

INSTRUMENTATION ÉLECTRIQUE :

Objectifs :

- Réviser le fonctionnement et le maniement de l'oscilloscope et du Générateur Basses Fréquences (GBF).
On travaillera au choix sur l'oscilloscope analogique HAMEG ou numérique FI (mode d'emploi résumé en annexe). Dans les prochains TP, on n'utilisera exclusivement les oscilloscopes numériques FI ou SIGLENT.
- Réviser le maniement d'un multimètre numérique dans ses fonctions de voltmètre, ampèremètre, ohmmètre, capacimètre, et ce en fonction de la forme temporelle du signal et de l'information recherchée (valeur moyenne, efficace...).

I. Manipulations sur l'oscilloscope

I.1. Visualisation d'un signal périodique

• MANIP 1 : Synchronisation

- Envoyer un signal sinusoïdal sur l'oscilloscope (voie 1). Synchroniser la base de temps sur la voie 2, qu'observe-t-on ?
- Revenir en Trig 1 (Synchronisation de la base de temps sur la voie 1), passer en synchronisation manuelle, modifier la valeur de la tension de déclenchement ("level") et observer le décrochage.
- Revenir en synchronisation automatique et visualiser également le signal TTL (ou Sync Out) sur la voie 2.
- Synchroniser ensuite en mode manuel sur la voie 1 et réduire l'amplitude du signal de la voie 1 jusqu'au décrochage de la synchronisation.
- Rétablir la synchronisation en utilisant le signal TTL et la synchronisation extérieure (trig ext).

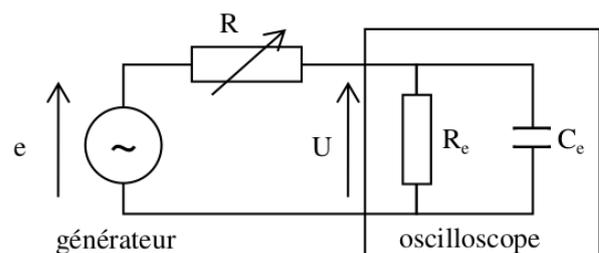
• MANIP 2 : Offset

- Observer un signal sinusoïdal d'amplitude 4 V et lui ajouter une tension continue de 1 V au moyen de l'Offset du générateur.
- Mesurer l'offset au moyen du sélecteur AC/DC d'une part et d'autre part à l'aide du multimètre en position DC.

I.2. Impédance d'entrée en mode DC et AC

Principe : toute mesure de résistance (entrée, sortie...) peut en général se faire au moyen d'un pont diviseur de tension que l'on ajuste au rapport $\frac{1}{2}$.

En mode DC, on peut modéliser l'oscilloscope par une résistance R_e et une capacité C_e en parallèle. Le schéma de principe du montage à effectuer est représenté ci-contre (R est une résistance variable). A fréquence nulle, $R_e // C_e$ se réduit à R_e . On mesure la tension U pour $R = 0$ ($U = e$) et on détermine la valeur de R pour laquelle $U = e/2$. On en déduit qu'alors $R = R_e$.



• MANIP 3 : Impédance d'entrée en mode DC

- Déterminer la résistance interne R_e et estimer l'incertitude $u(R_e)$ à fréquence nulle puis à fréquence $f = 100$ Hz. Conclure.
- Recommencer la mesure avec la même méthode à 10 kHz ; qu'observe-t-on et que peut-on déduire ?
- Des deux mesures précédentes, déduire R_e et C_e .

Indication : montrer que les valeurs efficaces U_{eff} et E_{eff} sont reliées par : $U_{\text{eff}} = \frac{E_{\text{eff}}}{\sqrt{(1+R/R_e)^2 + R^2 C_e^2 \omega^2}}$.

En regardant de plus près l'oscilloscope on s'aperçoit que les valeurs de R_e et C_e sont indiquées. Que remarque-t-on à propos de la valeur de C_e indiquée et celle mesurée ? Expliquez.

Pour éliminer la composante continue, le sélecteur AC positionne une capacité en série avec l'entrée, ce qui revient à faire un filtre passe haut de fréquence de coupure de l'ordre de 10 Hz (cf. Annexe ; le principe est le même sur les oscilloscopes numériques et analogiques).

• MANIP 4 : Effet de AC en basse fréquence

Observer un signal créneau ; Observer sa déformation lorsque l'on diminue la fréquence. Expliquez.

I.3. Étude d'un circuit en RSF : amplitudes et déphasages

On dispose d'un boîtier contenant une résistance montée en série avec une capacité. L'ensemble est alimenté par une tension sinusoïdale à environ 1 kHz.

• MANIP 5 : Mesure d'amplitude

Mesurer à l'oscilloscope les amplitudes des tensions U_C , U_R et U aux bornes de C , R et de l'ensemble et les incertitudes $u(U_C)$, $u(U_R)$ et $u(U)$. Pour chacune des mesures, préciser le montage réalisé (attention à la masse).

Q1. Quelle relation doit les relier ? Le vérifier en tenant compte des incertitudes.

Les oscilloscopes numériques du laboratoire ne permettent pas de *décalibrer*¹ la base de temps ; on ne peut donc pas utiliser la méthode des 9 carreaux pour mesurer un déphasage.

On mesurera donc le déphasage entre deux signaux $u_1(t) = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$ et $u_2(t) = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$ de la façon suivante (on suppose u_1 sur la voie 1 et u_2 sur la voie 2). Soient t_1 et t_2 des instants de passage à zéro, respectivement de u_1 et u_2 , avec le même signe de la pente (zéros montant ou zéros descendant). Ces deux passages à zéro seront choisis *successifs*, c'est-à-dire séparés de moins d'une demi-période. Le déphasage $\varphi_2 - \varphi_1$ de u_2 par rapport à u_1 est alors donné, sur l'intervalle $[-\pi; \pi]$, par² $\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi f(t_1 - t_2)$.

