

REVISIONS INSTRUMENTATION ELECTRIQUE (GBF, oscilloscope, multimètres)

Objectifs :

- Revoir le fonctionnement et le maniement d'un oscilloscope et d'un GBF.
- Revoir le maniement d'un multimètre numérique et ses différentes fonctions (voltmètre, ampèremètre, ohmètre, capacitèmetre) selon l'information recherchée.
- Réfléchir à l'incertitude type associée à chaque mesure

Remarque : il est conseillé d'avoir lu les annexes dans leur ensemble avant de se lancer dans les manipulations et de s'y référer quand nécessaire.

A. Manipulations sur l'oscilloscope.

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 ? Pour cela il faut activer les deux voies et sur le menu de synchronisation choisir la voie 2...ou la voie 1.
- 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 automatique et visualiser également le signal TTL (ou Sync Out) sur la voie 2.
- Synchroniser sur la voie 2. Rétablir la synchronisation en utilisant le signal TTL et la synchronisation extérieure (trig ext).

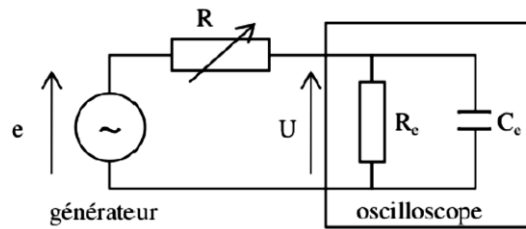
Manip 2 : OFFSET

- 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 ; comparer les résultats avec les intervalles de confiance. De même mesurer l'amplitude à l'oscilloscope et au multimètre, puis comparer les résultats.
-

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

Principe : toute mesure de résistance (entrée, sortie...) se fait au moyen d'un 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 (voir annexe). Le schéma de principe du montage à effectuer est le suivant (R est une résistance variable) :



Manip 3 : impédance d'entrée en mode DC

- A basse fréquence (100 Hz maximum), $R_e // C_e$ se réduit à R_e (on pourra postérieurement vérifier que l'approximation est valable). 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 $R = R_e$.
- Proposer une méthode permettant de déduire R_e et C_e .
- 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 ? Pour expliquer la différence, mesurez la capacité du câble à l'aide du multimètre.

Manip 4 : Effet du mode AC en basse fréquence.

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 (voir annexe).

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

3. Etude 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 1kHz environ.

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 préciser les incertitudes $u(U_C)$, $u(U_R)$ et $u(U)$. Pour chacune des mesures, préciser le montage réalisé (attention à la masse).
- Quelle relation doit les relier les tensions ? Le vérifier en tenant compte des incertitudes. Pour cela on évaluera les incertitudes non évidentes par une simulation Monte Carlo via un script en python.

Manip 6 : mesure de déphasage.

- Il faut préalablement s'assurer que les deux courbes sinusoïdales sont bien centrées (les centrer avec ground).

On mesure les écarts en temps au moyen des curseurs pour en déduire le déphasage. On rappelle qu'il faut repérer deux dates t_1 et t_2 pour lesquelles u_1 et u_2 passent par zéro avec le même signe de pente. Ces deux passages par zéro seront choisis successifs, c'est-à-dire séparés par moins d'une demi période.

- Mesurer le déphasage φ_R (valeur en degrés entre -180° et 180°) et son incertitude entre la tension aux bornes de R et de l'ensemble. Vérifier la cohérence avec les mesures précédentes.

- Peut-on mesurer le déphasage entre les tensions aux bornes de R et de C ? Préciser si cela est possible directement ou indirectement.

B. Manipulations sur le générateur et le multimètre.

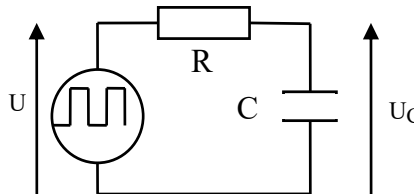
1. Comparaison Oscilloscope-Multimètre.

