

TP1 : appareils de mesure (multimètre, oscilloscope) : mesures de grandeurs continues et variables

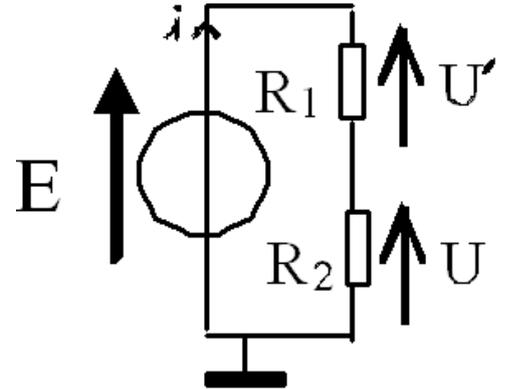
Objectifs (connaissances théoriques : TD1)

A l'issue de cette séance, l'étudiant devra être capable de :

- Mesurer à l'aide d'un multimètre un courant ou une tension
- Mettre en œuvre et comprendre un pont diviseur de tension
- Comprendre les principales fonctions de l'oscilloscope (synchronisation, base de temps, DC/AC)
- Utiliser le générateur de fonctions.

Préparation

- Dans le circuit suivant, exprimer U en fonction de E, R₁ et R₂.



A partir du schéma on a : $E = U + U'$

Avec $U' = R_1 \times i$ et $i = \frac{U}{R_2}$. On aura donc,

$$E = U + \frac{R_1}{R_2} U = U \frac{R_1 + R_2}{R_2}, \text{ on en déduit alors:}$$

$$U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \quad (1)$$

- Pour un signal v(t) quelconque de période T, donner la définition de la valeur moyenne.

$$V_{\text{moy}} = \langle V \rangle = \bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

Lorsqu'un signal a une valeur moyenne nulle, on peut le décrire par sa valeur efficace :

$$V_{\text{EFF}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

- Calculer la valeur efficace d'un signal sinusoïdal $v(t) = V_{\text{MAX}} \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$.

$$V_{\text{EFF}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left[V_{\text{MAX}} \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \right]^2 dt} \quad \text{avec} \quad \cos(t) = \frac{1 + \cos(2t)}{2}$$

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{MAX}}}{\sqrt{2}}$$

Remarque : pour un signal triangulaire la valeur efficace est différente de celle obtenue

précédemment, $V_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{MAX}}}{\sqrt{3}}$

1) Mesures de tensions à l'aide d'un multimètre

Préparation

- Lire l'annexe 1 pour savoir comment on mesure une tension continue à l'aide d'un multimètre.

Mesure 1

- Générer à l'aide du générateur de fonction basse fréquence (GBF) un signal continu E . Réaliser le montage avec $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$. Placer 2 multimètres pour mesurer les tensions E et U .
- Dessiner le montage dans le compte-rendu en faisant apparaître les appareils de mesure.

Attention : on branche les multimètres en série pour mesurer une intensité de courant et on les branche en parallèle pour mesurer une tension. Pour mesurer une tension, il vaut mieux brancher les multimètres à la fin de votre montage.

- Relever dans un tableau de mesure $U = f(E)$ de 0 à 12 V par paliers d'environ 1 V.

Exploitation des mesures

- Tracer $U = f(E)$ en tenant compte des incertitudes de mesures sur E et sur U en prenant pour le Voltmètre une incertitude de mesure de $\pm 5 \%$ valeur lue ± 2 digit (voir annexe 2). Mesurer la pente et conclure.

$u(U) = \pm 0.05 \cdot \text{valeur lue sur le multimètre} \pm 2 \cdot \text{la plus petite valeur qu'on peut lire sur le multimètre.}$

La plus petite valeur qu'on peut lire sur le multimètre est $= 10^{-x}$, avec x le nombre de chiffre après la virgule.

L'incertitude a la même forme aussi pour l'intensité et la résistance ($u(I)$ et $u(R)$).

Mesure 2

- On remplace la résistance R_2 par une résistance variable (boîte Chauvin Arnoux X10 k Ω). On fixe la valeur de E à 12 V.
- Relever dans un tableau de mesure $U = f(R_2)$ en faisant varier R_2 de 10 k Ω à 100 k Ω par paliers de 10 k Ω .

Exploitation des mesures

- Tracer $U = f(R_2)$ en tenant compte des incertitudes de mesures. Est-ce que mesurer la pente a un sens ici ?

La mesure de la pente n'a aucun sens ici car la variation de U (équation 1) n'est pas linéaire avec R_2 .

- Comment à l'aide de la mesure obtenue pour $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ on peut retrouver la valeur de R_1 .

On prend un point quelconque sur notre graphe (exemple pour $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$) et on remplace les valeurs dans l'équation (1) pour retrouver la valeur de R_1 .

Mesure 3

- Pour cette mesure, on génère une tension sinusoïdale à l'aide du générateur de fonction basse fréquence (GBF), et on mesure sa valeur efficace à l'aide du multimètre : régler un signal de fréquence $f = 1 \text{ kHz}$ et d'amplitude crête – à – crête 10 V (voir annexe 3). Mesurer la tension obtenue et justifier sa valeur.
- Brancher le générateur sur une résistance variable (boîte Chauvin Arnoux X100 Ω), et mesurer la tension U aux bornes de la résistance pour des valeurs de R de 100 Ω à 1 k Ω par paliers d'environ 100 Ω .