• MANIP 6 : Mesure de déphasage

- Placer les « zéros » des deux voies sur la même ligne horizontale.
- Choisir un calibre de la base de temps et une tension de déclenchement de façon à visualiser, en les éloignant le plus possible l'un de l'autre, deux passages à zéro.
- En utilisant le boîtier précédent, mesurer le déphasage φ_R (valeur en degrés entre -180° et 180°) et son incertitude entre la tension aux bornes de R et celle aux bornes de l'ensemble.

Q2. Peut-on mesurer le déphasage entre les tensions aux bornes de R et de C ? Si oui directement ou indirectement ?

1. c'est-à-dire passer en Mode VAR (sur les oscilloscopes analogiques) pour obtenir une variation continue de la sensibilité horizontale.

2. Savoir démontrer ce résultat.

II. Manipulations sur le générateur et le multimètre

• MANIP 7 : Comparaison Oscilloscope-Multimètre

- Prendre un signal sinusoïdal dont l'amplitude crête à crête de la tension est de 8 carreaux sur l'écran de l'oscilloscope au calibre 0,5V/cm, soit 4 V, et la période de 1 ms.
- Mesurer avec l'oscilloscope l'amplitude U_m du signal et en déduire la valeur efficace U_{eff} .
- Mesurer ensuite avec le multimètre numérique la valeur efficace U_{eff} .
- Répéter ces comparaisons pour des fréquences très différentes ($f \sim 10 \text{ Hz}$, $f \sim 100 \text{ kHz}$, $f \sim 1 \text{ MHz}$...), en répondant aux questions suivantes.

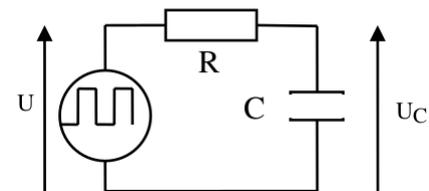
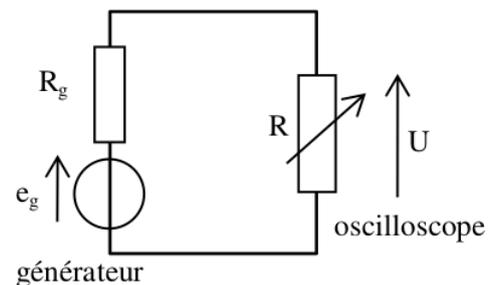
Q3. La mesure au multimètre est-elle différente si on débranche l'oscilloscope pendant cette mesure ? Les deux mesures sont-elles compatibles³ ?

• MANIP 8 : Résistance interne du générateur

Mesurer la résistance interne du générateur au moyen de la méthode de la demi-tension (schéma de principe ci-contre).

• MANIP 9 : Effet de la charge

- Réaliser un circuit RC série qui sera branché aux bornes du générateur, et soumis à une tension en forme de créneau de valeur moyenne nulle. On prendra dans un premier temps $R = 4 \text{ k}\Omega$ et $C = 0,1 \mu\text{F}$.
- Observer sur l'oscilloscope la tension aux bornes du générateur (voie 1) et la tension aux bornes de C (voie 2) en régime permanent.
- Refaire l'expérience avec les valeurs suivantes : $R = 40 \text{ k}\Omega$ et $C = 0,01 \mu\text{F}$ puis $R = 400 \Omega$ et $C = 1 \mu\text{F}$.



Q4. Quelle contrainte porte sur la période afin d'observer les charges et décharges complètes ?

Q5. Qu'observe-t-on lorsqu'on fait varier la valeur de R et C ? Interpréter.

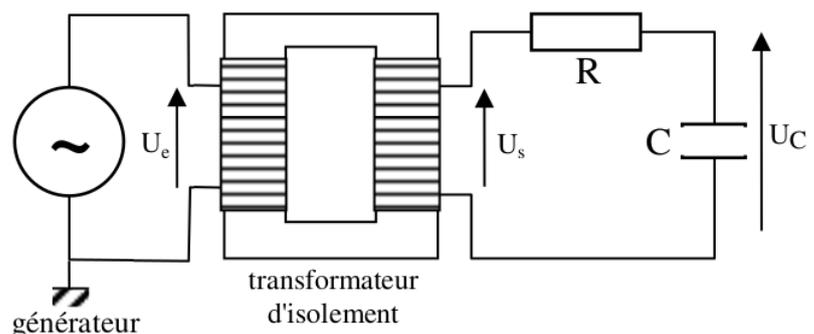
Q6. Sur le circuit précédent on cherche à observer simultanément U_R et U_C . Où doit être placée la masse ?

Afin de ne pas mettre un élément en court-circuit, il faut que la branche constituée par les deux points connectés à la terre n'appartienne pas à une maille pour qu'aucun courant n'y circule.

Pour cela on utilise un transformateur d'isolement. Constitué de deux bobinages indépendants identiques non connectés galvaniquement mais couplés par induction mutuelle grâce à un circuit magnétique (noyau ferromagnétique), il restitue au secondaire la tension d'entrée appliquée au primaire. Ainsi le générateur se trouve *isolé galvaniquement* du reste du circuit, c'est-à-dire que les électrons circulant dans le générateur (et le primaire) ne peuvent circuler dans le dipôle RC (et le secondaire) et vice versa : ce sont des électrons différents.

• MANIP 10 : Transformateur d'isolement

Réaliser le montage, le générateur délivrant une tension sinusoïdale, et vérifier que les deux tensions (U_R et U_C) sont en quadrature. Comment le voit-on en mode XY ?



3. On rappelle que le critère généralement admis pour que deux mesures soient considérées compatibles est que leur écart normalisé E_N soit inférieur à 2. Son évaluation suppose la détermination des incertitudes des mesures.

