

GBF, OSCILLOSCOPE ET MULTIMETRE : PRODUCTION, VISUALISATION ET MESURE DE SIGNAUX ELECTRIQUES



OBJECTIFS

- ✓ Produire un signal électrique (une tension) grâce au GBF (Générateur Basses Fréquences).
- ✓ Mesurer des grandeurs électriques grâce au multimètre.
- ✓ Visualiser un signal électrique grâce à l'oscilloscope.

MATERIEL

- ✓ GBF
- ✓ Oscilloscope
- ✓ Multimètre
- ✓ Câbles de connexion

1. CARACTERISTIQUES D'UN SIGNAL PERIODIQUE PRODUIT PAR LE GBF

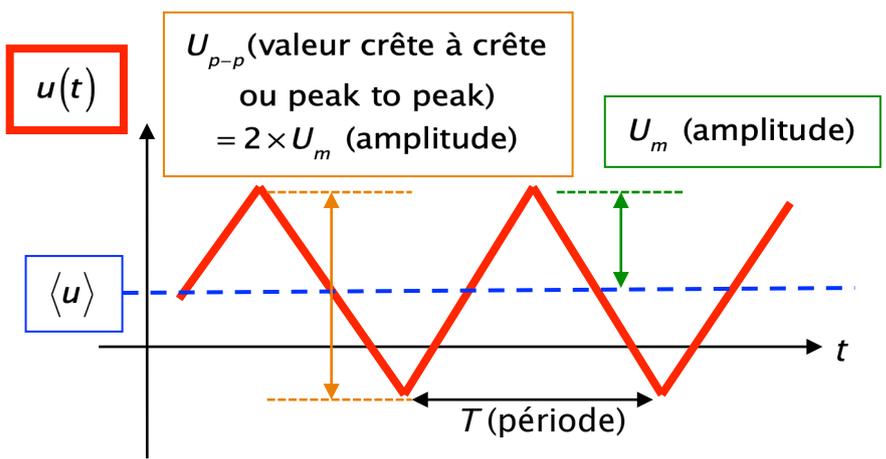
En électrocinétique, on étudie des signaux périodiques de période T qui sont en général des tensions $u(t)$ ou des intensités $i(t)$.

☑ Valeur moyenne

Si $u(t)$ est un signal périodique de période T , sa valeur moyenne est définie par:



$$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$



☑ Valeur efficace

On verra son rôle dans l'aspect énergétique des signaux alternatifs. Elle est définie de la façon suivante :



$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

L'annexe 3 donne le lien entre la valeur efficace U_{eff} et l'amplitude U_m de quelques signaux périodiques.

Le schéma ci-dessus représente un signal périodique (dans le cas particulier d'un signal de forme triangulaire). Il peut se décomposer de la façon suivante :

$$u(t) = \langle u \rangle + \Delta u(t)$$

$\langle u \rangle$: valeur moyenne ou composante continue ou offset de $u(t)$.

$\Delta u(t)$: ondulation de $u(t)$. Ce signal est purement **alternatif**.



Repérer sur le GBF (Générateur Basse Fréquence), en vous aidant de la notice, les réglages de la fréquence du signal, de sa forme, de la valeur moyenne $\langle u \rangle$ et de l'amplitude U_m .

2. LE MULTIMETRE

Un multimètre numérique est destiné à fournir des mesures précises de tension, d'intensité, de résistance etc

Que mesure un multimètre ?



En mode DIRECT CURRENT (DC) (courant direct en français)

Il mesure la valeur moyenne de l'intensité ou de la tension ($\langle u \rangle, \langle i \rangle$). Un filtre passe bas élimine la composante alternative.

En mode ALTERNATIVE CURRENT (AC) (courant alternatif en français)

La composante continue est éliminée par un filtre passe haut. Le multimètre mesure alors la valeur efficace du signal dont la valeur moyenne a été éliminée ou valeur **RMS** (Root Mean Square où racine carré moyenne en français).

Certains appareils ont un mode (AC+DC)

Ceci permet de mesurer la valeur efficace du signal entier (valeur moyenne + ondulation), on parle de multimètre **TRMS** (True Root Mean Square où véritable racine carrée moyenne en français).