Exploitation des mesures

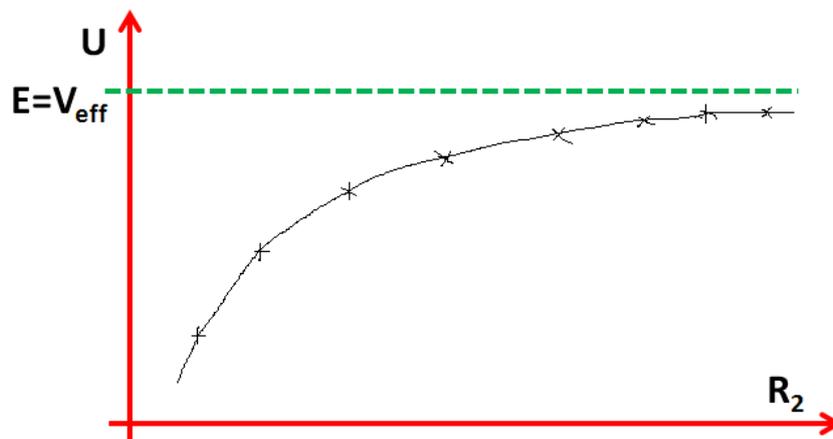
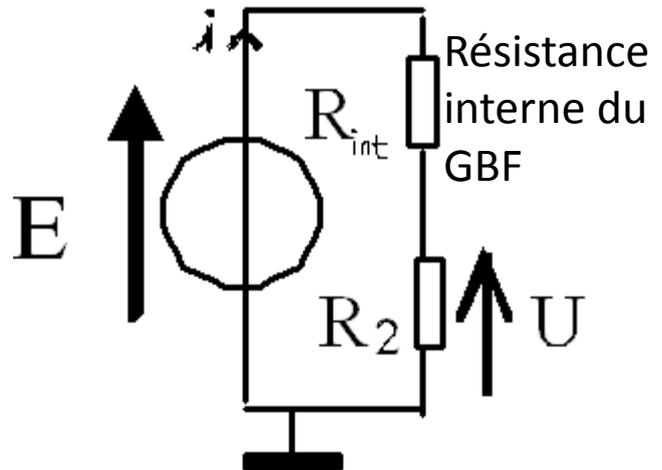
- Tracer $U = f(R)$.
- Justifier la forme de la courbe obtenue.

L'objectif de ce montage c'est de montrer que le GBF a une résistance interne (R_{int}) qui affecte les mesures une fois la valeur de R_2 est au même ordre de grandeur de R_{int} .

On retrouve le schéma de diviseur de tension avec :

$$U = \frac{R_2}{R_{int} + R_2} E$$

Donc, si la valeur de R_2 est suffisamment grande pour négliger la résistance interne du GBF la valeur de U tend vers la valeur efficace de la tension au bord du GBF $U=E$, si non la valeur de R_{int} intervient est on aura $U < E$.



- Trouver un modèle électrique du GBF (s'aider de l'exploitation de la mesure 2).

Schéma ci-dessus.

2) Visualisation de signaux variables à l'aide d'un oscilloscope

Observation d'un signal en fonction du temps

Mesure 4 : signal sinusoïdal

- Lire attentivement l'annexe 1 les paragraphes sur les grandeurs caractéristiques d'un signal sinusoïdal et sur l'oscilloscope
- Générer un signal sinusoïdal d'amplitude crête – à – crête 10 V et de fréquence 1 kHz. Relier par l'intermédiaire d'un câble coaxial le générateur à la voie CH1 de l'oscilloscope. Dessiner le schéma dans le compte – rendu et relever la courbe obtenue en indiquant les réglages de l'oscilloscope. Retrouver les valeurs de l'amplitude et de la fréquence. Estimer les incertitudes de mesure.
- Brancher un Voltmètre pour mesurer la tension et comparer à l'amplitude mesurée à l'aide de l'oscilloscope.

Le voltmètre affiche la valeur efficace du signal du GBF, par exemple pour un signal sinusoïdal avec une amplitude crête – à – crête de 10 V (V_{\max} = amplitude crête – à – crête divisée par 2):

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{MAX}}}{\sqrt{2}} = \frac{5\text{V}}{\sqrt{2}} = 3.54\text{V}$$

- Refaire la mesure pour un signal de fréquence 10 kHz, 50 kHz, 100 kHz et 1 MHz. Conclure.

Si on applique des fréquences très élevées, on remarque que les valeurs affichées sur le multimètre ne sont plus égales à la valeur efficace ceci est dû au fait qu'on a dépassé la limite en fréquence autorisée pour le multimètre et on est à l'extérieur de la plage fréquentielle de fonctionnement du multimètre.

Mesure 5 : autres signaux

- Visualiser sur l'oscilloscope les sorties OUTPUT (signal analogique) et OUTPUT TTL (signal numérique standard) du générateur.*

Si on est sur la sortie OUTPUT du GBF, on voit le même type de signal (Sinusoïdal, triangulaire...) à la sortie dans l'oscilloscope. Par contre, si on est sur la sortie OUTPUT TTL, quelque soit le signal d'entrée on voit un signal carré sur l'oscilloscope.