III. Manipulations sur les diodes

• MANIP 11 : Observation d'une caractéristique statique

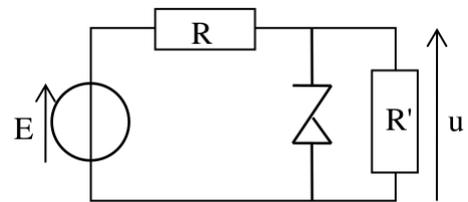
- Réaliser le circuit série suivant : générateur, résistance $R = 500\ \Omega$ et diode. Afin d'observer simultanément sur l'oscilloscope les tensions aux bornes de R et de la diode, on utilisera un transformateur d'isolement.
- L'alimentation est sinusoïdale. Adapter la fréquence pour que l'on puisse considérer que la diode suit sa caractéristique statique. Passer en XY et interpréter.

• MANIP 12 : Lissage par filtrage passe-bas

- Reprendre le circuit sans transformateur d'isolement et observer la tension aux bornes de la diode.
- Mesurer au multimètre sa composante continue.
- Au moyen d'un circuit RC, filtrer sa partie variable et mesurer la tension obtenue. Comparer à la valeur précédente. Est-ce compatible ?

• MANIP 13 : Diode Zener

- Observer la caractéristique de la diode Zener placée en polarisation inverse.
- Réaliser le montage suivant (E est constante et positive) et mesurer u .
- Faire varier R' , que se passe-t-il ? Cela est-il conforme aux attentes, y compris quantitativement ?



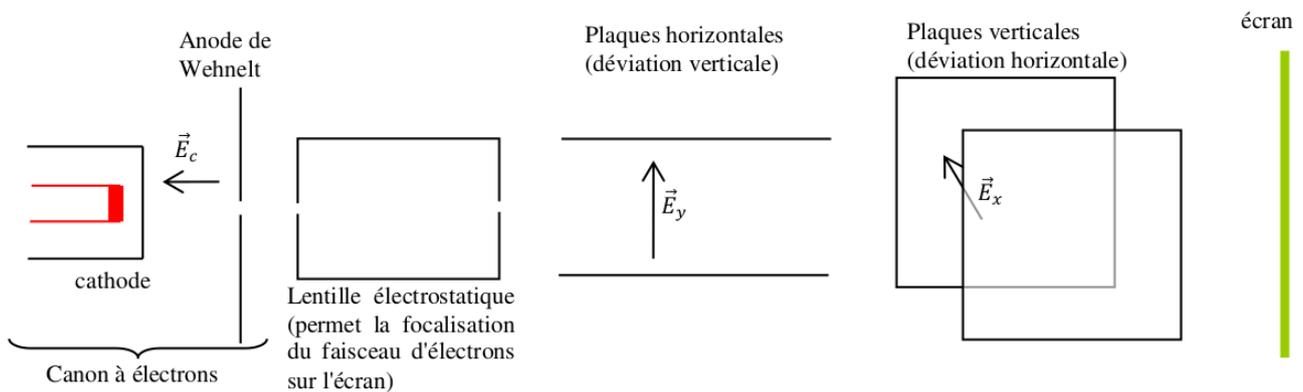
ANNEXE 1 : Rappel des principes de l'oscilloscope numérique

1. Principe du tube cathodique

La trace sur l'écran est obtenue par l'impact sur l'écran fluorescent d'un faisceau d'électrons dévié par l'action combinée :

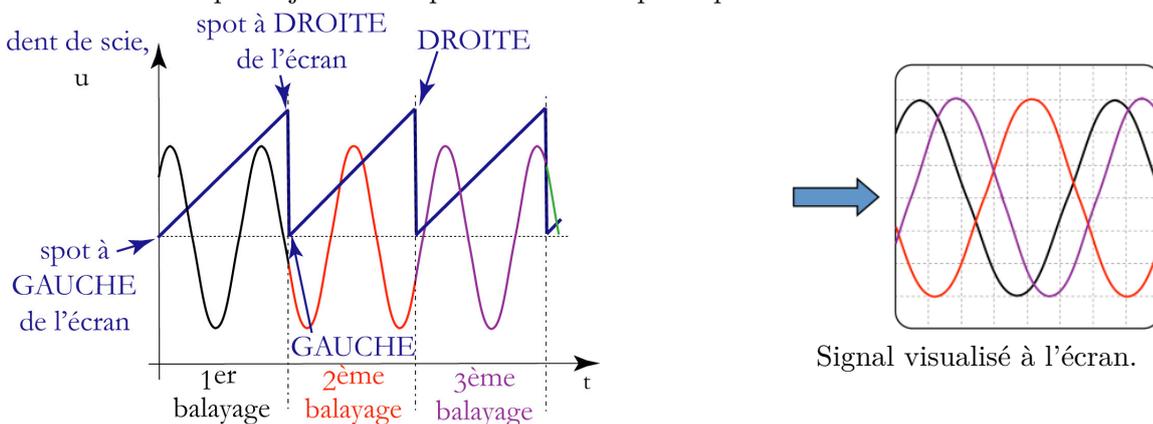
- de plaques horizontales entre lesquelles est appliquée la tension à visualiser $y(t)$ préalablement amplifiée (avec un gain réglable pour modifier la sensibilité) ;
- et des plaques verticales entre lesquelles est appliquée une tension $x(t)$ en dents de scie de période T_0 , dite *tension de balayage*.

T_0 se règle au moyen du sélecteur de *base de temps*.

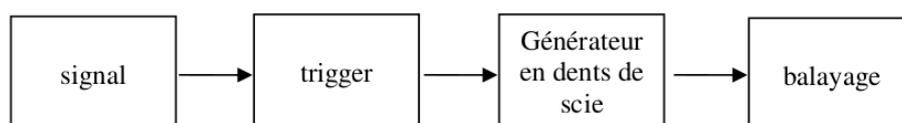


2. Synchronisation de la base de temps

Si la période du signal T n'est pas exactement un sous-multiple de T_0 (c'est-à-dire $T_0 = nT$ avec $n \in \mathbb{N}$), chacune des traces successives est différente de la précédente car le signal débute à une valeur différente. Ceci conduit à un effet de glissement du signal ou à une superposition d'un nombre fini de traces⁴, selon les échelles de temps en jeu en comparaison du temps de persistance rétinienne.