3. L'OSCILLOSCOPE

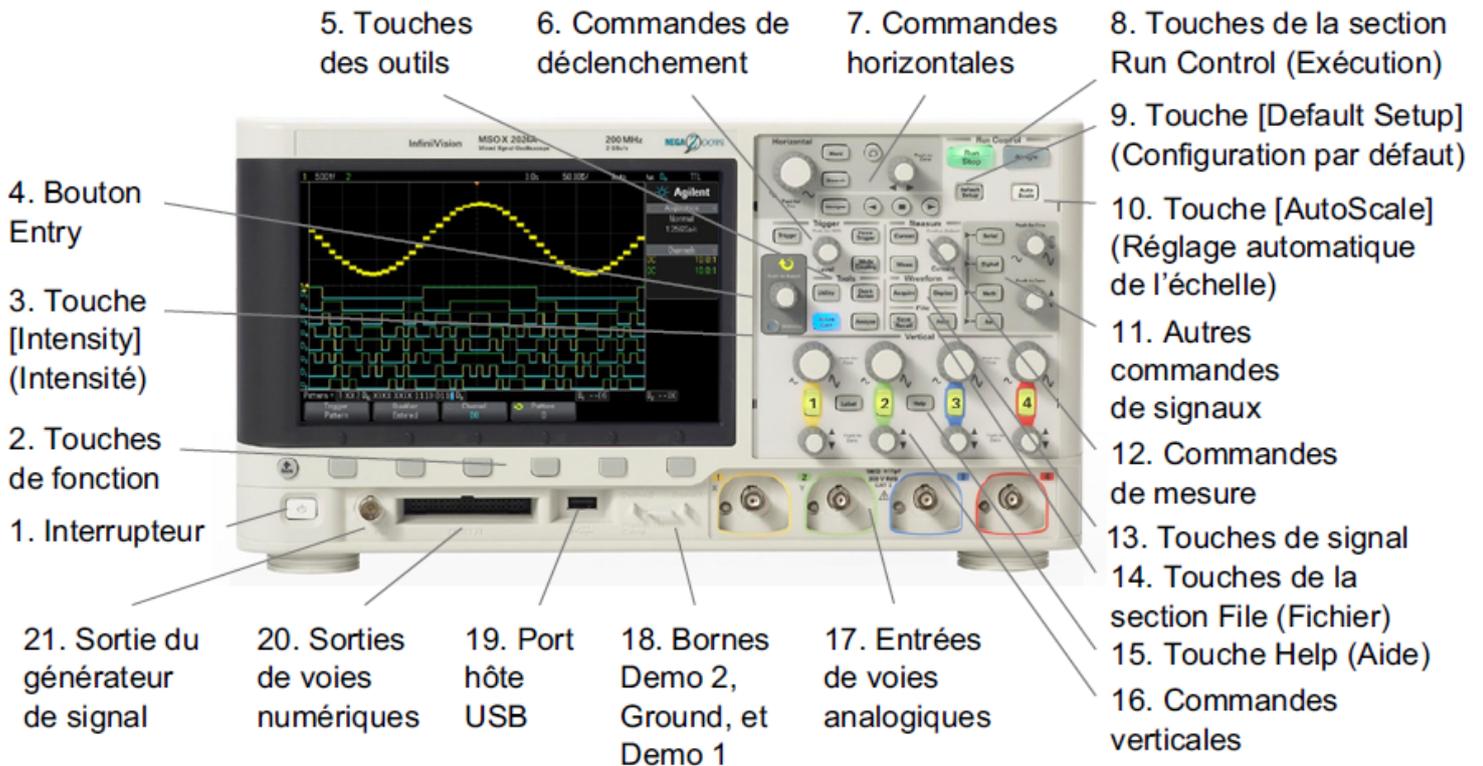
Un oscilloscope permet avant tout de VISUALISER une TENSION dépendant du temps

Il permet aussi d'effectuer des mesures mais en **général façon moins précise qu'un multimètre numérique**. Avec des montages spécifiques, nous pouvons rendre les tensions proportionnelles à d'autres grandeurs physiques telles que l'intensité d'un courant ou la fréquence d'un signal. Nous pouvons ainsi visualiser des courbes expérimentales très diverses.

Il existe plusieurs types d'oscilloscopes en laboratoire : les oscilloscopes analogiques (cf. annexe 1) se servent d'un signal amplifié pour dévier un faisceau d'électrons dans un tube cathodique (ils deviennent rares) et les appareils récents numérisent le signal avant de le traiter. Les oscilloscopes que nous allons utiliser sont numériques.

Nous utiliser des oscilloscopes de la **marque KEYSIGHT**. La photo ci-dessous montre un oscilloscope à 4 voies, celui disponible au lycée n'a que 2 voies. Les commandes sont identiques.

Le câble d'alimentation est rangé dans un logement sur le dessus de l'oscilloscope. **L'interrupteur** se situe en bas à gauche de la façade avant.