- Visualiser un signal triangulaire de fréquence $f = 1500$ Hz et d'amplitude crête – à crête 10 V: tester et comprendre le réglage de l'oscilloscope (réglage du « 0 », voie CH1, voie CH2, sensibilité, base de temps, synchronisation).

L'oscilloscope est un écran de lecture, qui nous permet d'afficher les valeurs générées par le GBF. Il faut faire attention aux sensibilités (qu'on appelle aussi des calibres) verticales pour les tensions et horizontales pour tout ce qui est temps, période, fréquence, déphasage...etc.

- Visualiser un signal $S = A + B * \sin \omega.t$ avec $A = -1$ V, $B = 2$ V et $\omega = 2\pi.f$ avec $f = 1000$ Hz en mode DC puis en mode AC.

A : composante continue du signal ou OFFSET (valeur moyenne du signal).

B : composante alternative du signal

DC : Direct Current = signal qui existe effectivement

AC : Alternative Current = partie variable du signal (Remarque : DC = OFFSET + AC).

- Retrouver les valeurs de A et B à l'aide d'un multimètre.

$$S = A + B * \sin \omega.t$$

Dans le cas d'un signal :

- AC : A correspond à la valeur de l'OFFSET, et B correspond à la valeur V_{\max} du signal, pour un signal sinusoïdal : $V_{\text{MAX}} = V_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}$ avec V_{eff} la valeur affichée sur le multimètre.

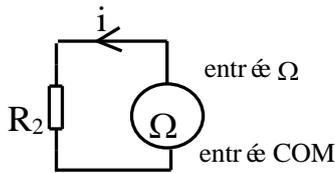
- DC : on a pas de variation sinusoïdal du signal ($B=0$), et la valeur affichée sur le multimètre correspond directement à la valeur de l'OFFSET.

- Reprendre les mesures avec un signal carré. Conclure.

Attention : il faut calculer théoriquement la valeur efficace dans le cas d'un signal carré. (fichier pdf joint contient tous les exemples).

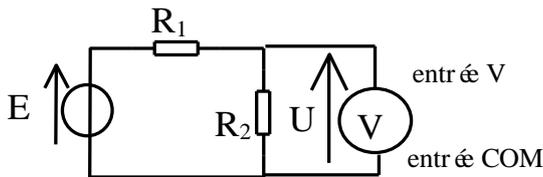
Annexe 1 : appareils de mesure

Ohmmètre



Pour mesurer la valeur d'une résistance, il faut la déconnecter du reste du circuit. En effet, l'ohmmètre génère un courant i et mesure la tension obtenue.

Voltmètre

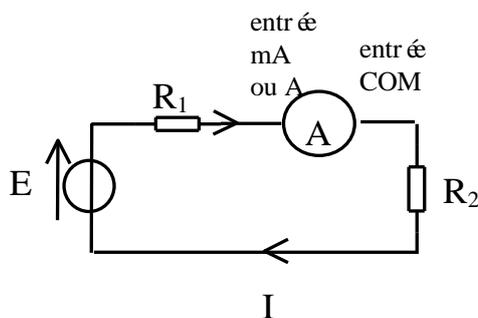


Un voltmètre se branche en parallèle.

Il détourne une petite partie du courant dans une résistance, la tension obtenue est traitée ensuite.

La résistance interne est très grande : selon les calibres, elle peut valoir quelques $k\Omega$ à quelques $10 M\Omega$.

Ampèremètre



Un ampèremètre se branche en série.

Le courant traverse une résistance, la tension obtenue est traitée ensuite.

La résistance interne est petite : selon les calibres, elle peut valoir quelques 10Ω à quelques $10 k\Omega$.

Remarque :

Les multimètres ont habituellement 2 entrées pour la mesure du courant :

mA : courants faibles, protégée ($\sim 200mA$)

A : courants forts, protégée ($\sim 10A$)

En électronique, on utilise principalement la 1^{ère}.

« Multimètre 2000 points »