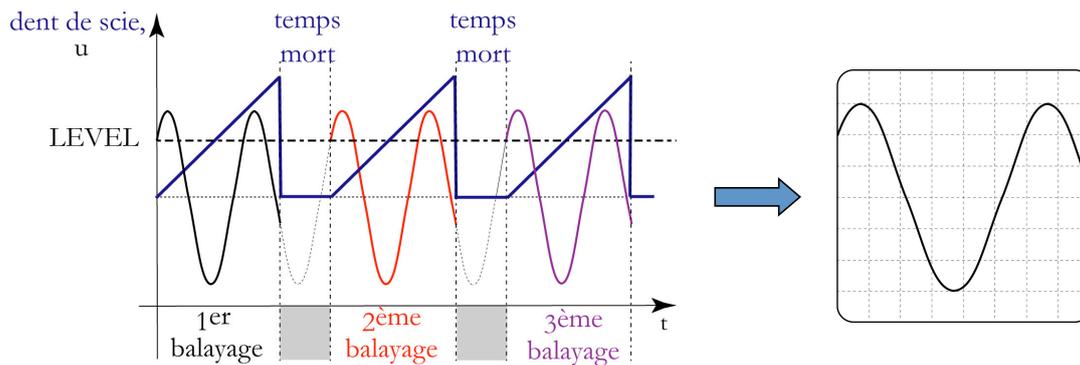


Le principe de la synchronisation du balayage consiste à mettre en attente le balayage jusqu'à ce que le signal passe par une valeur donnée prescrite par l'utilisateur, appelée *niveau de déclenchement* (LEVEL), avec un signe de pente imposé. Le schéma bloc du dispositif est le suivant :



On illustre ci-dessous le principe dans le cas d'un franchissement en pente montante.

4. Si les deux périodes sont dans un rapport rationnel irréductible $\frac{T}{T_0} = \frac{p}{q}$, on verra potentiellement q traces différentes pendant la durée pT . Si la durée pT est supérieure à celle de la persistance rétinienne (environ 0,1 s), on les traces s'effacent au fur et à mesure et on perçoit un effet de glissement saccadé ou continu.



Le *trigger* (*déclencheur*) est l'élément essentiel. Il y a toujours un sélecteur TRIG. SOURCE qui permet de choisir la voie par rapport à laquelle on synchronise (il y a deux voies et un seul balayage). On peut toutefois aussi synchroniser à partir d'une autre tension dite extérieure, qui doit avoir la même période que le signal étudié.

La synchronisation peut être en mode **automatique** ou **manuel** (ou **normal**) :

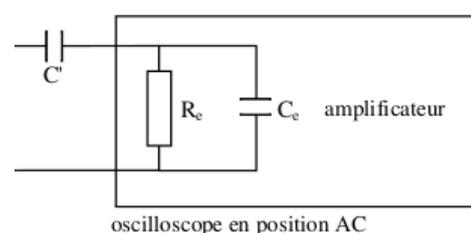
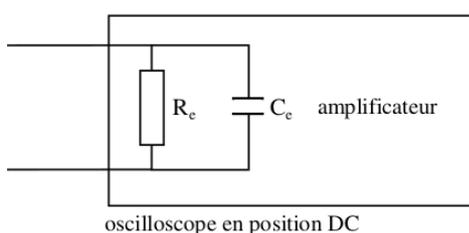
- Dans le cas automatique, si le niveau de déclenchement n'est jamais franchi par le signal de synchronisation, le balayage se déclenche tout de même périodiquement, ce qui permet de visualiser un signal bien que désynchronisé.
- Dans le cas manuel/normal, le balayage ne se déclenche pas tant que le signal de synchronisation n'a pas franchi le niveau de déclenchement. Par conséquent on ne verra pas le signal si ce niveau de déclenchement est situé en dehors de la plage de variation du signal de synchronisation. On ne verra donc rien sur l'écran⁵.

Par conséquent il est toujours préférable de travailler en mode Automatique pour ne pas perdre de vue le signal, notamment s'il est constant ou très peu variable. C'est notamment le cas lorsque l'on règle le zéro de la terre en mode GROUND (cf ci-dessous).

3. Sélecteur de couplage AC/DC/GD

Par construction, la plaque horizontale inférieure du tube cathodique est connectée à la terre (assimilée à la *masse* du circuit, de potentiel nul).

- En mode GROUND (GD ou GND), la plaque horizontale supérieure est aussi connectée à la terre, de telle sorte que la différence de potentiel mesurée est nécessairement nulle. Cela sert à ajuster la position du zéro sur une position de référence précise. Sauf besoin particulier, on le placera par défaut au milieu de l'écran.
- En mode DC (Direct Current) tout le signal est transmis directement sur les plaques par l'intermédiaire d'un amplificateur de gain réglable (sensibilité verticale), dont l'impédance d'entrée est modélisable par un dipôle $R_e // C_e$ de très grande résistance ($R_e \sim 1 \text{ M}\Omega$) et de très petite capacité ($C_e \sim 25 \text{ pF}$).
- En mode AC (Alternating Current), seule la partie variable est transmise et donc visualisée (on a retranché sa valeur moyenne). En effet dans ces conditions, le signal d'entrée est filtré grâce à une forte capacité C' intercalée en série, l'ensemble constituant alors un filtre passe-haut de faible fréquence de coupure (de l'ordre de 10 Hz). La composante continue se trouve éliminée. À noter, un signal de fréquence très basse (inférieure à ou de l'ordre de la dizaine de Hertz) peut donc être déformé en mode AC. Il convient donc d'**utiliser ce mode à bon escient**.



