

## TP 3 : Circuit électrique oscillant

Un circuit électrique comprenant une bobine en série avec un condensateur est un circuit électrique oscillant. Des oscillations libres naissent en effet dans ce circuit lorsqu'on charge ou décharge brutalement le condensateur dans un circuit contenant une bobine. La période de ces oscillations est la période propre du circuit électrique. Il s'agit d'étudier expérimentalement l'influence des différentes caractéristiques du circuit sur cette période propre.

### 1. Dispositif expérimental

Un **générateur de signaux** (*function generator*) applique entre A et B une **tension en créneaux** (tension rectangulaire) à un circuit, dit **circuit RLC**, constitué par :

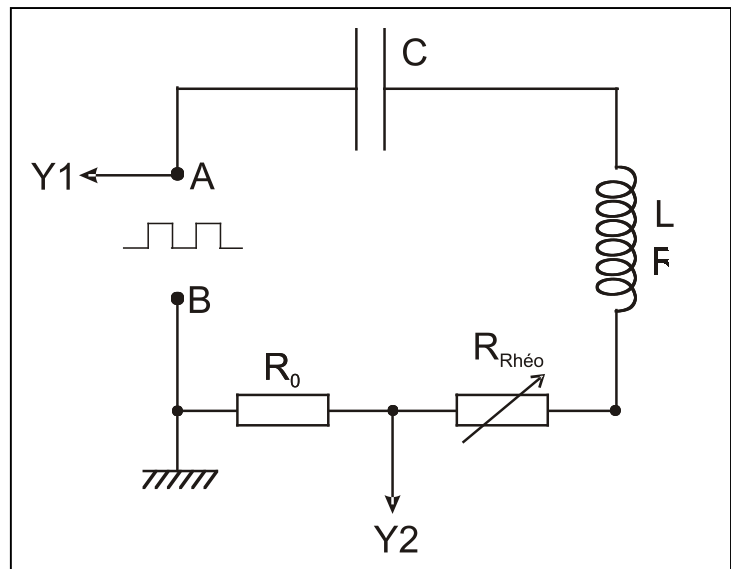
- \* un conducteur ohmique de résistance R ;
- \* une bobine d'inductance L ;
- \* un condensateur de capacité C.

La résistance R est constituée de 3 résistances en série :

- \* une résistance fixe  $R_0$ , aux bornes de laquelle nous prélevons une tension proportionnelle à l'intensité  $i$  dans le circuit ;
- \* la résistance variable  $R_{\text{Rhéo}}$  d'un rhéostat ;
- \* la résistance  $R_{\text{Bob}}$  de la bobine.

On a évidemment :

$$R = R_0 + R_{\text{Rhéo}} + R_{\text{Bob}}$$



L'**oscilloscope** visualise les deux signaux appliqués aux **entrées Y1 et Y2** :

Pour les expériences 1, 2, 3 et 4, dont le schéma est représenté ci-dessus, il s'agit des signaux suivants :

- \* la **tension  $u_{\text{gén}}$**  aux bornes du circuit RLC **en fonction du temps** ;
- \* la **tension aux bornes de  $R_0$** , proportionnelle à l'intensité  $i$ , **en fonction du temps**.



- \* Mesurer la période propre. Calculer la fréquence propre et la pulsation propre.
- \* Afin d'exprimer l'amortissement, mesurer la durée que l'amplitude met pour diminuer de moitié.

Période propre $T_0 =$
Fréquence propre $f_0 =$
Pulsation propre $\omega_0 =$
Amortissement =

### **3. Expérience 2 : influence de la capacité du condensateur sur la période propre**

Le montage expérimental est le même que pour l'expérience 1.

Déterminer la période propre en fonction de la capacité C.

Capacité ( $\mu\text{F}$ )						
Période propre (ms)						

Représenter graphiquement la période propre au carré en fonction de la capacité .

Par un calcul d'incertitude, déterminer les valeurs de la pente et de l'ordonnée à l'origine (avec incertitudes absolue et relative).

Vérifier que le carré de la période propre  $T_0$  du circuit est proportionnel à la capacité C.

Déduire la valeur de l'inductance L de la bobine (avec les incertitudes absolue et relative).