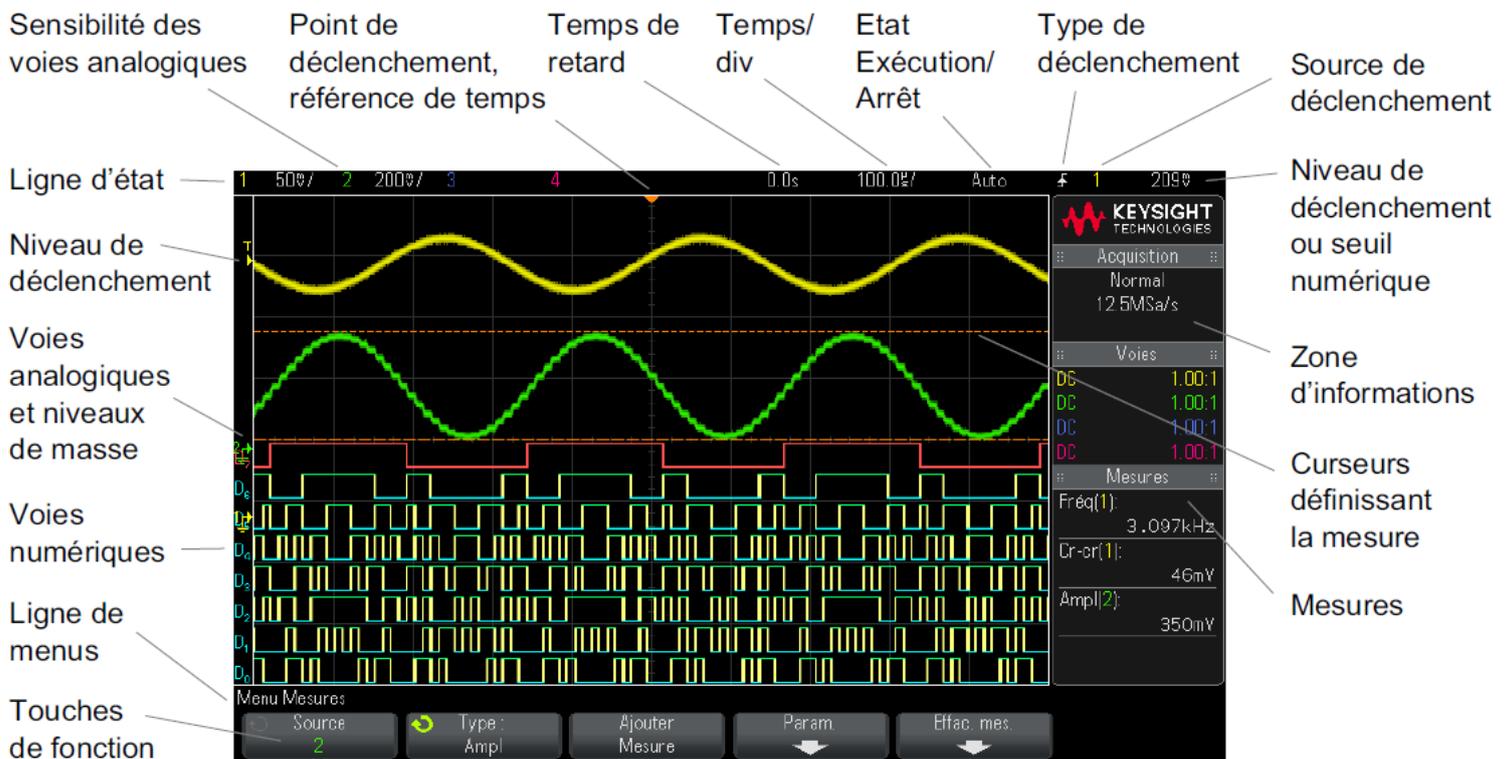


Figure 1 Interprétation de l'affichage de l'oscilloscope

L'accès à l'aide-mémoire

Elle se fait par appui prolongé sur la touche de fonction dont vous souhaitez consulter l'aide en ligne. L'aide-mémoire reste affiché jusqu'à ce que vous appuyiez sur une autre touche.

Les commandes horizontales

Elles sont accessibles à partir de la zone 7 (photo page précédente). La touche [Horiz] permet d'accéder au menu des commandes horizontales, la touche zoom (loupe) permet d'activer ou de désactiver rapidement l'écran agrandi divisé en deux parties.

Les commandes verticales

Elles sont accessibles à partir de la zone 16 (photo page précédente). Appuyez sur la touche d'une voie analogique pour l'activer ou la désactiver (et afficher le menu correspondant). Lorsqu'une voie est activée, la touche correspondante est allumée. Pour désactiver une voie, il faut que le menu correspondant soit affiché (sinon, appuyez deux fois sur la touche de la voie).

Les commandes de mesures

Elles sont dans la zone 12. Les mesures peuvent se faire manuellement à l'aide de curseurs [cursors], ou automatiquement avec la touche [meas].

Un générateur de signal

Il est intégré dans l'oscilloscope. La sortie est la borne 21 sur la photo, l'activation ou la désactivation se fait par la touche [Wave Gen] (générateur d'onde) située au dessus de la touche d'activation de la voie 1.

4. PREMIERE PRISE EN MAIN

4.1 Envoi du signal

Le GBF (Générateur Basse Fréquence) est l'appareil que l'on utilisera en TP pour produire des signaux périodiques de fréquence, de forme et d'amplitude variables.

✓ **Les manipulations sur le GBF règlent le signal $u(t)$.**

✓ **Les manipulations sur l'oscilloscope règlent la trace du signal $u(t)$ sur l'écran, mais ne le transforment en aucun cas.**



Après avoir réglé tous les boutons de cadrage de l'oscilloscope à mi-course, le mettre en marche.

Choisir la synchronisation automatique (sur source CH1).

Envoyer sur la voie CH1 un signal périodique quelconque. On utilisera pour cela un câble coaxial. On apprendra au préalable à se servir d'un fil coaxial dont l'une des bornes (la noire) est toujours reliée à la masse du circuit qui doit être unique.

4.2 Axe des Y

La voie CH1 doit être couplée sur DC. Observer les influences des potentiomètres "Amplitude" et "Décalage" (ou "offset") du GBF sur le signal. On notera également l'existence sur le GBF d'un contacteur à deux positions permettant d'atténuer ou amplifier le signal.