5. Si l'oscilloscope est numérique par contre, on verra une trace figée, qui correspond au dernier balayage déclenché.

ANNEXE 2 : Oscilloscope numérique

1. Principe

Le signal mesuré $u(t)$ est numérisé par un Convertisseur Analogique-Numérique (CAN) avant d'être visualisé sur l'écran. Cela consiste en 2 opérations distinctes :

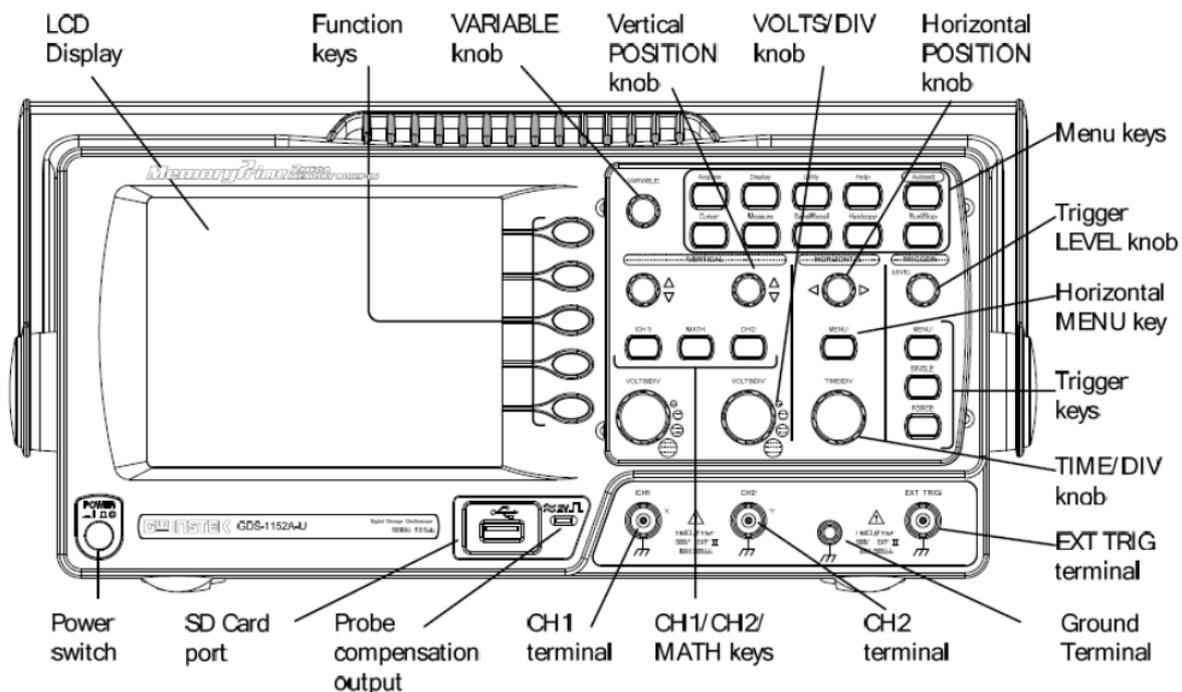
- l'**échantillonnage**, c'est-à-dire le prélèvement⁶ de valeurs instantanées $u(t_k)$ espacées régulièrement dans le temps d'une durée T_e appelée *période d'échantillonnage* ($t_k = t_{k-1} + T_e$) ;
- la **quantification**, c'est-à-dire l'approximation⁷ de $u(t_k)$ à une valeur de référence dans une série de 2^n valeurs équi-réparties (convertisseur à n bits⁸), valeur qui sera en générale ensuite convertie en binaire.

La qualité de la conversion A-N est fonction de :

- La résolution du CAN, qui dépend de la précision des différents composants et de la *profondeur mémoire*, c'est-à-dire le nombre de bits n utilisés pour stocker N ;
- La *fréquence d'échantillonnage* $f_e = \frac{1}{T_e}$ en Me/s ou Ge/s (Mégaéchantillon ou Gigaéchantillon par seconde), qui détermine la fréquence maximale représentable via le *critère de Shannon*.

La plupart des fonctions disponibles sur un oscilloscope analogique se retrouvent sur un oscilloscope numérique, bien que l'interface physique entre le signal à mesurer et le signal observé à l'écran soit totalement différente. L'accès à ces fonctions n'est par contre pas forcément intuitif (cf le Memory Prime ci-dessous) notamment à cause de la démultiplication des menus à la place de boutons dédiés.

2. Utilisation de l'oscilloscope MEMORY PRIME (Française d'Instrumentation)



6. Cela est réalisé par l'échantillonneur-bloqueur : un interrupteur fermé permet de charger rapidement une capacité à la valeur $u(t_k)$, puis il est ouvert de sorte à figer la valeur de l'échantillon pendant la phase suivante de quantification.

7. Il existe différentes techniques pour ce faire, selon les contraintes de rapidité, de précision et de coût. Le CAN à *simple rampe*, qui est le plus simple mais le moins fiable, permet de comprendre le principe de la numérisation : Le convertisseur crée une succession de rampes de tension $V(t) = A(t - t_k) + V_0$ (par charge d'un condensateur), d'une durée T_e (période d'échantillonnage), et déclenche un compteur (c'est-à-dire un système électronique ajoutant une unité toutes les τ secondes et stockant le résultat en binaire) à l'instant $t = t_k$. Un comparateur arrête le compteur à la valeur N lorsque la tension $V(t)$ atteint la valeur $u(t_k)$ de la tension du signal échantillonné. La tension $u(t_k)$ se déduit de celle de N : $u(t_k) = A(N\tau - t_k) + V_0$.

8. On a couramment $n = 8$ bits, donc 256 valeurs possibles sur chaque calibre.

a. Menus

La sélection d'un menu fait apparaître des fonctions sur le côté droit de l'écran, qui sont activées par les touches de fonctions F1 (haut) à F5 (bas). Suivant les cas, on modifie les valeurs soit en appuyant à nouveau sur la touche de la fonction, soit en utilisant le bouton **variable** (**variable knob** sur le schéma).

CH1/CH2

Active la voie 1 ou la voie 2 (en appuyant sur la touche **CH1** ou **CH2**). Il apparaît diverses fonctions :

- F1 : sélection du mode de couplage (AC, DC, ground) ;
- F2 : inversion du signal ;
- F4 : choisir tension (ou courant si on a une sonde de courant...).

Attention : la touche **variable** modifie un coefficient multiplicateur sur l'indication du calibre qu'on ne modifie que si on utilise une sonde intermédiaire. Il faut bien vérifier que l'on a l'indication **x1**. Si on n'y prend pas garde l'indication du calibre indiquée sur l'écran est erronée.