### **4. Expérience 3 : influence de l'inductance de la bobine sur la période propre**

Le montage expérimental est le même que pour l'expérience 1.

- \* Introduire progressivement le noyau de fer dans la bobine. Décrire les observations.
- \* A partir de la relation entre pulsation, capacité et inductance déterminer l'inductance de la bobine lorsque le noyau de fer est inséré complètement. Comparer à la valeur sans noyau de fer (Exp2).

### **5. Expérience 4 : influence de la résistance R du circuit sur la période des oscillations et sur l'amortissement des oscillations**

Le montage expérimental est le même que pour l'expérience 1.

- \* Augmenter la résistance  $R_{\text{Rhéo}}$  par pas de 1 Ohm!
- \* Décrire les observations.

## 6. Expérience 5 : Visualisation du déphasage entre le signal $q = f(t)$ et $i = f(t)$

- \* Réaliser le circuit ci-contre.
- \* Choisir une capacité  $C = 1 \mu\text{F}$ , une bobine de 400 spires sans noyau de fer, des résistances  $R_0 = 1 \Omega$ ,  $R_{\text{Rhéo}} = 0$ .

L'oscilloscope visualise les deux signaux appliqués aux entrées Y1 et Y2 :

- \* la tension  $u = u_C + u_R \approx u_C$  ( $u_R$  est beaucoup plus faible que  $u_C$ !)

$$\text{Or : } u_C = \frac{q}{C}$$

En Y1 st donc visualisée la tension  $u_C$  proportionnelle à la charge  $q$  du condensateur, en fonction du temps ;

- \* la tension  $u_R$  aux bornes de  $R_0$ , proportionnelle à l'intensité  $i$  dans le circuit, en fonction du temps.
- \* Procéder aux réglages suivants :

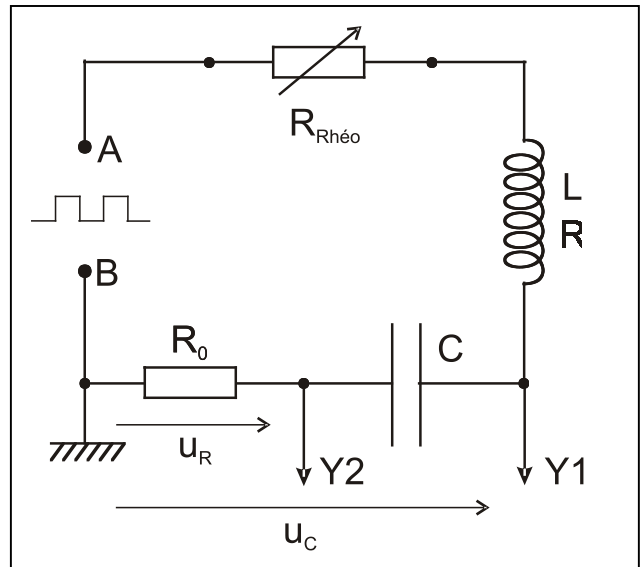
### Réglages du générateur de signaux (*function generator*) :