S'assurer que l'axe des tensions de l'oscilloscope est calibré.

Mesurer la valeur maximale du signal. On obtiendra la meilleure précision possible en choisissant correctement le calibre des tensions.

Ne pas oublier de régler soigneusement l'origine des tensions au préalable.



Mesurer la valeur crête à crête, la valeur moyenne et la valeur efficace.

Deux méthodes envisageables à discuter :

✓ **mesures automatiques par [meas].**

✓ **mesures manuelles par [cursors].**

Comparer ces mesures à celles obtenues avec un voltmètre numérique (type TRMS) en position "continu", puis en position "alternatif". Conclure quant à la signification de chacune de ces mesures.

4.3 Axe des X



S'assurer que l'axe des temps est calibré. Mesurer la période du signal.

Déconnecter le signal de l'oscilloscope Mesurer la fréquence des parasites obtenus en mettant en l'air un fil branché sur l'entrée de l'oscilloscope.



Attention: lorsqu'on utilise deux fils ordinaires, débrancher d'abord côté GBF. Pourquoi ?



Mesurer la fréquence, la période du signal par [meas].

5. COUPLAGE AC/DC DES VOIES DE TENSION

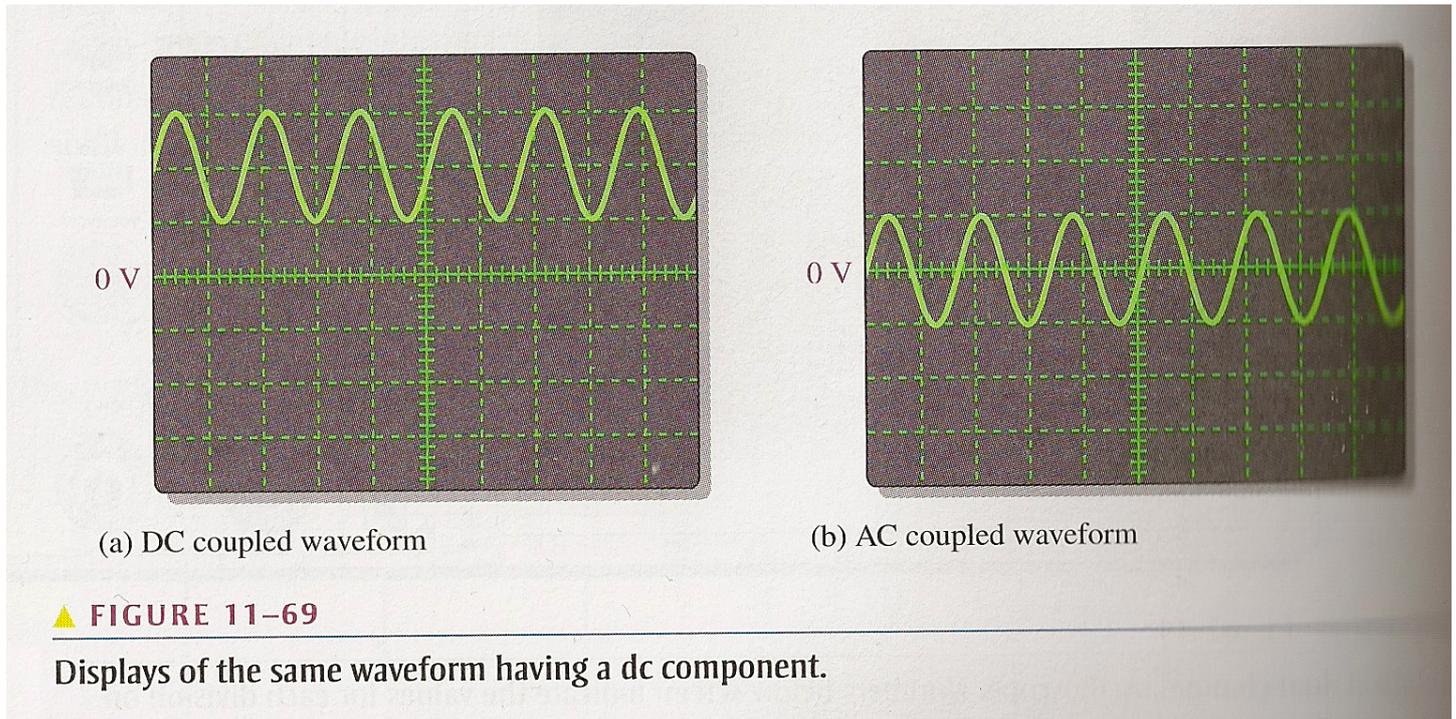
 Visualiser un signal ayant une composante continue. Observer la différence entre les couplages AC et DC de la voie de tension.



La position AC est une position exceptionnelle. Pourquoi ?

 Envoyer un signal carré de très basse fréquence (≈ 20 Hz).

 Que se passe-t-il en couplage AC ? Expliquer.



6. SYNCHRONISATION

6.1 Mode automatique

 Baisser progressivement l'amplitude du signal. Sur certains oscilloscopes, la synchronisation disparaît à partir d'un certain seuil. On peut parfois la récupérer en agissant sur le potentiomètre "seuil" (ou [level]) ou en augmentant l'amplification de l'oscilloscope. Le seuil de déclenchement peut être compris, ou non, entre les deux crêtes du signal à observer.