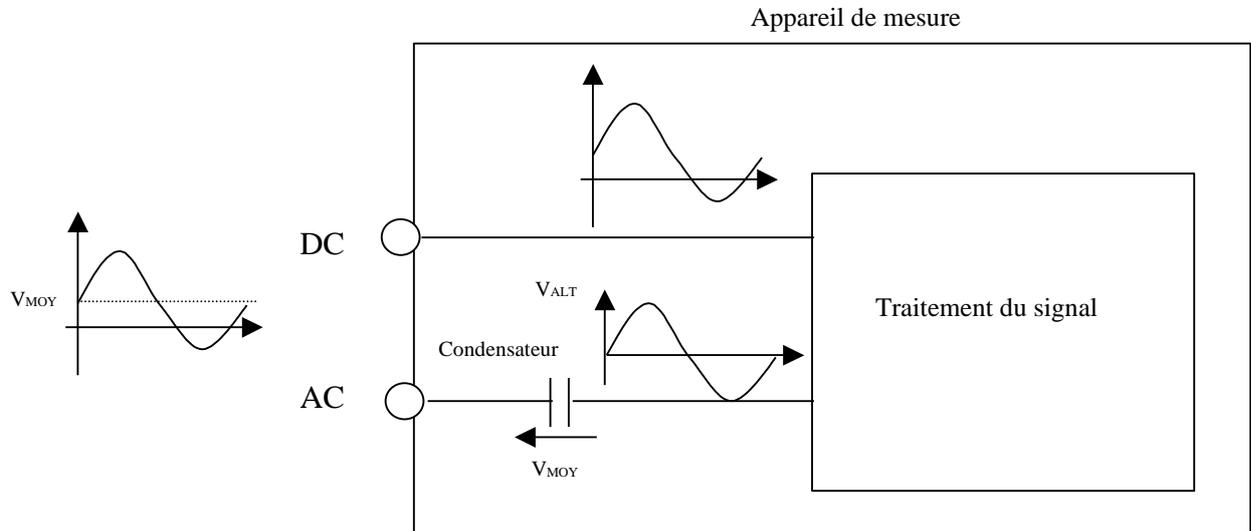
ou « 3 digits $\frac{1}{2}$ » signifie que l'afficheur numérique peut afficher des chiffres compris entre 0000 et 1999. Les 3 derniers chiffres constituent 3 digits : ils peuvent aller de 0 à 9. Le 1^{er} ne peut aller que de 0 à 1, c'est pourquoi on l'appelle $\frac{1}{2}$ digit.

Un multimètre 50000 points est a priori plus précis (et plus cher) qu'un multimètre 2000 points, mais il faut le vérifier en lisant les spécifications techniques du constructeur.

Par exemple, en se plaçant sur le calibre 2 V d'un multimètre 2000 points, on lit $U = 1,205 V$: le constructeur indique une erreur de mesure de $\pm 5\%$ valeur lue ± 2 digit. Le digit désigne la variation de 1 du chiffre le moins significatif. On a donc une erreur de mesure $\Delta V = \pm 0,05 * 1,205 \pm (2 * 1mV) = \pm 0,06225V$. En se référant à la mesure, on ne garde que les 3 1^{er} chiffres significatifs : $U = 1,205 \pm 0,062 V$.

Couplage continu (DC) ou couplage alternatif (AC) des appareils

- DC signifie Direct Coupling ou couplage direct : le signal est envoyé directement au système de mesure,
- AC signifie Alternative Coupling ou couplage alternatif : le signal passe par un condensateur, qui retient la composante continue du signal, seule la composante alternative parvient au système de mesure.



- Remarques :
- V_{MOY} est la composante continue du signal (ou OFFSET ou décalage)
- V_{ALT} est la composante alternative du signal (ou partie variable)

Pour un oscilloscope

- DC : on visualise le signal en entier,
- AC : on ne visualise que la composante alternative du signal.

Pour un multimètre

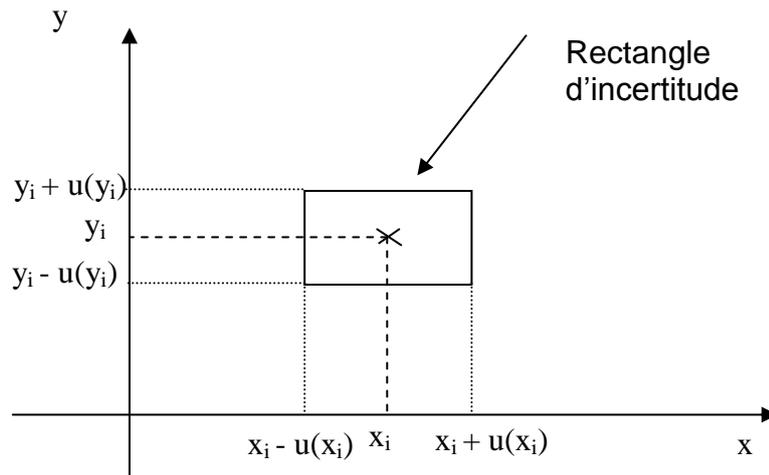
- DC : on mesure la valeur moyenne du signal,
- AC : on mesure la valeur efficace de la composante alternative du signal, si celui – ci est sinusoïdal (multimètre bas de gamme !),
- RMS (Root Mean Square) : on mesure la valeur efficace de la composante alternative du signal, quelque soit la forme de celui – ci,
- RMS TRUE (ou RMS vraie) : on mesure la valeur efficace du signal, quelque soit la forme de celui – ci. Remarque : on montre que $V_{RMST} = \sqrt{V_{MOY}^2 + V_{RMS}^2}$.

Annexe 2 : comment tenir compte des incertitudes dans le tracé ?

Soit une série de mesure donnant des couples (x_i, y_i) . Pour chacun de ces couples, on évalue, à l'aide des méthodes vues dans le chapitre précédent les incertitudes $u(x_i)$, et $u(y_i)$. A noter que ces incertitudes ne sont pas nécessairement les mêmes quelque soit le couple (x_i, y_i) . Par exemple, au cours de la série de mesure, le calibre du multimètre peut être modifié, donnant lieu à une incertitude différente.