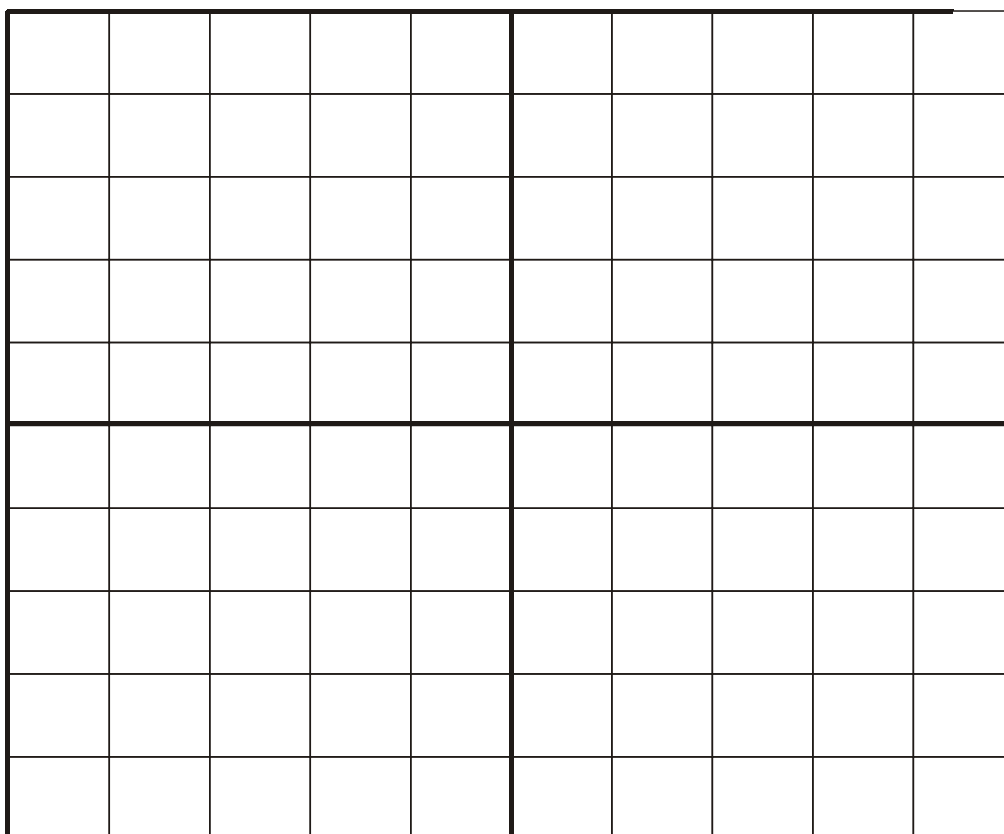
fréquence de la tension en crénaux : environ 120 Hz ;  
amplitude de la tension en crénaux : valeur intermédiaire entre le minimum et le maximum ;

### Réglages de l'oscilloscope :

fréquence de balayage : 1 ms/div ;  
entrée Y1 (*input ch I*) : 1 V/div ;  
Touches AC/DC relâchées,  
Touche Trig. ext. relâchée, Slope +,  
entrée Y2 (*input ch II*) : 20 mV/div ;  
Touche Trig. ChI/II pressé.

- \* Augmenter progressivement le gain de l'amplificateur du générateur de signaux et procéder au réglage fin de l'oscilloscope afin de visualiser convenablement les deux signaux. Passer à la fréquence de balayage : 0,2ms/div.
- \* Représenter sur un croquis les signaux  $i(t)$  et  $q(t)$ . Déterminer la différence de phase entre les signaux  $i$  et  $q$  ?