Manip 7 : mesures de tensions.

- Générer un signal sinusoïdal d'amplitude crête à crête 4V et de période 1ms. Observer à l'oscilloscope.
- Mesurer l'amplitude U_m du signal, en déduire sa valeur efficace et préciser son incertitude-type. Comment doit-être réglé l'oscilloscope pour avoir la mesure la plus précise possible ?
- Mesurer la valeur efficace avec un multimètre et évaluer son incertitude-type.
- Comparer les deux mesures
- Reprendre les mesures pour f de l'ordre de 100 Hz, 100 kHz, 1MHz. Conclure.

Manip 8 : charges et décharges dans un circuit RC.

- Réaliser un circuit RC série qui sera branché aux bornes du générateur. On prendra dans un premier temps $R = 4\text{ k}\Omega$ et $C = 0,1\text{ }\mu\text{F}$. Observer sur l'oscilloscope la tension aux bornes du générateur (voie 1) et la tension aux bornes de C (voie 2) en régime permanent.
- Comment procède-t-on ? Quelle contrainte porte sur la période afin d'observer les charges et décharges complètes ?

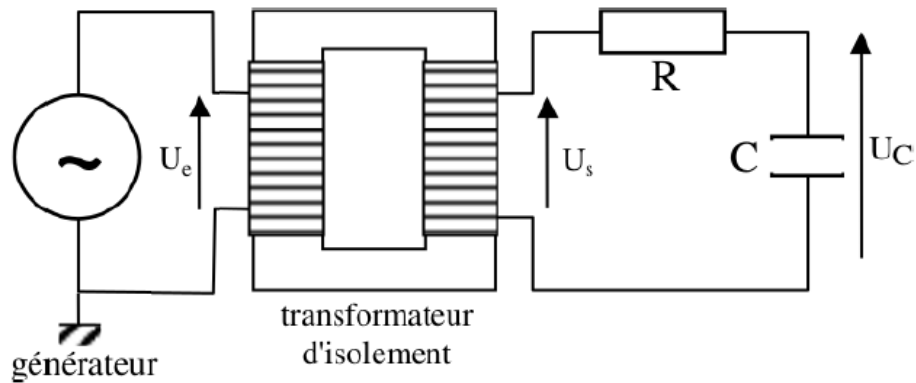


- Refaire l'expérience avec les valeurs suivantes : $R = 40\text{ k}\Omega$ et $C = 0,01\text{ }\mu\text{F}$, puis $R = 400\text{ }\Omega$ et $C = 1\text{ }\mu\text{F}$. Commenter.

2. Utilisation d'un transformateur d'isolement.

Sur le circuit précédent on cherche à observer simultanément U_R et U_C à l'oscilloscope. Expliquer qu'il y a nécessairement un conflit de masse.

Afin de ne pas mettre un élément en court-circuit, il faut que les deux bornes du générateur soit indépendantes de la masse. Pour cela on utilise un transformateur d'isolement. Constitué de deux bobinages indépendants (le primaire et le secondaire), il restitue aux bornes du secondaire la tension appliquée au primaire mais sans référence à la terre (donc à une masse) :



Manip 10 : montage avec transformateur d'isolement

- Réaliser le montage et vérifier que les deux tensions (U_R et U_C) sont en quadrature. Comment le voit-on en XY ?

C. Manipulations sur les diodes.

Manipulation 11 : observation d'une caractéristique statique.