Tracé

On trace dans le plan (x,y) les différentes valeurs mesurées (x_i, y_i) . Pour chacun des points, on trace « un rectangle d'incertitude », tenant compte de $u(x_i)$, et $u(y_i)$.

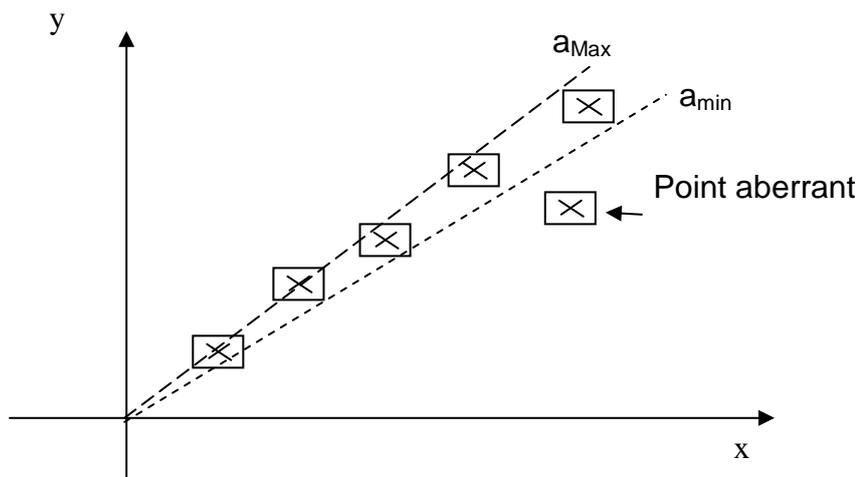


Comment évaluer la relation $Y = a.X + b$ qui relie les 2 grandeurs ?

On commence par éliminer les points aberrants.

Détermination de a

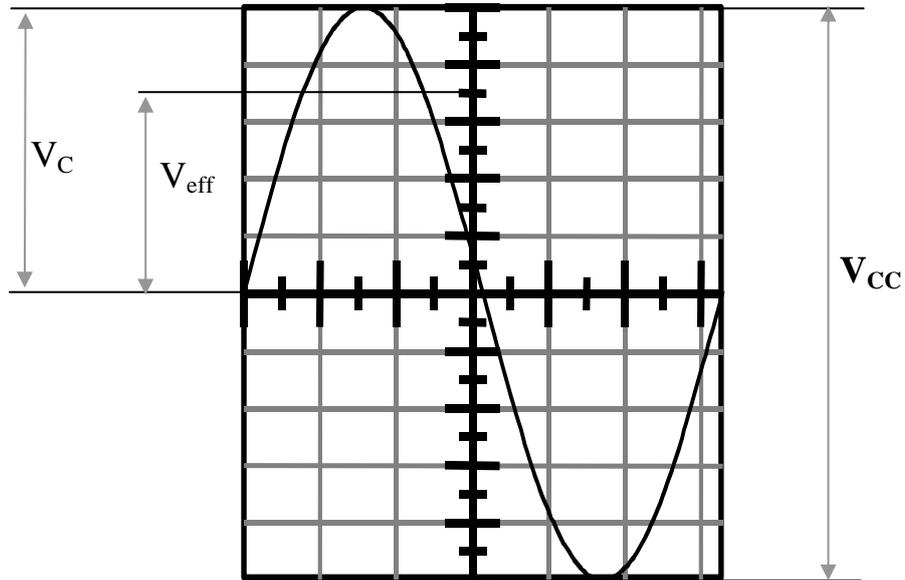
On cherche la pente maximale et la pente minimale passant **par l'origine et par tous les rectangles**.



On en déduit $a = \frac{a_{MAX} + a_{min}}{2}$. L'incertitude est évaluée à $u(a) = \frac{a_{MAX} - a_{min}}{2}$

Annexe 3 : signal sinusoïdal et oscilloscope

Grandeurs caractéristiques d'un signal sinusoïdal



V_{CC} = amplitude crête-à-crête

V_C = amplitude ou valeur crête simple

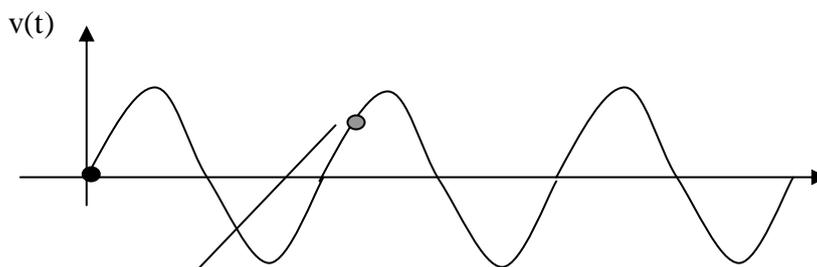
$V_{eff} = \frac{V_C}{\sqrt{2}}$ = valeur efficace

Synchronisation de l'oscilloscope

Un oscilloscope sert à visualiser une tension en fonction du temps $v(t)$: ainsi le signal v est amplifié et permet de dévier un spot verticalement. Pour faire dévier le faisceau de la gauche vers la droite, un signal interne en forme de dent de scie est créé : c'est le signal de base de temps.