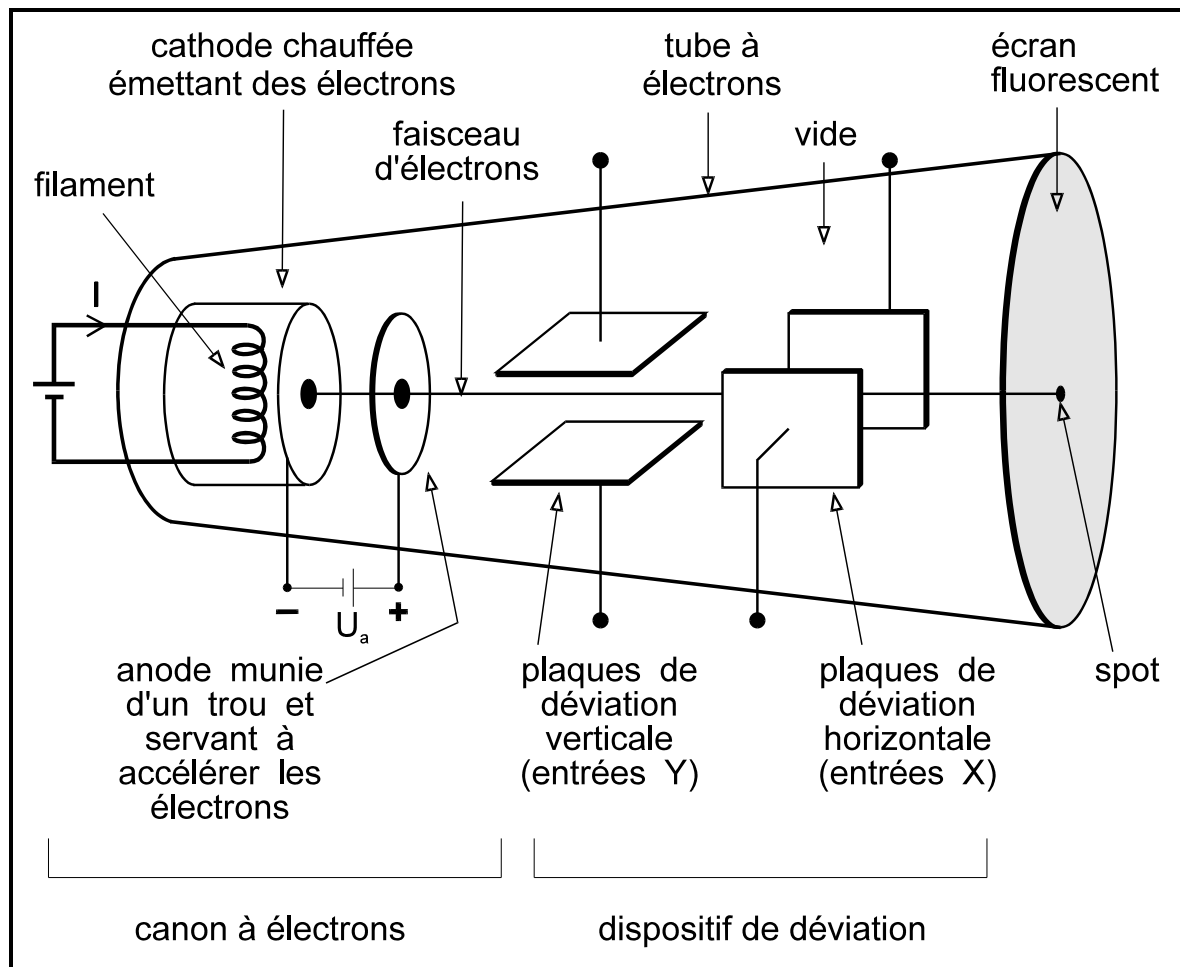


Différence de phase entre i et q =

## Annexe (pour information) : L'oscilloscope électronique

La partie essentielle de la constitution d'un oscilloscope (ou oscillographe) électronique réside dans son tube à électrons. Tous les autres organes extérieurs au tube ne sont destinés qu'à le servir et le régler.

### 1. Le tube à électrons



### 2. Production d'un faisceau d'électrons

Pour réaliser un faisceau d'électrons, il est à l'origine nécessaire de disposer d'électrons libres dans l'espace. Ces électrons seront ensuite accélérés et groupés en un faisceau à l'aide de dispositifs électrostatiques adéquats.

Le problème de la production d'électrons libres dans l'espace est résolu grâce au phénomène appelé **émission thermoélectronique**. Lorsqu'un corps est chauffé au-delà d'une température caractéristique, il émet des électrons qui franchissent sa surface en raison de l'énergie qui leur est conférée par l'agitation thermique des atomes du réseau cristallin. Les substances émissives couramment employées sont le carbone, le platine, le tungstène et même des oxydes non-conducteurs tels que la baryte.

Dans le cas d'un métal conducteur tel que le tungstène, le chauffage à la température requise se fait par effet Joule. Le métal a la forme d'un filament qui est parcouru par un courant.

Dans le cas de substances émissives non-conductrices il est nécessaire de recourir à un chauffage indirect. La substance émissive est sous la forme d'une pastille, fixée à l'extrémité d'un tube dans lequel se trouve une résistance chauffante. On utilise couramment la baryte, qui possède une bonne émission électronique à des températures relativement basses (850 °C). La tension  $U_c$  d'alimentation du circuit de chauffage est en général de l'ordre de 4 à 12 V, l'intensité  $I$  du courant de l'ordre de 0,5 à 1 A.