- F3 et F5 : Par défaut, on choisira pour F3 : **BW limit OFF** et pour F5 : **Mettre à Terre**.

Sur chacune des voies, le calibre se modifie en tournant le bouton de sensibilité verticale (Volts/Div). Le positionnement du zéro se fait par l'intermédiaire du bouton de position verticale (**Vertical Position knob** sur le schéma).

Trigger (déclenchement de la base de temps) → touche MENU TRIGGER

La touche F1 permet de sélectionner le mode de déclenchement. Choisir le mode **FRONT** et non **PULSE** qui sert à détecter des impulsions vérifiant certaines contraintes. Dans le mode **FRONT**) :

- F2 sélectionne, par appuis successifs, la voie de déclenchement (CH1/CH2/Ext).
- F4 permet de choisir un déclenchement sur un front montant ou descendant.
- F5 sélectionne le mode de déclenchement **AUTO/NORMAL**.

Lorsqu'on perd la trace du signal, on a intérêt à choisir le déclenchement automatique pour la récupérer. Dans les deux cas, le déclenchement de la base de temps ne s'effectue correctement que si la tension de déclenchement (réglée par le bouton **TRIGGER LEVEL**) est dans l'intervalle balayé par le signal déclencheur. Sinon, dans le mode **AUTO**, la trace du signal est affichée mais non synchronisée et dans le mode **NORMAL**, la trace du signal est figée et reste telle quelle même si le signal est modifié !

En mode **AUTO**, l'indication **Auto** ●  **trigger** (en vert) apparaît en haut de l'écran.

En mode **NORMAL**, c'est l'indication **Trig'd** ●  qui apparaît, si la base de temps se déclenche, ou **Trig ?** ○  si la base de temps ne se déclenche pas ; il faut alors ajuster la tension de déclenchement par le bouton **LEVEL**.

Menu horizontal (Base de temps)

Le calibre de la base de temps se modifie en tournant le bouton **TIME/DIV**.

Le bouton **HORIZONTAL POSITION** permet de déplacer horizontalement la trace. La touche F1 (**HPos adj**)

permet de choisir un déplacement fin ou grossier (choisir **fin**). On passe en mode **XY** par la touche **MENU** et ensuite la touche F5 (**XY**). Appuyer sur F1 (**PRINCIPAL**) pour sortir du mode **XY**.

Cursor

Le bouton curseur fait apparaître 2 curseurs sur l'écran, et le menu qui va avec.

Les touches de fonction permettent de sélectionner le curseur (X_1 et X_2 pour les curseurs horizontaux et Y_1 et Y_2 pour les curseurs verticaux).

La touche **SOURCE** sélectionne la voie désirée.

On passe des curseurs **X** à **Y** par la touche F5 (**X ↔ Y**).

On sélectionne les curseurs 1 ou 2 respectivement par F2 et F3. Le déplacement des curseurs se fait au moyen du bouton **VARIABLE**.

Les résultats des mesures par curseur apparaissent dans les menus, F2 à F4 (voir les caractéristiques pour la précision des mesures).

Measure

Ce menu permet de nombreuses mesures. F3 affiche toutes les mesures possibles (sélectionnées avec le bouton variable).

Maths

Sélection d'opérations sur les signaux : addition, différence, multiplication et transformée de Fourier (FFT qui donne l'amplitude en dB et FFTrms (à utiliser) qui donne les amplitudes RMS en volts). Le résultat est donné par une courbe en rouge.

b. Touches utiles

Run/Stop Sur STOP la courbe est figée (comme une mise en mémoire HOLD sur l'oscilloscope HAMEG analogique-numérique).

AUTOSET Quand tout disparaît ou que rien ne va plus, AUTOSET est la touche miracle ! À utiliser avec modération tout de même car elle vous dispense de réfléchir... À éviter notamment si vous n'avez pas assimilé le fonctionnement de base de l'oscilloscope. Aucun intérêt en particulier si on souhaite observer un événement unique plutôt qu'un signal périodique.

c. Incertitudes

On observera qu'au fil du temps l'indication des mesures fluctue. Un oscilloscope n'est pas un instrument de mesure précis (la précision est de l'ordre de 5% à 10%).

Voici ce que donne le constructeur :

- Précision verticale : $\pm (3\% \times |\text{Lecture}| + 0,1 \text{ div} + 1 \text{ mV})$;
- Précision horizontale : $\pm 0,01\%$.

3. Utilisation de l'oscilloscope SPO (SIGLENT)

Cet oscilloscope est assez intuitif pour qui est habitué aux anciens oscilloscopes analogiques, à part que dans le bloc **Vertical**, les boutons **Position** et **Y** (Sensibilité verticale) sont permutés.

Attention : tous les boutons ronds (potentiomètres) ont aussi une fonction bouton-pression bien utile (**Select** en haut à gauche, remise à zéro, mode Var ou plutôt réglage **fine-coarse**, zoom temporel...).

ANNEXE 3 : Générateur de signaux numérique TRUE ARB (SIGLENT)**1. Forme d'onde, amplitude, fréquence et OFFSET.**

- L'écran est tactile, mais on n'est pas obligé de le toucher... il y a souvent un moyen de faire autrement.
- La forme d'onde se sélectionne avec la touche **Waveforms**.
- L'amplitude, la fréquence et la composante continue (OFFSET) se règlent en sélectionnant respectivement les touches **Amp**, **Freq** ou **Offset** et en réglant la valeur soit avec le clavier numérique suivi d'un appui sur la touche des unités correspondante (Hz/Vpp, kHz/Vrms ou MHz/dBm), suivi d'un appui sur **ENTER**, soit en utilisant la molette et les curseurs :



REMARQUE : Le sélecteur **OFFSET** permet d'ajouter une tension continue E_0 à la tension variable $u(t)$ sélectionnée. Si l'amplitude de la forme d'onde sélectionnée est nulle (en fait seule une valeur minimale non nulle est autorisée), on a alors un générateur purement continu. Attention, un offset trop fort conjointement à une amplitude trop importante peut conduire à une saturation.