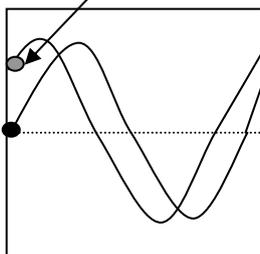
Dans l'exemple ci-dessous, on montre l'intérêt de synchroniser l'oscilloscope :

Cas de l'oscilloscope non synchronisé



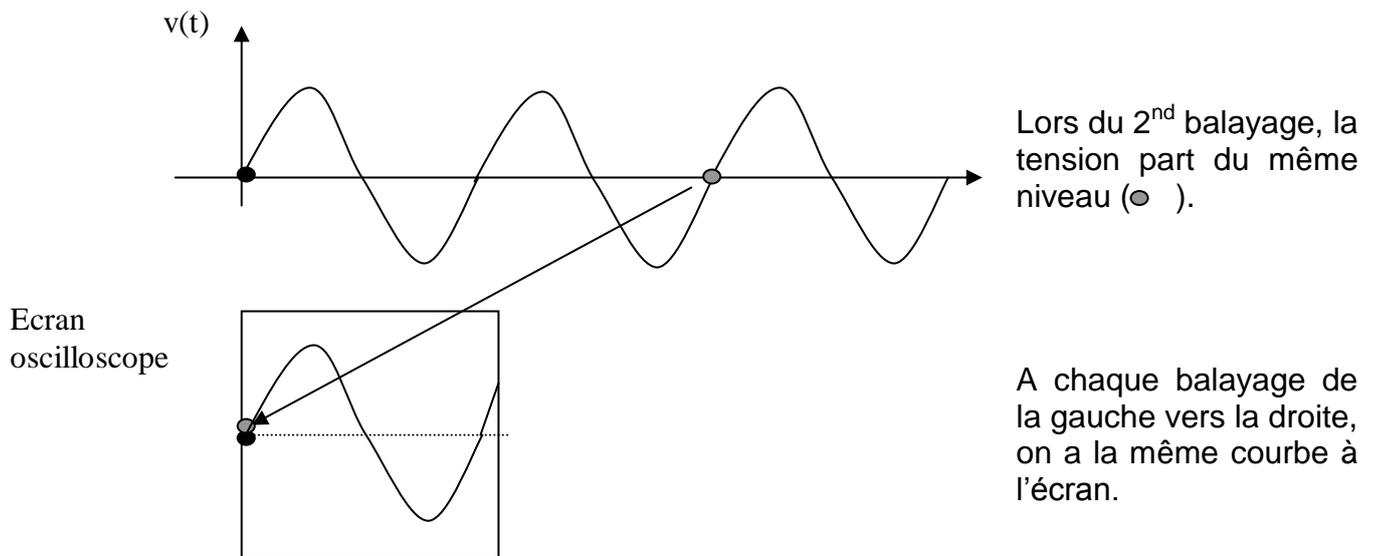
Lors du 2nd balayage, la tension ne part pas du même niveau ϕ).

Ecran oscilloscope



A chaque balayage de la gauche vers la droite, on n'a pas la même courbe à l'écran.

Cas de l'oscilloscope synchronisé

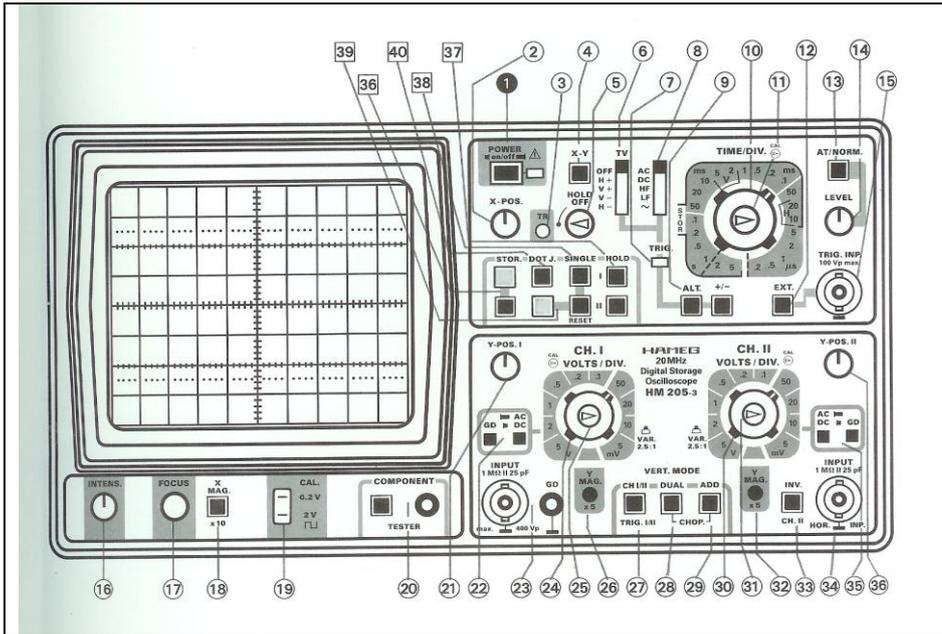


Modes de synchronisation

Sur les oscilloscope analogiques « HAMEG », il existe :

- la synchronisation automatique : la base de temps est déclenchée chaque fois que la partie variable du signal passe par 0,
- la synchronisation manuelle : la base de temps est déclenchée chaque fois que le signal franchit le niveau réglé avec le bouton « level ». Ainsi, si le signal ne franchit pas ce niveau, aucune courbe n'apparaît à l'écran.