Observe-t-on une trace en l'absence de signal ? Que peut-on en conclure ?

6.2 Mode déclenché (trigger)



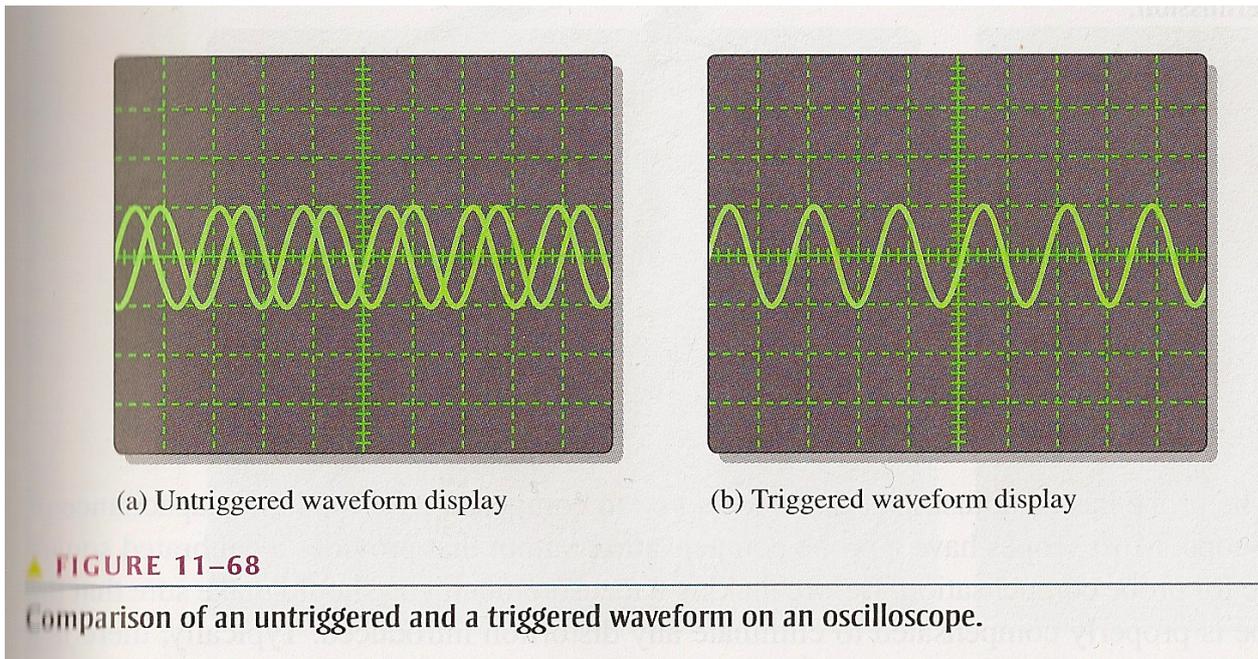
Envoyer un signal et choisir le mode déclenché de synchronisation. Le réglage du seuil de déclenchement est alors manuel, et se fait par le potentiomètre "seuil" (ou [level]). Décaler horizontalement la trace du signal, de manière à en observer le point de départ. Agir sur le potentiomètre "seuil".



Qu'observe-t-on ? Est-il possible de mesurer la valeur du seuil de déclenchement ?



Observe-t-on une trace en l'absence de signal ? Que peut-on en conclure ?



