sinusoïdaux (de même fréquence) visualisés en fonction du temps; on observe clairement un déphasage entre eux  $\Rightarrow$  ce déphasage se mesure sur l'axe des temps (axe horizontal) en fraction de période, que l'on convertit ensuite en unité d'angle. Dans l'exemple ci-contre, le déphasage vaut  $\frac{1}{4}$  de période  $\Rightarrow \Phi = \pi/2$ .



### E1.3.5 Observation d'un signal en fonction de l'autre : mesure précise du déphasage

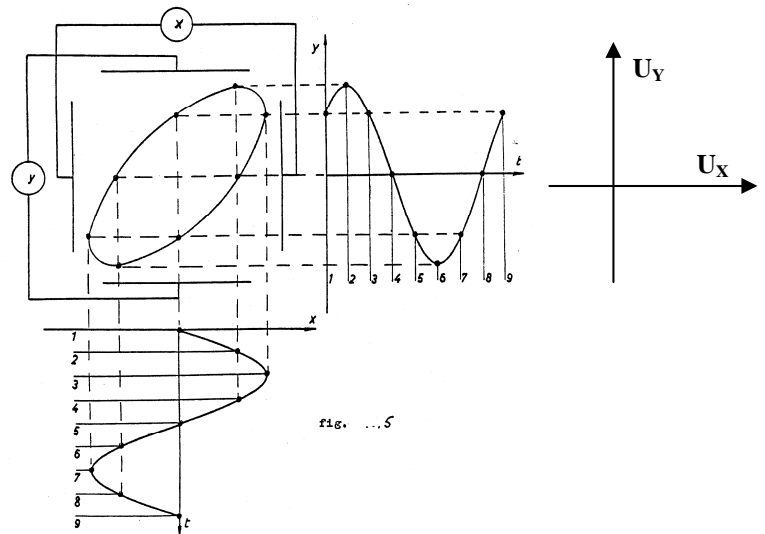
- Visualisez les 2 signaux l'un en fonction de l'autre (passer en mode "Lissajous")
- ⇒ Placer les commutateurs sur l'alternatif (AC) et déconnectez la base de temps de l'oscillo en appuyant ici sur le "bouton XY". ⇒ Une figure elliptique, appelée figure de Lissajous apparaît. Régler la hauteur des signaux x et y pour que le rectangle circonscrit à la figure de Lissajous occupe presque la totalité de l'écran (partie quadrillée). Pour que ce réglage soit possible, il est nécessaire de centrer au préalable la figure en agissant simultanément sur les réglages de position pour x et pour y (spot au milieu de l'écran lorsque les 2 commutateurs sur GND).
- ⇒ Remesurez le déphasage (méthode explicitée ci-dessous).
- ⇒ Comparer à la valeur trouvée au point précédent.

Le principe d'observation de 2 signaux sinusoïdaux de même fréquence (un signal en fonction de l'autre) est représenté à la figure ci-contre.

$$X = A \cos \omega t$$

$$Y = A \cos(\omega t + \phi)$$

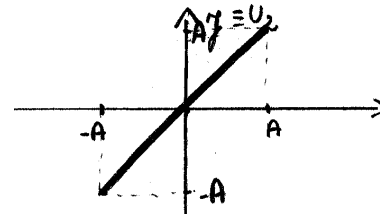
Le principe de la **mesure** de leur **déphasage** est détaillé ci-dessous.



1/ Si les **2 signaux sont en phase** :  $\phi = 0 \Rightarrow X = Y$

⇒ équation d'une droite de pente = 1

⇒ visualisation d'une droite à 45°

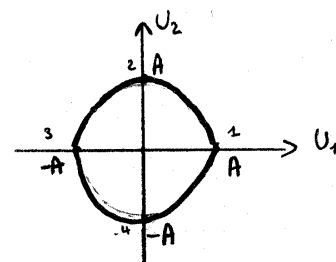
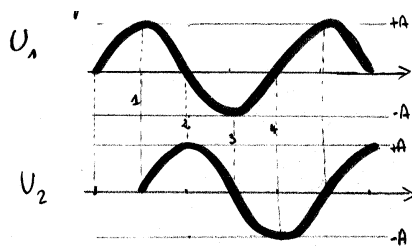


2/ Si les **2 signaux sont en quadrature de phase** :  $\phi = \pi / 2 = 90^\circ$

⇒  $Y = A \cos(\omega t + 90) = -A \sin \omega t$

⇒ équation paramétrique d'un cercle de rayon A :  $X^2 + Y^2 = A^2$

⇒ observation d'un cercle





3/ si  $0 \leq \phi \leq \pi/2$  : observation d'une ellipse (dans les quadrants 1 et 3) telle que

Quand la trace coupe l'axe X :  $Y = 0$

$$\Rightarrow \cos(\omega t + \phi) = 0$$

$$\Rightarrow \omega t + \phi = \pm \pi/2$$

$$\Rightarrow X = A \cos\left(\pm \frac{\pi}{2} - \phi\right)$$

$$X = \pm A \sin \phi$$

► sur la figure on voit que:  $B = 2 |X|$

$$\Rightarrow B = 2A \sin \phi$$

► sur la figure on voit :  $D = 2A$

$$\Rightarrow \text{on tire : } \sin \phi = \frac{B}{D} \Rightarrow \text{déphasage : } \phi = \text{Arcsin}\left(\frac{B}{D}\right)$$