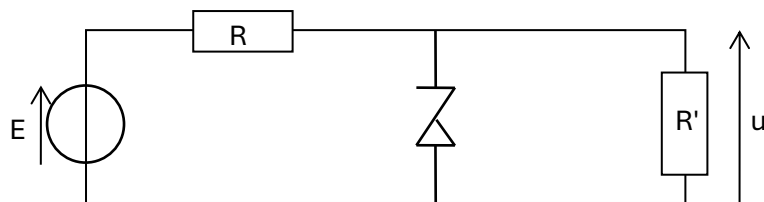
- Réaliser le montage série générateur, résistance $R = 500 \Omega$ et diode. Afin d'observer simultanément sur l'oscilloscope les tensions aux bornes de R et de la diode on utilisera un transformateur d'isolement.
- L'alimentation est sinusoïdale. Choisir une fréquence suffisamment basse pour que l'on puisse considérer que la diode suit sa caractéristique statique.
- En choisissant judicieusement vos tensions, passer en mode X-Y et faire apparaître la caractéristique statique ($i-U$) de la diode. Evaluer sa tension seuil.

Manipulation 12 : lissage par filtre 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 (ne pas oublier les incertitudes).

Manipulation 13 : diode Zener.

- Observer la caractéristique de la diode Zener placée en polarisation inverse.
- Réaliser le montage suivant (E est constante, voir annexe sur le générateur pour sa réalisation) et mesurer u :



- Faire varier R' , que se passe-t-il ? Cela est-il conforme aux attentes, y compris quantitativement ?

Annexes

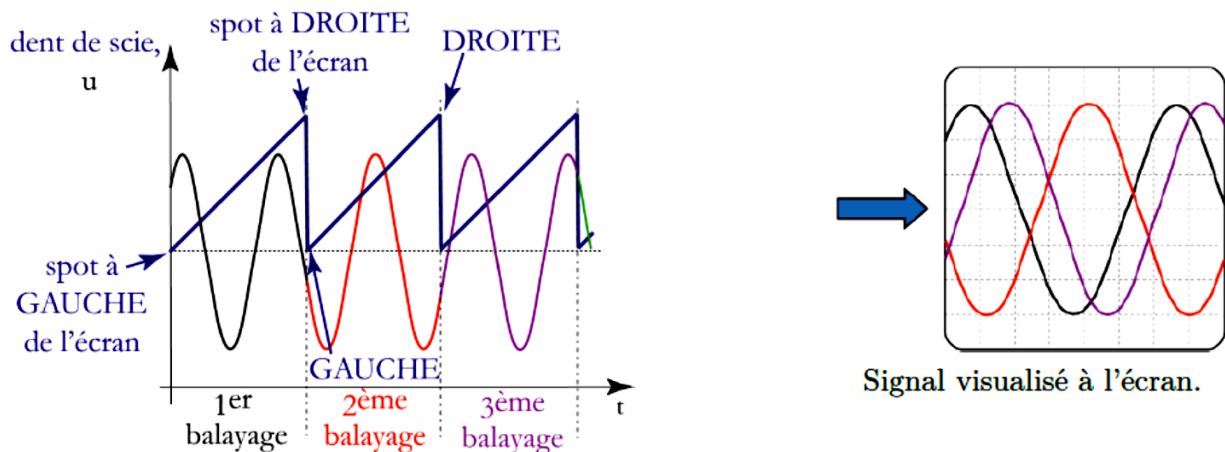
Les instruments de base en électrocinétique.

Annexe 1 : Oscilloscope.

1. Synchronisation.

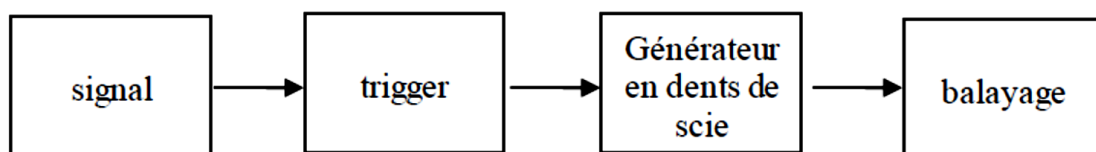
Dans un oscilloscope analogique, la trace sur l'écran correspond au point d'impact d'un faisceau d'électrons sur un écran fluorescent. Les électrons sont émis continuellement par une électrode et sont déviés d'une part par un champ électrique horizontal de manière à balayer l'écran de gauche à droite de manière périodique (balayage de période T_0) et d'autre part par un champ électrique vertical dû à une tension qui celle mesurée par la voie choisie et que l'on suppose de période T . Les champs électriques sont produits par deux jeux de plaques (un jeu horizontal et un jeu vertical) entre lesquelles sont appliquées différentes tensions.