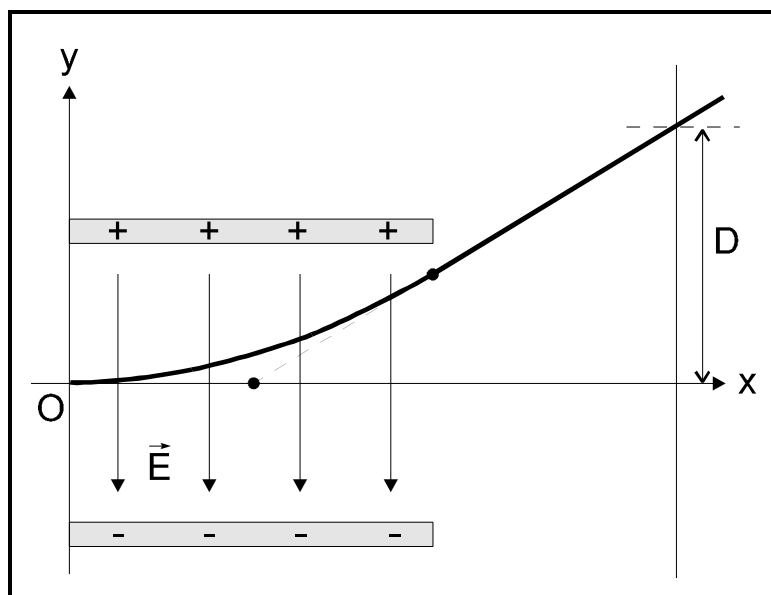
En l'absence de champ électrique, les électrons émis forment un nuage au voisinage de la substance émissive. Ces électrons sont accélérés vers l'anode polarisée positivement par rapport à la cathode émissive, et un faisceau d'électrons est délimité par son ouverture.

Un certain nombre d'électrodes convenablement polarisées (non représentées sur la figure) permettent d'agir:

- sur la densité du flux d'électrons capables d'atteindre l'anode, d'où résulte une variation de la luminosité du spot sur l'écran (bouton *<intensity>*);
- sur les trajectoires des électrons de manière à les faire converger en un même point, d'où résulte la possibilité de régler la concentration du spot (bouton *<focus>*).

### 3. Déviation du faisceau d'électrons

Sur le trajet du faisceau électronique, on place une paire de plaques horizontales parallèles, équidistantes du faisceau et parallèles à celui-ci, et une paire de plaques verticales parallèles, équidistantes du faisceau et parallèles à celui-ci. En appliquant une différence de potentiel  $U$  entre une paire de plaques, on crée entre elles un champ électrique qui exercera sur les électrons une force électrique sur toute la durée du passage entre les plaques. On peut montrer que la déviation  $D$  du faisceau sur l'écran est proportionnelle à la tension  $U$  appliquée entre les 2 plaques!



L'oscilloscope permet par conséquent la mesure d'une différence de potentiel appliquée à une paire de plaques. L'appareil possède une entrée "verticale", l'entrée Y (*<Inp. CH I>*) à laquelle est appliquée la tension  $U_Y$ , et une "entrée horizontale" l'entrée X (*<INP. X>* en mode *<X-Y>*), à laquelle est appliquée la tension  $U_X$ .

Entre l'entrée Y et les plaques horizontales est placé un amplificateur électronique de tension dont le gain peut être varié à l'aide d'un commutateur (<Volts/Division>) placé sur le panneau de commande. Ce commutateur indique la sensibilité de la déviation en Volts par division.

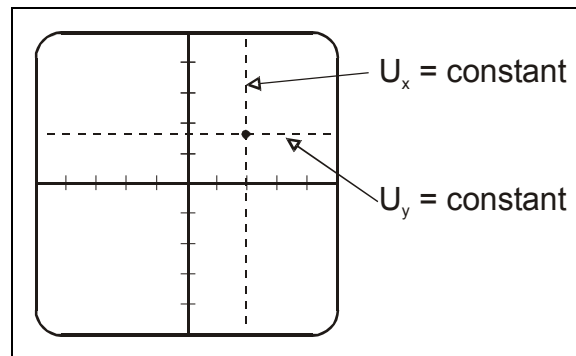
Entre l'entrée X et les plaques verticales est connecté, selon que le mode <X-Y> est activé ou non, un amplificateur de tension, tout comme pour l'entrée Y, ou un générateur en dents de scie, assurant le balayage du spot.

#### **4. Le balayage du spot**

L'oscilloscope électronique est un appareil conçu pour résoudre le problème du traçage automatique, en coordonnées cartésiennes, de la courbe représentant la variation d'une tension en fonction du temps.