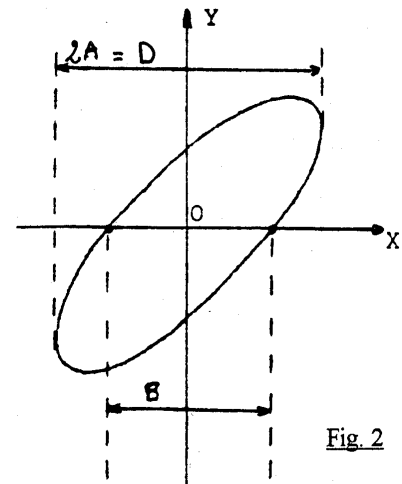
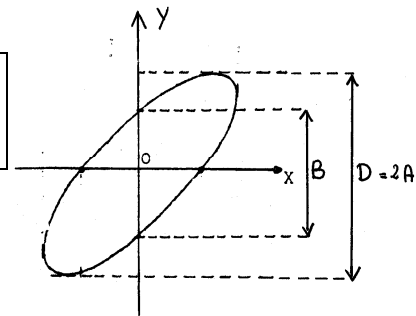
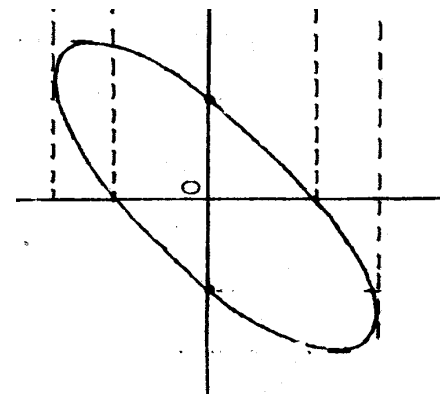


Fig. 2

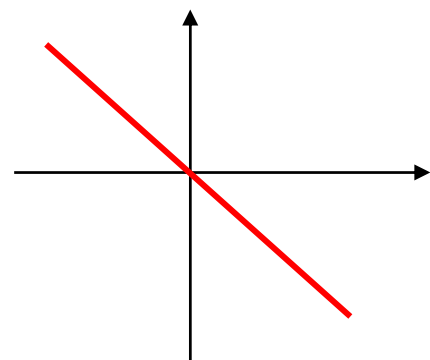
NB On peut aussi déterminer le déphasage à partir de projections sur l'axe Y (raisonnement identique)



4/ si  $\pi/2 \leq \phi \leq \pi$  : ellipse dans les quadrants 2 et 4



5/ si  $\phi = \pi$  opposition de phase :  
droite à  $-45^\circ$



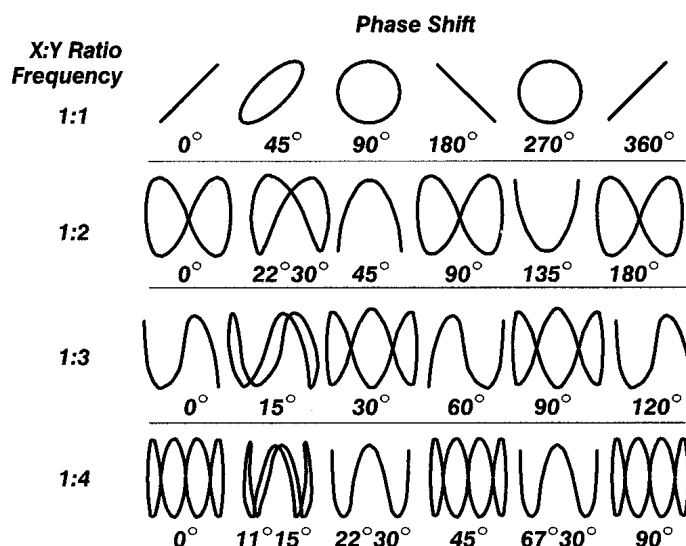
### E1.3.6 Visualisation de signaux de fréquence multiple

♦ Le terme "figure de Lissajous" se rapporte à toute superposition de 2 mouvements sinusoïdaux se produisant l'un perpendiculairement à l'autre. L'exemple le plus simple étant celui étudié au point précédent : la trace de 2 signaux de même fréquence en "X - Y" de l'oscilloscope, éventuellement déphasés.

⇒ Comparer les signaux de tension provenant de 2 générateurs différents.

♦ Dans le cas de 2 signaux sinusoïdaux de fréquence différente : si le rapport des fréquences est un nombre rationnel : la trace est une courbe fermée qui se répète sur elle-même. Par exemple, si le rapport des fréquences est de 5 sur 3, 5 cycles de la fréquence la plus petite représentent le même intervalle de temps que 3 de la plus grande. Si le rapport est irrationnel, la trace n'est pas fermée sur elle-même.

⇒ La figure ci-dessous montre quelques exemples de figures de Lissajous.



► La fréquence du 1<sup>er</sup> générateur étant fixée, faire varier la fréquence du 2<sup>ième</sup> générateur afin de reproduire quelques unes des figures présentées ci-dessus.

⇒ Décrivez vos manipulations et observations.

♦ Les figures de Lissajous constituent un moyen pratique de comparer 2 fréquences : elles peuvent être utilisées pour mesurer la fréquence d'un signal inconnu en le comparant à un signal de fréquence connue.