La courbe obtenue sur l'écran est alors une courbe paramétrée telle que $x(t)$ est une fonction en dent de scie ($x(t)$ proportionnel à t par intervalle) et $y(t) = u(t)$. Pour comprendre simplement le problème de synchronisation nous supposons $y(t)$ sinusoïdale de période T . Si T n'est pas exactement un sous-multiple de T_0 (id est $T_0 = nT$ où n est un entier), le signal visualisé à l'écran donne l'impression de glisser continuellement et n'est pas stable.



Comme T peut avoir n'importe quelle valeur il est nécessaire de recourir à un stratagème pour synchroniser les signaux envoyés respectivement sur l'axe horizontal et sur l'axe vertical. L'idée est de mettre en attente le balayage horizontal jusqu'à ce que le signal passe par une valeur donnée avec un signe de pente donné (on choisit un niveau de déclenchement, LEVEL). C'est ce que permet le menu TRIGGER.

Le schéma bloc du dispositif est :

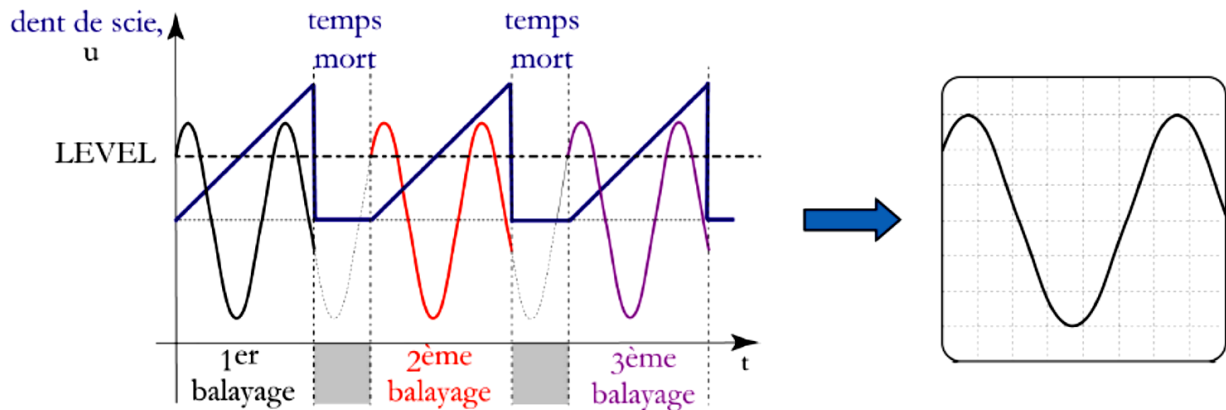


Dans le menu TRIGGER on sélectionne la voie sur laquelle on se synchronise (SOURCE). Il est possible de se synchroniser sur une tension dite extérieure qui doit avoir la même période que le signal mesuré.

La synchronisation peut être en mode automatique ou en mode manuel (on lit aussi normal).

- Dans le cas automatique, si le niveau de déclenchement n'est jamais franchi par le signal source, le balayage se déclenchera tout de même et on observera un signal désynchronisé à l'écran.
- Dans le mode manuel/normal, le balayage ne se déclenche pas tant que le signal de synchronisation n'a pas franchi le niveau de déclenchement. En conséquence aucun signal ne sera observable à l'écran si le niveau de déclenchement est situé en dehors de l'intervalle des valeurs pris par le signal de synchronisation. Il est donc préférable de travailler en mode automatique.