Oscilloscope analogique HAMEG



- Le bouton 22 permet de choisir GND, AC ou DC
- Les boutons 27, 28 et 29 permettent de choisir la voie, le mode alterné ou chopé, le signal de déclenchement (TRIG)
- Les boutons 13 et 14 permettent de choisir le mode de déclenchement automatique ou manuel, et de régler le niveau de déclenchement.

Front Panel Elements HM 205-3 (Brief Description – Front View)

Element	Function	Element	Function
1 POWER on/off (pushbutton + LED)	Turns scope on and off. LED indicates operating condition.	22 DC-AC-GD (pushbutton switches)	Selects input coupling of the CH. I Vertical Amplifier. AC/DC depressed: direct coupling; AC/DC released: Signal is capacitively coupled (DC is blocked). GD depressed: Signal is disconnected, amplifier input is grounded.
2 X-POS. (knob)	Controls horizontal position of trace.	23 INPUT (CH. I) (BNC-connector) GD (4 mm socket)	CH. I signal input. Input impedance 1 MΩ/25 pF. Separate ground jack.
3 TR (pot)	Trace rotation. To align trace with horizontal graticule line. Compensates influence of earth's magnetic field.	24 VOLTS/DIV. (rotary switch)	CH. I input attenuator. Selects input sensitivity in mV/cm or V/cm in 1-2-5 sequence.
4 X-Y (pushbutton switch)	Selects X-Y operation, stops sweep. X signal via CH. II. Attention! Phosphor burn-in without X signal.	25 VAR. GAIN (center knob)	Continuously variable gain between the calibrated settings of the VOLTS/DIV switch. Decreases sensitivity 1: 2.5. Cal. position: cw.
5 HOLD OFF (knob)	Controls holdoff-time between sweeps. Normal position = full ccw.	26 Y MAG. x5 (pushbutton switch)	When depressed, increasing of Y-sensitivity 5 fold (max. 1 mV/cm).
6 TV (lever switch)	TV-Sync-Separator. OFF = Normal operation. TV: H± = Line or horizontal frequency. TV: V± = Frame or vertical frequency.	27 CH I/II-TRIG. I/II (pushbutton switch)	Button released: CH. I only and internal triggering from CH. I. Button depressed: CH. II only and internal trig. from CH. II. In DUAL and ADD mode: Button selects internal trigger signal.
7 TRIG. (LED)	LED lights, if sweep is triggered.	28 DUAL (pushbutton switch)	CHOP. Button released: One channel only. Button depressed: CH. I and CH. II in alternate mode. DUAL and ADD buttons depressed: CH. I and CH. II in chopped mode.
8 TRIG. AC-DC-HF-LF-~ (lever switch)	Trigger selector AC: 10 Hz – 10 MHz. DC: 0 – 10 MHz. HF: 1.5 kHz – 40 MHz. LF: 0 – 1 kHz. ~: Internal line triggering.	29 ADD (pushbutton switch)	
9 ALT. (pushbutton switch) +/- (pushbutton switch)	Triggering alternates between CH. I and CH. II (Dual Channel Mode only). Selects the slope of the trigger signal. + = rising edge; - = falling edge.	30 VOLTS/DIV. (rotary switch)	CH. II input attenuator. Selects input sensitivity in mV/cm or V/cm in 1-2-5 sequence.
10 TIME/DIV. (rotary switch)	Selects timebase speeds from 0.2 μs/cm to 5 s/cm.	31 VAR. GAIN (center knob)	Continuously variable gain for CH. II. Specifications like 25.
11 Variable (center knob)	Timebase variable control. Decreases timebase sweep speed 1: 2.5 (real time only). Cal. position = full clockwise.	32 Y MAG. x5 (pushbutton switch)	When depressed, increasing of Y-sensitivity 5 fold (max. 1 mV/cm).
12 EXT. (pushbutton switch)	Button released = internal triggering. Button depressed = external triggering, trigger signal via TRIG. INP. 19.	33 INV. CH II (pushbutton switch)	Inversion of CH. II display. In combination with ADD button 29 = algebraic addition. In X-Y mode inoperative.
13 AT/NORM. (pushbutton switch)	Button released = autom. triggering, trace visible without input signal. Button depressed = normal triggering with LEVEL 13 adjustment, trace invisible without signal.	34 DC-AC-GD (pushbutton switches)	Selects input coupling of the CH. II Vertical Amplifier. (See 22).
14 LEVEL (knob)	To adjust trigger point, if AT/NORM. button 13 is depressed.	35 INPUT CH. II (BNC-connector)	CH. II signal input and input for horizontal deflection in X-Y mode.
15 TRIG. INP. (BNC connector)	Input for external trigger signal, if button 12 is depressed.	36 Y-POS. II (knob)	Controls vertical position of CH. II display. In X-Y mode inoperative.
16 INTENS. (knob)	Intensity control for trace brightness.	Elements for storage mode:	
17 FOCUS (knob)	Focus control for trace sharpness.	37 STOR. (pushbutton + LED)	Selects real time or storage mode. LED indicates storage mode. If timebase range is wrong, LED is flashing.
18 X-MAG. x10 (pushbutton switch)	10:1 expansion in the X direction. Max. resolution 20 ns/cm.	38 HOLD I / II (pushbutton switches)	HOLD I: Save memory CH. I. HOLD II: Save memory CH. II.
19 CALIBRATOR 0.2 V-2 V (4,9 mm eyelets)	Calibrator output eyelets for probes 10:1 = 0.2 V _{pp} , 100:1 = 2 V _{pp} .	39 SINGLE (pushbutton switch)	Button depressed: Single sweep. Periodic sweep is stopped abruptly.
20 COMPONENT TESTER (pushbutton switch and 4 mm jack)	Button depressed: CT in operation. Two-terminal measurement: compon. connection to CT jack and ground jack.	40 RESET (pushbutton + LED)	Button depressed: Single sweep ready for triggering. LED indicates readiness, goes out after storage.
21 Y-POS. I (knob)	Controls vertical position of CH. I display.	41 DOT J. (pushbutton switch)	Button depressed: connects sample points