ANNEXE 1 : Éléments de base d'un oscilloscope analogique

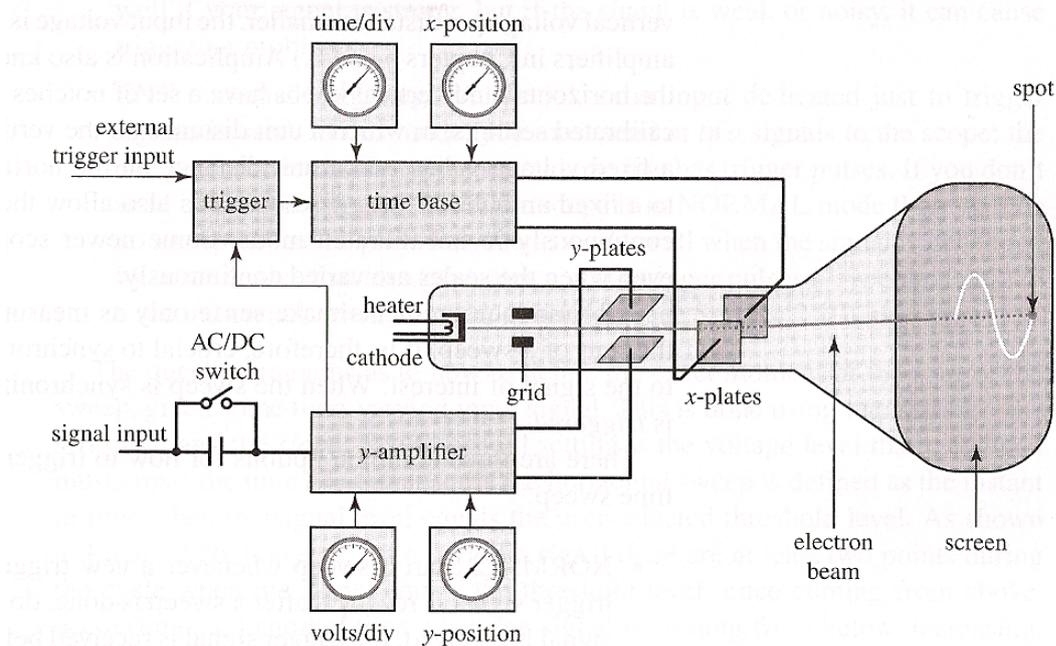


FIGURE 2.24 Basic elements of an analog oscilloscope.

L'oscilloscope est un instrument qui fut inventé en 1897 par le physicien allemand K. Braun, ce qui lui valut le prix Nobel en 1909. On le considère comme l'ancêtre des téléviseurs construits dans les années 1920 et 1930.

II.1. — Oscilloscopes analogiques et oscilloscopes numériques

Avec cet instrument, on visualise l'évolution temporelle d'une ou plusieurs tensions dans un circuit, la forme de ces signaux. Aussi est-il souvent appelé « l'œil » de l'électronicien.

Les oscilloscopes couramment utilisés sont principalement de deux types.

i) Les oscilloscopes analogiques

Les oscilloscopes analogiques possèdent une source, la cathode, qui émet des électrons, soit par effet thermo-électronique en raison de sa température, soit par effet de champ (cf. *Quantique*). Les électrons sont accélérés dans un tube à vide vers une anode trouée portée à une haute tension de l'ordre de 30 kV. L'impact sur un écran photo-luminescent forme un point lumineux ou *spot* (point en anglais).

Deux séries de deux plaques parallèles, l'une portée à une tension proportionnelle à la tension à visualiser, l'autre orthogonale à la première série, soumise à une tension en dents de scie et proportionnelle au temps, provoquent la déviation du faisceau électronique et donc l'apparition d'une *trace* sur l'écran d'observation.

La durée mise par les électrons pour atteindre le détecteur étant négligeable (de l'ordre de 10 ns), le signal est visualisé pratiquement en *temps réel* sur l'écran. Les oscilloscopes analogiques sont encombrants et lourds, en raison du tube à vide et de l'alimentation du canon à électrons.

ii) les oscilloscopes numériques.

Dans les oscilloscopes *numériques*, on échantillonne la tension à visualiser, c'est-à-dire qu'on ne considère qu'un ensemble de valeurs discrètes régulièrement réparties au cours du temps. Ce n'est qu'après cette opération que le signal est affiché sur un écran, ou *moniteur*, dont la technologie s'apparente à celle des ordinateurs portables actuels ; le signal est donc visualisé en *temps différé*. Les oscilloscopes numériques se distinguent des analogiques par un encombrement et un poids moindre, car ils utilisent largement les possibilités de miniaturisation des composants ; avec ce type d'oscilloscope, on a aisément accès aux caractéristiques principales du signal : fréquence, période, valeur efficace, valeur moyenne ou valeur de crête, etc.

Malgré des différences technologiques importantes, les fonctions les plus courantes sont communes aux deux types d'oscilloscope. Dans la suite, on approfondit l'analyse sur un exemple de façade d'oscilloscope « standard », (Fig. 2), ce qui facilite leur utilisation dans les divers montages.

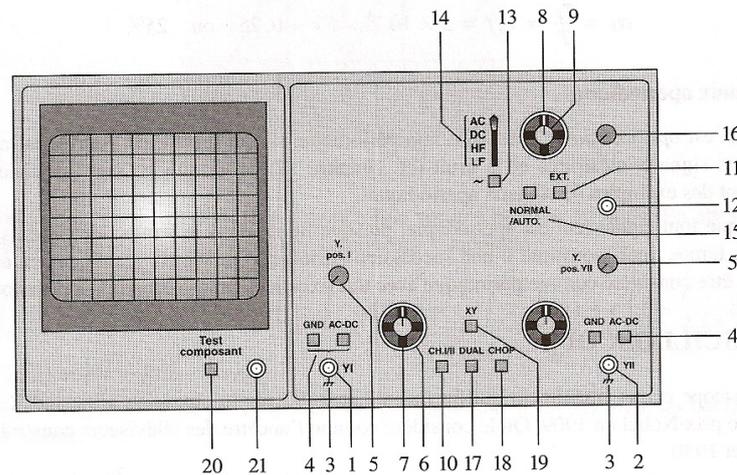


FIG. 2.