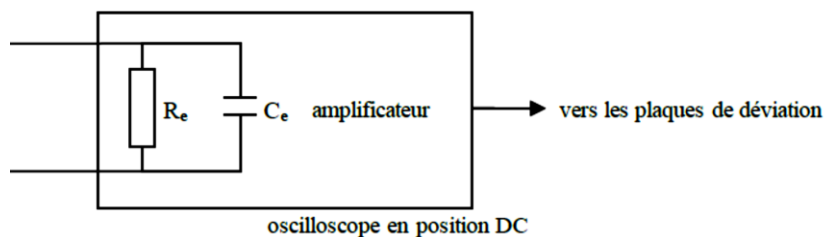
On donne ci-dessous le principe de la synchronisation par le choix d'une valeur donnée avec une pente positive :



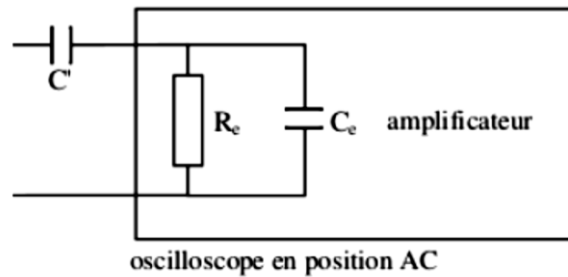
2. Les différents modes AC/DC/GD sur les voies CH1 et CH2.

En mode GD (Ground), les deux plaques horizontales qui par leur différence de potentiel génèrent le champ électrique vertical sont reliées à la terre. La différence de potentiel est nulle et une trace horizontale est visible sur l'écran. Cela est utile pour ajuster sur l'écran la position du zéro. On le place en général au centre.

En mode DC (Direct Current) tout le signal mesuré par la voie choisie est transmis aux plaques verticales via un amplificateur de gain réglable (sensibilité verticale) dont l'impédance d'entrée est modélisable par un dipôle R_e/C_e avec R_e de l'ordre du $M\Omega$ et C_e valant 25 pF environ. On remarque que cela constitue une résistance d'entrée particulièrement grande ce qui est cohérent avec un appareil de mesure que l'on place en dérivation pour mesurer une tension.