2. Sorties

Les GBF ont en général une sortie standard (MAIN) correspondant à l'impédance de sortie de $50\ \Omega$, et une sortie SYNC (ou TTL). Le signal SYNC/TTL est un signal créneau d'amplitude fixe (souvent de 5 volts) ayant la même période que le signal délivré par la sortie standard.

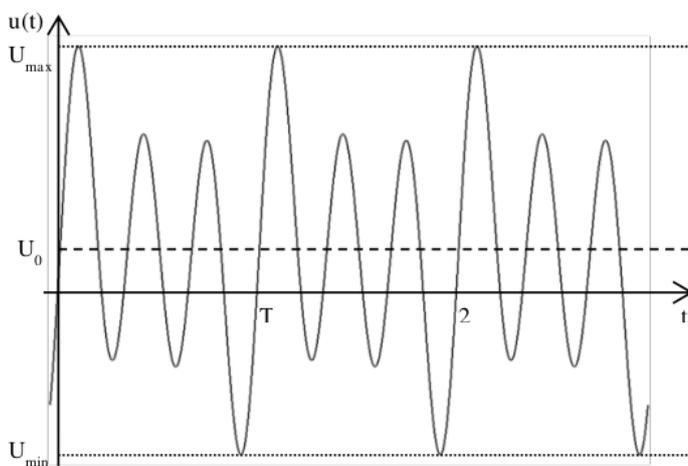
Dans le cas du GBF TRUE ARB (SIGLENT), il n'y a pas de sortie SYNC/TTL mais il y a deux sorties standard indépendantes, ce qui offre plus de possibilités.

Attention à bien appuyer sur la touche OUTPUT pour activer la sortie, car sinon le signal demandé n'est pas délivré.

Il existe un mode de simulation d'impédance, à éviter quand on ne sait pas s'en servir : vérifié qu'elle est réglée sur $50\ \Omega$.

ANNEXE 4 : Caractéristiques des signaux

1. Définitions



La figure représente une tension $u(t)$; la valeur crête est U_{\max} , l'amplitude crête à crête $U_{CC} = U_{\max} - U_{\min}$, la valeur moyenne U_0 .

- La **valeur moyenne**

$$\langle g \rangle = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} g(t) dt$$

où T est la période et t_0 un instant quelconque. La valeur moyenne d'une grandeur est aussi appelée **composante continue** de cette grandeur. **La valeur moyenne d'une tension sinusoïdale est nulle.**

On peut donc considérer que la tension $u(t)$ est la somme d'une composante continue U_0 et d'une composante alternative $u_a(t)$ dont la valeur moyenne est nulle :

$$u(t) = U_0 + u_a(t)$$

La courbe représentant la composante alternative en fonction du temps a la même allure que la courbe représentant la fonction elle-même, à cela près que l'axe des temps est translaté verticalement de U_0 .

- La **valeur efficace** U_{eff} (appelée également RMS pour « Root Mean Square », *valeur quadratique moyenne*) est définie par :

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u^2(t) dt}$$

Le carré de la valeur efficace est la valeur moyenne de $u^2(t)$.

D'autre part, si on décompose le signal en une composante continue U_0 et une composante alternative $u_a(t)$, on a :

$$U_{\text{eff}}^2 = U_0^2 + U_{a\text{eff}}^2 \quad \text{car} \quad \langle u_a(t) \rangle = 0.$$

- La **valeur crête** d'une grandeur périodique $g(t)$ est la valeur instantanée maximale G_{\max} de $g(t)$ au cours d'une période.
- L'amplitude **crête à crête** d'une grandeur périodique $g(t)$ est

$$G_{CC} = G_{\max} - G_{\min}$$

où G_{\max} et G_{\min} sont respectivement les valeurs instantanées maximale et minimale au cours d'une période.

Pour une grandeur sinusoïdale $G(t) = G_M \cos(\omega t)$, la valeur crête est l'amplitude G_M et la valeur crête à crête est $2G_M$.

2. Exemples

- **Signal sinusoïdal** : $u(t) = U_M \cos(\omega t + \varphi)$ donc

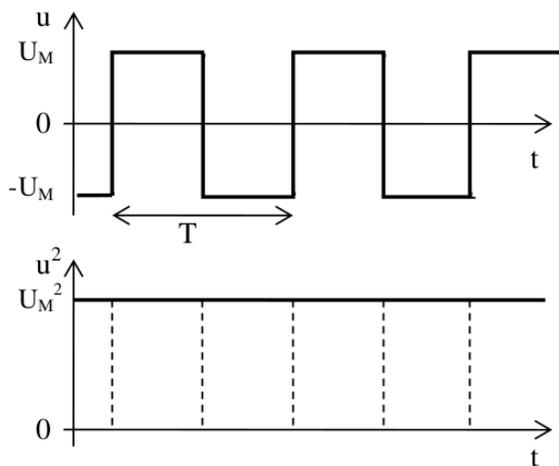
$$U_{\max} = -U_{\min} = U_M \quad , \quad U_{\text{eff}} = \frac{U_M}{\sqrt{2}} \quad \text{et} \quad U_0 = \langle u(t) \rangle = 0.$$

- **Signal carré/rectangulaire/créneau symétrique^a** :

$$U_{\max} = -U_{\min} = U_M$$

$$U_{\text{eff}} = U_M \quad \text{et} \quad U_0 = \langle u(t) \rangle = 0.$$

a. Symétrique : durées égales dans les phases supérieure et inférieure.