II.2. — Branchement de l'oscilloscope

a) Masse de l'oscilloscope

La plupart des oscilloscopes possèdent deux entrées ou *voies* que l'on désigne par les lettres Y_1 et Y_2 (points 1 et 2 de la figure 2). Ces voies ont une borne commune, la *masse* (point 3), ou tension de référence, généralement reliée à la prise de terre de l'instrument. Le branchement de la masse de l'oscilloscope dans le circuit doit obéir à quelques règles essentielles.

i) Si la masse d'un autre appareil utilisé dans le montage, par exemple un GBF, est par construction reliée à la terre, le choix du point de masse est contraint. Il est alors nécessaire de relier la masse de l'oscilloscope à la masse de l'autre appareil. Si cette précaution n'est pas prise, la liaison commune par la prise de terre provoquerait un court-circuit, c'est-à-dire la mise au même potentiel de deux points différents du circuit.

ii) Si au contraire, la masse est *flottante*, c'est-à-dire non reliée à la prise de terre, la masse de l'oscilloscope peut être choisie librement en n'importe quel point du circuit.

b) L'entrée du signal

Sauf réglage spécifique, les impédances d'entrée de l'oscilloscope sont élevées ; aussi, l'application d'une tension sur les voies Y_1 et Y_2 perturbe-t-elle peu le système. Un oscilloscope se branche donc en parallèle dans un circuit. Chaque entrée est *couplée* (point 4 sur la figure 2) à la chaîne de traitement interne de l'oscilloscope, selon le schéma de la figure 3. On distingue trois possibilités.

i) Le couplage *DC*, de l'anglais *Direct Current* (courant direct), est le couplage « standard » à utiliser par défaut. La tension du circuit est directement transmise, sans traitement.

ii) La position *GND*, de l'anglais *Ground* (terre), permet d'appliquer une tension nulle sur la voie sans débrancher aucun fil, afin par exemple de centrer verticalement l'origine des tensions en agissant sur le curseur (5).

iii) Le couplage *AC*, de l'anglais *Alternative Current* (courant alternatif), supprime toute composante stationnaire du signal d'entrée, par un filtre passe-haut du premier ordre, dont la fréquence de coupure est de quelques hertz (cf. chapitre 6). Ce couplage est à utiliser lorsque la composante stationnaire d'un signal gêne sa visualisation. Citons par exemple la mesure du déphasage temporel entre deux signaux synchrones dont l'un est décalé en tension, ou encore la visualisation de parasites sur un signal stationnaire d'alimentation. Le couplage *AC* permet alors de mieux repérer le passage par l'origine de la tension décalée. Attention néanmoins à ne pas l'utiliser à trop basse fréquence, car le filtre modifie la forme des signaux.

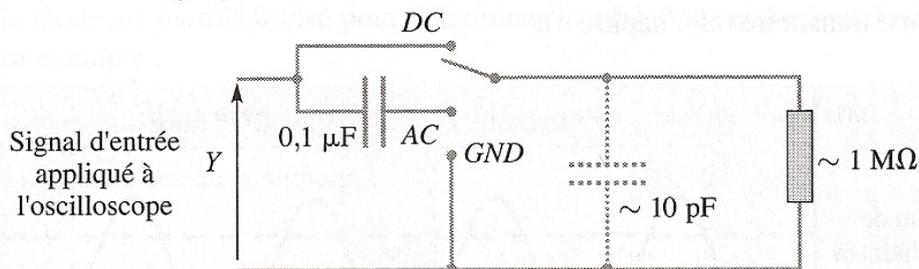


FIG. 3.

II. 3. — Mode balayage temporel

Un oscilloscope est capable d'afficher des signaux variables jusqu'à des fréquences de plusieurs dizaines de MHz. Le coût de l'instrument est d'ailleurs directement lié à l'étendue de sa *bande passante*. En mode balayage, l'axe horizontal est celui du temps et l'axe vertical celui des tensions à étudier.

a) Sensibilité verticale

Avec le sélecteur de calibre (6), on règle l'échelle verticale des tensions. Sur certains oscilloscopes munis d'un réglage fin (7), on peut supprimer manuellement le « calibre » de cette échelle et donc ajuster l'amplitude d'une courbe sur l'écran. Il est alors possible de mesurer :

i) une durée de montée, c'est-à-dire la durée nécessaire pour atteindre, en régime transitoire, une fraction déterminée de la tension établie,

ii) une fréquence de coupure en recherchant la fréquence pour laquelle l'amplitude de la courbe est réduite dans le rapport $7/5 = 1,4 \approx \sqrt{2}$, dans la pratique de sept carreaux dans la bande passante à cinq carreaux à la coupure.

b) Base de temps

Le sélecteur de calibre (8) permet de régler l'échelle horizontale temporelle, ou *base de temps*. Comme précédemment, sur certains oscilloscopes dotés d'un réglage fin (9), on supprime le calibrage de cette échelle, ce qui permet par exemple de mesurer, en mode bicourbe, le déphasage entre deux signaux synchrones : on ajuste la période à l'écran du signal de référence sur neuf carreaux ; chaque carreau de retard ou d'avance du signal déphasé correspond alors à $360/9 = 40^\circ$ soit $0,7$ rad.

c) Synchronisation

Le but de la *synchronisation* est d'afficher un signal *stable* sur l'écran de l'oscilloscope. Elle est essentielle pour observer confortablement un signal, car une mauvaise synchronisation provoque un déplacement plus ou moins lent du signal sur l'écran, appelé *dérive*. En effet, si les tensions en début et en fin de balayage diffèrent, deux traces consécutives ne se superposeront pas ; le signal dérive.