Document Tektronix

Présentation d'un oscilloscope

Un oscilloscope est un instrument de test électronique qui procède à l'affichage graphique de signaux électriques, généralement sous forme de tension (axe vertical ou Y) par rapport à une durée (axe horizontal ou X) comme indiqué dans la figure 1.

Les oscilloscopes sont également employés pour mesurer les signaux électriques en réponse aux stimuli physiques tels que le son, la tension mécanique, la pression, la lumière ou la chaleur. Par exemple, un réparateur de téléviseurs peut utiliser un oscilloscope pour mesurer les signaux des cartes d'un appareil de télévision tandis qu'un chercheur médical peut l'employer pour mesurer les ondes du cerveau.

Les oscilloscopes sont généralement employés pour les applications de mesure telles que :

- observation de la forme d'un signal ;
- mesure de l'amplitude d'un signal ;
- mesure de la fréquence d'un signal ;
- mesure de la durée entre deux événements ;
- étude du type du signal – courant continu (C.C.) ou courant alternatif (C.A.) ;
- observation du bruit présent sur un signal.

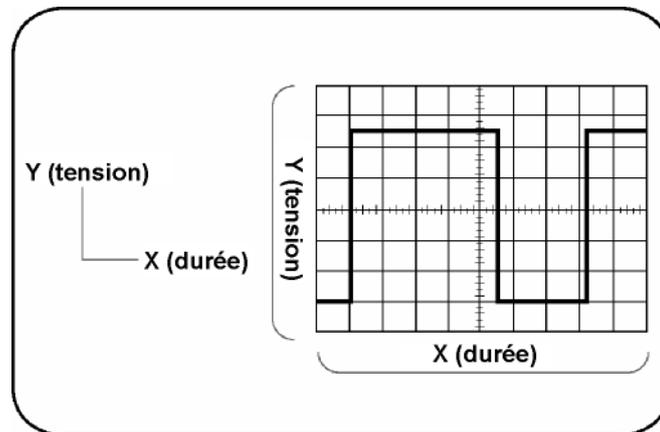


Figure 1 : Affichage d'oscilloscope type

Un oscilloscope contient divers contrôles qui aident à l'analyse des signaux affichés sur une grille graphique appelée réticule. Le réticule, comme le montre la figure 2, se compose de divisions réparties sur les axes horizontal et vertical. Ces divisions facilitent la détermination de paramètres clés concernant le signal. Dans le cas d'un oscilloscope de la série TDS1000C-EDU, on dénombre 10 divisions horizontales et 8 divisions verticales.



Figure 2 : Affichage d'oscilloscope Tektronix

Le processus d'acquisition du signal par un oscilloscope numérique est le suivant : conditionnement du signal d'entrée dans l'amplificateur vertical analogique, échantillonnage du signal d'entrée analogique, conversion des échantillons sous forme de représentation numérique à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique (ACD ou A/D), mémorisation des données numériques échantillonnées puis reconstruction de l'onde pour l'afficher sur l'écran.

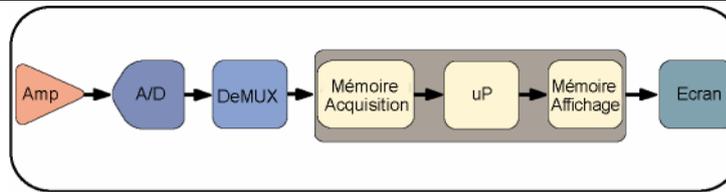


Figure 3 : Diagramme fonctionnel d'un oscilloscope numérique type

Contrôles de l'instrument

Les contrôles d'un oscilloscope type peuvent être regroupés en trois catégories majeures : vertical, horizontal et déclenchement. Ce sont les trois fonctions principales utilisées pour paramétrer un oscilloscope. L'emploi de ces contrôles est décrit dans les sections suivantes de ce laboratoire.