L'oscilloscope remplit cette fonction sous l'aspect d'un spot lumineux traçant la courbe sur l'écran.

Le mécanisme commandant ce traçage est basé sur le principe suivant :



La position du spot est déterminée par les tensions  $U_X$  et  $U_Y$ .  $U_X$  détermine l'abscisse  $x$  de cette position:

$$x \sim U_X.$$

$U_Y$  détermine l'ordonnée  $y$ :

$$y \sim U_Y.$$

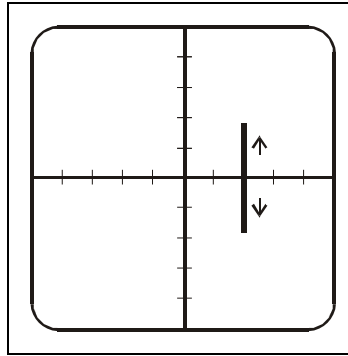
Pour des valeurs de  $U_X$  et  $U_Y$  fixes, le spot reste immobile dans la position  $(x,y)$  correspondante. Pour une valeur de  $U_Y$  fixe il correspondra à différentes valeurs de  $U_X$  différentes positions du spot sur une droite horizontale, d'ordonnée  $y$ . Pour une valeur de  $U_X$  fixe il correspondra à différentes valeurs de  $U_Y$  différentes positions du spot sur une droite horizontale, d'abscisse  $x$ .

Supposons que nous prenions pour  $U_Y$  une tension variable en fonction du temps:  $U_Y = f(t)$ .

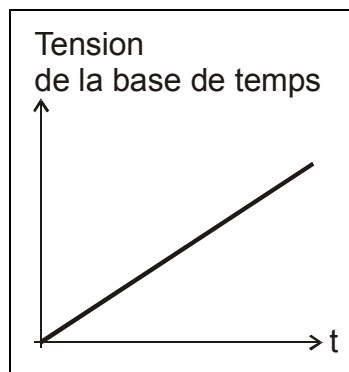
A chaque instant  $t$ , l'ordonnée  $y$  est relié à  $U_Y$  par:  $y \sim U_Y$ . (1)

Si  $U_X$  restait fixe, le spot se déplacerait sur une droite verticale. Dans le cas d'une fonction sinusoïdale du temps, par exemple, il effectuerait un va-et-vient sur un segment de droite verticale.





Pour obtenir le traçage de la courbe  $U_Y = f(t)$ , il faut que l'abscisse  $x$  du spot varie proportionnellement au temps.

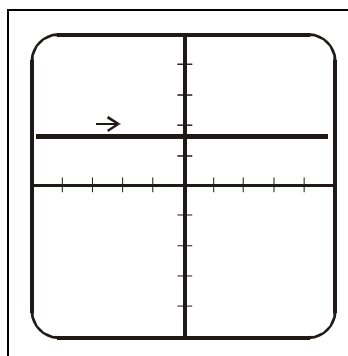


Pour obtenir une variation de  $x$  proportionnelle au temps  $t$ , un circuit incorporé à l'oscilloscope, appelé **base de temps**, produit une tension qui varie proportionnellement au temps  $t$ . Celle-ci est automatiquement appliquée à l'entrée  $X$  : elle représente donc la tension  $U_x$  !

$$x \sim U_x \text{ et } U_x \sim t \Rightarrow x \sim t. \quad (2)$$

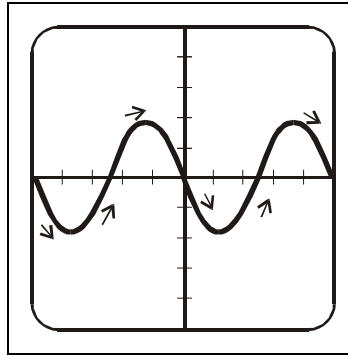
(1) et (2) montrent que la courbe  $y = f(x)$  tracée sur l'écran, représente en fait la tension  $U_Y$  en fonction de du temps  $t$ .

Dans le cas particulier de  $U_Y = \text{constant}$ , la courbe décrite par le spot sera une droite horizontale. Le spot va parcourir cette droite d'un mouvement uniforme. Sa vitesse est appelée **vitesse de balayage** : elle est exprimée en ms ou  $\mu\text{s}$  par division.