Il existe plusieurs modes de synchronisation.

i) Mode *normal* (15) : la représentation temporelle d'une tension sur l'écran d'un oscilloscope est celle donnée sur la figure 4. Une fois fixé un critère de déclenchement du balayage du spot, par exemple le dépassement d'un *niveau de tension* réglable (16), une première trace se forme à laquelle succède une durée d'attente, jusqu'à un autre déclenchement ; une nouvelle trace apparaît, et ainsi de suite.

ii) Mode *automatique* (15) : dans ce mode, un déclenchement forcé permet de visualiser le signal, même si le critère de déclenchement n'est pas réalisé.

iii) Mode *monocoup* : sur les oscilloscopes numériques, le mode de balayage monocoup produit, après son déclenchement et une fois l'instrument *armé*, une trace unique ; on l'utilise notamment pour observer un régime transitoire (cf. chapitre 4).

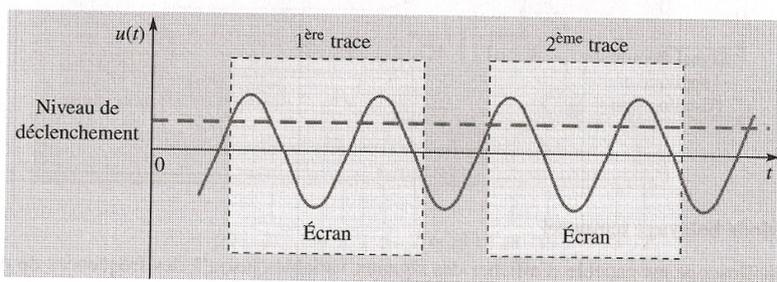


FIG. 4.

d) Signal de déclenchement

Dans l'exemple précédent, le signal de déclenchement choisi était le signal affiché lui-même, c'est-à-dire l'une ou l'autre des voies *internes* Y_1 ou Y_2 (choisie à l'aide du bouton 10). Il est possible d'utiliser un signal *externe* pour déclencher le balayage du spot de l'oscilloscope (point 11) sur l'entrée spécifique (12) ; on peut même choisir la tension délivrée par le « secteur 50 Hz » (13) pour des signaux synchronisés sur le réseau électrique.

Sur certains oscilloscopes, il existe un mode de déclenchement *alterné*, pour lequel les signaux des voies Y_1 et Y_2 sont alternativement affichés. Ce mode est particulièrement adapté à la visualisation de deux signaux de fréquences différentes. En revanche, si les signaux à visualiser sont synchrones, leur déphasage temporel n'est plus apparent, les signaux semblent être en phase.

Le signal choisi est alors *couplé* à l'étage de déclenchement, appelé déclencheur ou *trigger* (gâchette en anglais), selon les modes (14) :

- i) *DC* pour Direct Couplage, c'est-à-dire sans traitement,
- ii) *AC* pour Alternative Current grâce à la suppression de la composante stationnaire du signal,
- iii) *LF* pour Couplage après Filtrage des « basses » fréquences (*low frequencies*), inférieures à 50 kHz,
- iv) *HF* couplage après filtrage des « hautes » fréquences (*high frequencies*), supérieures à 50 kHz.

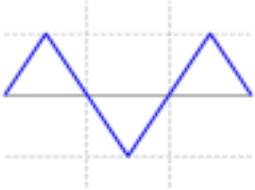
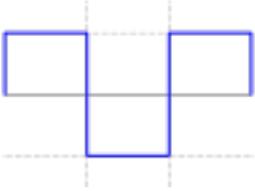
e) Mode bicourbe

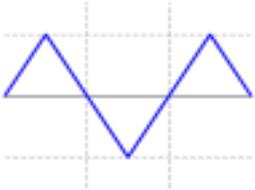
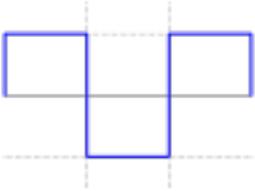
En mode *bicourbe* (17), on affiche simultanément les deux tensions sur les voies Y_1 et Y_2 à l'écran. Sur les oscilloscopes analogiques, on distingue deux modes d'affichage :

i) Le mode alterné, *Alternate*, ou mode par défaut, exhibe, à tour de rôle, l'une puis l'autre voie. En raison de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, ce mode est adapté aux fréquences élevées. En effet, aux vitesses de balayage importantes, l'alternance rapide des deux courbes produit une impression de simultanéité.

ii) En mode découpé, *Chop* (hache en anglais), on divise la durée de balayage en petits intervalles temporels que l'on utilise pour afficher, à tour de rôle, l'une puis l'autre voie (18). On visualise ainsi simultanément les deux signaux basse fréquence.

ANNEXE 3 : Lien entre valeur efficace et amplitude pour quelques signaux

Signal (régime établi)	Forme d'onde	I_{eff}
sinusoïdal		$\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$
triangulaire		$\frac{I_{max}}{\sqrt{3}}$
carré		I_{max}

Signal (régime établi)	Forme d'onde	V_{eff}
sinusoïdal		$\frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$
triangulaire		$\frac{V_{max}}{\sqrt{3}}$
carré		V_{max}