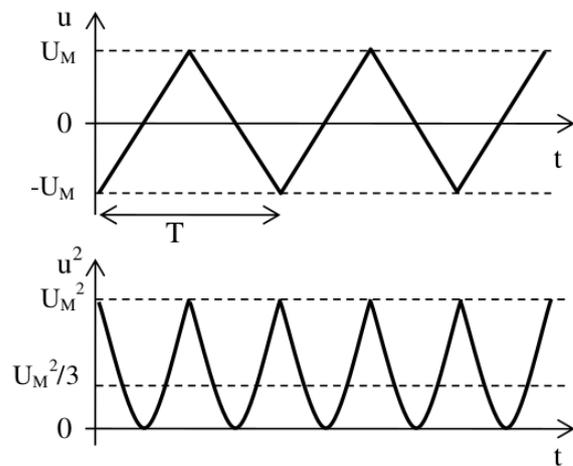


- **Signal triangulaire symétrique^a** :

$$U_{\max} = -U_{\min} = U_M$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_M}{\sqrt{3}} \quad \text{et} \quad U_0 = \langle u(t) \rangle = 0.$$

a. Symétrique : durées égales dans les phases montante et descendante.



ANNEXE 5 : Multimètres

On utilise principalement les appareils numériques.

1. Utilisation générale

Un multimètre (numérique ou analogique) permet de réaliser des **mesures précises** portant sur des signaux constants ou variables (tensions, intensités), mais pour lesquelles le temps de mesure est de l'ordre de la seconde. Ainsi, **un multimètre ne donne en pratique jamais accès au suivi temporel du signal en lui-même, mais à certaines de ses caractéristiques** via des mesures de moyennes (sauf si le signal a des variations très lentes sur des durées supérieures à la seconde). C'est donc un instrument complémentaire de l'oscilloscope. En outre, le multimètre numérique permet de mesurer autre chose que des tensions et des intensités.

- Fonctions du multimètre numérique : **Voltmètre, Ampèremètre, Ohmmètre, Capacimètre, testeur de diode...**
- Commencer par sélectionner la **fonction** (V pour une tension, A pour une intensité, Ω pour une résistance...) et la **gamme** (plutôt que le calibre, il existe 2 gammes de mesure pour les tensions et les courants).
- **ATTENTION : le branchement dépend de l'utilisation** (choix des bornes, et branchement en dérivation ou série), avec notamment deux voies pour les intensités selon leur valeur maximale, en lien avec le fusible de protection. Veiller à toujours réfléchir à l'ordre de grandeur attendu pour l'intensité avant de choisir le « petit calibre », c'est-à-dire la voie la plus sensible. La borne COM (commune) sert toujours. Les valeurs sont algébrisées en référence à cette borne.
- Il existe 2 modes Voltmètre : un mode généraliste (symbole *Continu* = ou *Continu et Alternatif* \simeq) qui donne accès à toutes les composantes du signal à l'aide des boutons de fonction juste en

dessous de l'écran (valeurs *moyenne*, *efficace alternative* et *efficace (vraie)*), et un mode dédié au RSF (symbole *Alternatif* \sim) avec des fonctionnalités spécifiques.

- En mode Ohmmètre, le dipôle testé doit être passif ou rendu passif (sources internes éteintes), car le multimètre génère alors un courant qui le traverse et doit être le seul pour que la mesure ait un sens.
- Le mode Capacimètre s'obtient avec le sélecteur en position Ohmmètre, mais en changeant le mode à l'aide des boutons fonction.

2. AC - DC

Même si les acronymes AC et DC font référence, comme pour l'oscilloscope, à la partition du signal en une composante continue (DC, valeur moyenne) et une composante variable (AC, de moyenne nulle), la signification est différente puisque le multimètre ne peut pas en général suivre le signal en temps réel comme c'est le cas pour l'oscilloscope.

- **Mode DC** : on lit la valeur moyenne (ou composante continue).
Contrairement au mode DC de l'oscilloscope, on n'a aucune information sur la partie variable du signal.
- **Mode AC** : la tension ou l'intensité lues sont la valeur *efficace alternative* $U_{a\text{eff}}$ (ou $I_{a\text{eff}}$) c'est-à-dire la valeur efficace du signal auquel on a retiré sa composante continue.
Si la valeur moyenne de la grandeur mesurée est nulle la valeur efficace alternative s'identifie à la valeur efficace.
- **Mode AC+DC ou TRMS** (sur la plupart des multimètres numériques) : la tension ou l'intensité lues sont la valeur *efficace (vraie)* (ou TRMS pour *True RMS*) U_{eff} (ou I_{eff})

Avec la plupart des multimètres disponibles, il est possible d'afficher simultanément au moins 2 valeurs parmi DC, AC et AC+DC. D'après ce qui a été rappelé en ANNEXE 4, on a donc la relation

$$U_{\text{AC+DC}}^2 = U_{\text{DC}}^2 + U_{\text{AC}}^2$$

3. Incertitudes

a. Multimètres numériques

L'incertitude est donnée sur l'appareil ou sur la notice. En alternatif elle dépend de la gamme de fréquence utilisée. Elle est généralement meilleure en continu.

Exemple : Tension mesurée avec un Fluke.

- DC : 0,03% L + 2 digits ;
- AC entre 45 Hz et 10 kHz : 0,5% L + 10 digits ;

où L est la valeur lue sur l'écran. La précision est donnée à condition que la mesure soit au moins égale à 5% de la gamme. On veillera donc à ce que la valeur à mesurer soit la plus proche possible du maximum de la gamme.

Exemple : Tension mesurée avec un HAMMEG 8011-3.

- DC : 0,05% L + 0,05% G (pour G de 2V à 1000 V) ;
- AC entre 20 Hz et 20 kHz : 0,5% L + 1% G (pour G de 0,2V à 20 V) ;

où L est la valeur lue sur l'écran et G la gamme.

b. Multimètres analogiques

L'incertitude *de construction* (ou *d'appareil*) est donné au moyen de la classe C : $u_{\text{app}}(U) = \frac{C}{100} \times \text{calibre}$. Pour obtenir l'incertitude $u(U)$, il faut ajouter l'incertitude de lecture :

$$u(U) = u_{\text{app}}(U) + u_{\text{lec}}(U) \quad \text{ou de façon moins pessimiste} \quad u(U) = \sqrt{u_{\text{app}}(U)^2 + u_{\text{lec}}(U)^2}.$$