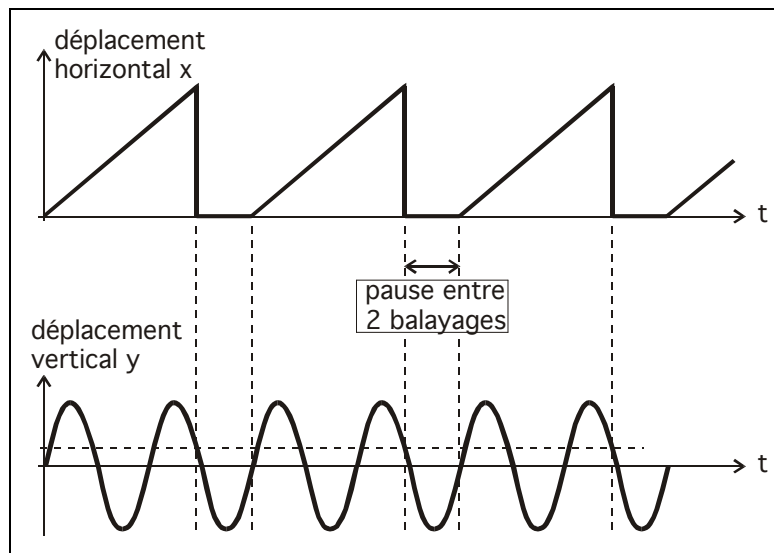


Pour une vitesse de balayage de l'ordre de 0,1 s/div, on peut aisément observer le déplacement à vitesse constante du spot sur une droite horizontale de l'écran.

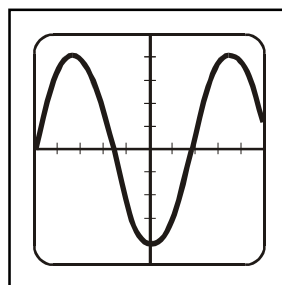
Dans le cas de  $U_Y$  variant sinusoïdalement dans le temps, le spot décrira une belle courbe sinusoïdale.



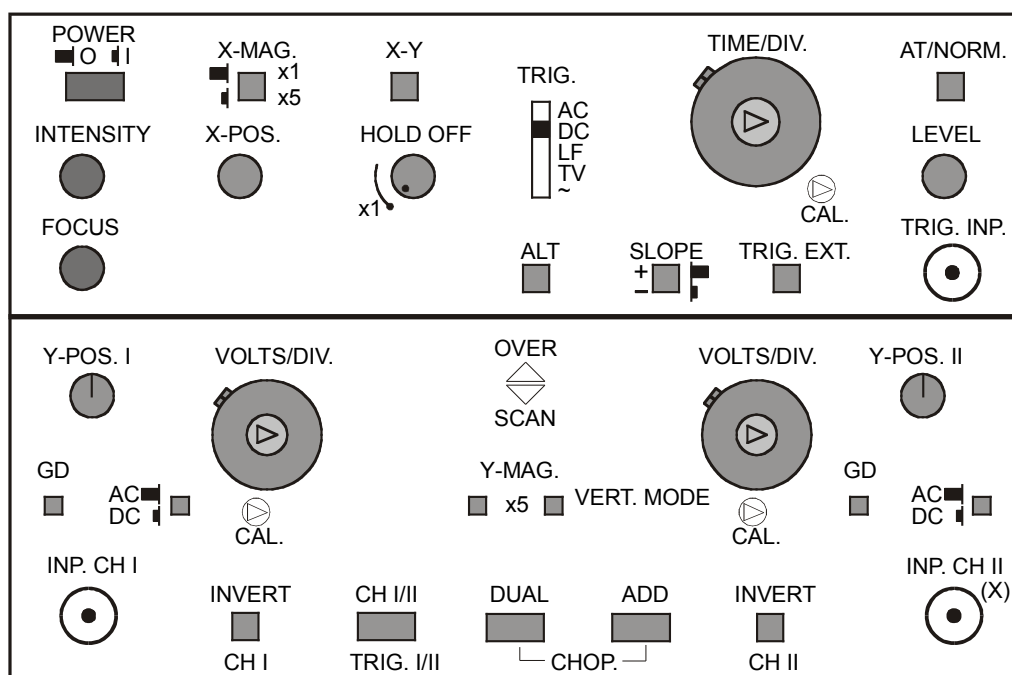
La majeure partie des phénomènes étudiés à l'oscilloscope sont des phénomènes périodiques du temps. Pour cette raison on fait effectuer au spot des balayages répétés de toute la largeur de l'écran. Après un premier parcours à vitesse constante, le spot revient presque instantanément à sa position de départ, puis effectue un second, etc. Pour obtenir ce résultat il suffit de faire varier  $U_x$  suivant une tension en dents de scie.



Afin que les courbes tracées par le spot à chaque balayage se superposent exactement (image stable sur l'écran !), un dispositif de déclenchement (**trigger**) de la « dent de scie » introduit une pause adéquate entre deux balayages successifs. Ce circuit déclenche la dent de scie lorsque la tension  $U_y$ , augmentant, dépasse une certaine valeur (qu'on peut choisir), ou bien, diminuant, passe en-dessous d'une certaine valeur. Dans le cas de l'exemple la dent de scie est déclenchée pour  $U_y$  augmentant dépasse la valeur 0 V!



## 5. Le panneau de commande



Le panneau de commande est représenté sur la figure ci-dessus :

Les entrées (inputs) de l'oscilloscope électronique sont au nombre de trois :

<INP. CH I> Entrée Y, canal 1. Entrée du signal responsable de la déviation verticale de la trace 1. Le fil noir correspond à la masse de l'appareil.

<INP. CH II> Entrée Y, canal 2. Entrée du signal responsable de la déviation verticale de la trace 2. Le fil noir correspond à la masse de l'appareil. Il est donc relié par une connexion interne à la masse du canal 1.

<TRIG. INP.> Entrée d'un signal extérieur de synchronisation de la base de temps.

Les fonctions courantes de l'oscilloscope électronique sont commandées par les touches et boutons énumérés ci-dessus.

<INTENSITY> Réglage de l'intensité lumineuse de la trace. Elle doit toujours être réglée au minimum.

<FOCUS> Réglage de la finesse du trait lumineux.

<Y-POS.> La trace peut être translatée verticalement.

<X-POS.> La trace peut être translatée horizontalement.

<X/Y> Lorsque cette touche est pressée, l'appareil fonctionne en "**mode XY**". Le signal introduit à l'entrée <INP. CH II> est alors transmis vers les plaques verticales. Il est responsable de la déviation horizontale du spot. Le générateur interne de la base de temps n'est pas connecté.

Lorsque cette touche n'est pas pressée, l'appareil fonctionne en "**mode balayage**". Le générateur interne de la base de temps est connecté aux plaques verticales.

<VOLTS/DIV.> Réglage de l'amplification du signal.

<TIME/DIV.> Base de temps. Réglage de la vitesse de balayage du spot.

---

<AC>		Le signal doit traverser un condensateur d'arrêt. Seules les tensions alternatives sont transmises.
<DC>		Le signal ne traverse pas le condensateur d'arrêt. La tension appliquée à l'entrée est intégralement transmise.
<GD>		Ground. Lorsque cette touche est pressée l'entrée est connecté à la masse: aucune différence de potentiel ne règne aux bornes de l'entrée.
<INVERT>		Permet d'inverser le signal.
<X-MAG> x5		Permet, en mode <X/Y>, de multiplier l'amplification horizontale par 5.
<Y-MAG> x5		Permet de multiplier l'amplification verticale par 5.
<TRIG EXT>		Lorsque cette touche est pressée, le déclenchement de la dent de scie est synchronisé avec un signal extérieur appliquée à l'entrée <TRIG. INP.>.
<LEVEL>		Détermine la valeur de la tension de $U_y$ pour laquelle la dent de scie est déclenchée.
<SLOPE>	+	La dent de scie est déclenchée lorsque $U_y$ est en train d'augmenter.
	-	La dent de scie est déclenchée lorsque $U_y$ est en train de diminuer.
"<DUAL>		Lorsque cette touche est pressée, les deux canaux sont visualisés sur l'écran de l'oscilloscope.