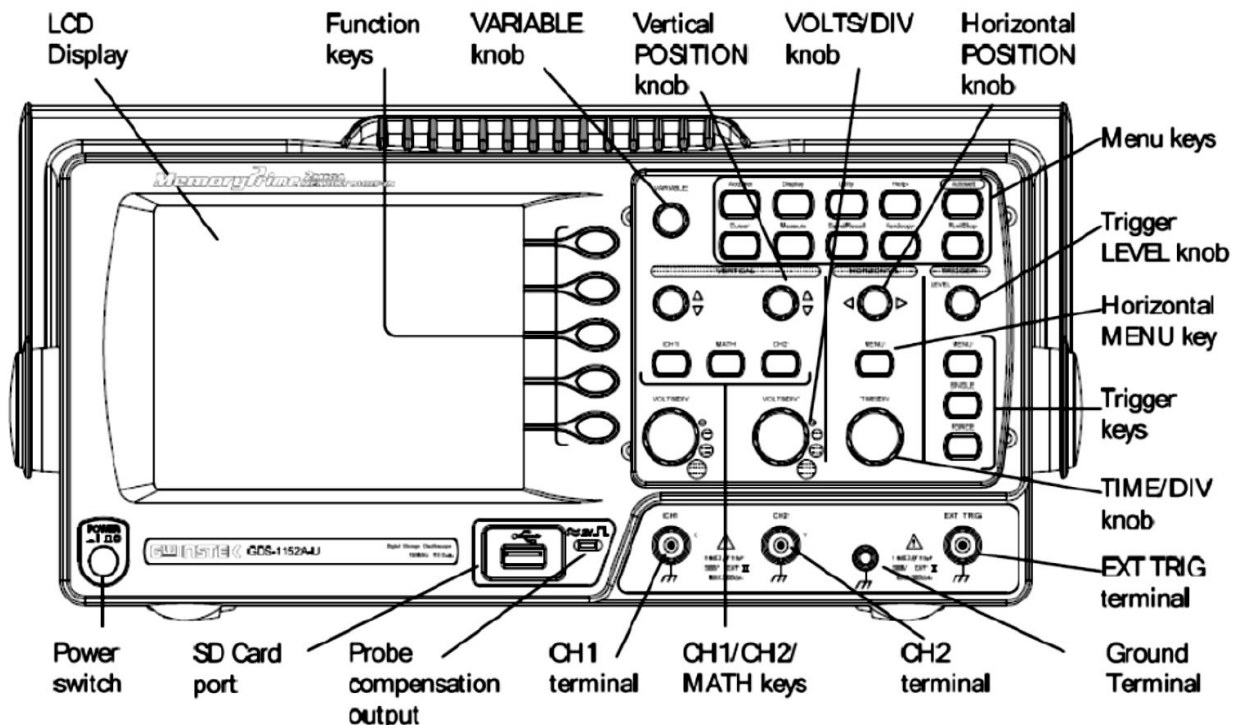
En mode AC (Alternating Current), le signal est filtré par un filtre passe-haut du premier ordre de faible fréquence de coupure (de l'ordre de 10 Hz) car on place en série avec le dipôle précédent un condensateur de capacité C' de 10 nF environ.



Compte tenu de la faible valeur de la fréquence de coupure on peut considérer que le mode AC permet de visualiser la partie variable de la tension mesurée en supprimant de fait la composante continue de cette dernière. Néanmoins si la tension mesurée a une fréquence fondamentale trop basse on observera une tension déformée. IL faut donc utiliser ce mode à bon escient.

3. Oscilloscope MEMORY PRIME.

Ci-dessous un rappel des différentes fonctions sur le panneau frontal.



a) Quelques menus.

La sélection d'un menu fait apparaître des fonctions sur le côté droit de l'écran, qui sont alors activées par les touches de fonctions (*Function Keys*) F1 à F5 (de haut en bas).

En particulier pour les voies CH1/CH2 :

- F1 : sélectionne le mode de couplage (AC, DC, GD)
- F2 permet d'inverser le signal (comprendre on visualise le signal opposé)

La sensibilité verticale est ajustable en tournant le bouton *VOLT/DIV knob*.

Le positionnement du zéro se fait en tournant le bouton *vertical POSITION knob*.

Synchronisation : touche *Menu Trigger*

- F1 sélectionne le mode de déclenchement, on choisira FRONT
- F2 permet de sélectionner la voie de déclenchement (CH1/CH2/EXT)
- F4 sélectionne le signe de la pente du pont de déclenchement (front montant ou descendant)
- F5 sélectionne le mode de déclenchement AUTO/NORMAL (voir paragraphe sur la synchronisation)

Bouton *Cursor* :

Le bouton curseur fait apparaître deux curseurs sur l'écran qui permettent des mesures d'amplitude (curseurs horizontaux X1 et X2) ou de durée (curseurs verticaux Y1 et Y2). On passe d'un jeu à l'autre par la touche F5. La touche SOURCE sélectionne la voie sur laquelle on souhaite procéder à des mesures.

On sélectionne le curseur 1 ou 2 par F2 et F3. Le déplacement des curseurs se fait au moyen du bouton VARIABLE. Les résultats des mesures se lisent dans les menus F2 à F4.

AUTOSET: le bouton « miracle » quand tout disparaît ou que rien ne va plus. A utiliser avec beaucoup de modération : d'une part il vous empêche de réfléchir et d'identifier le problème, d'autre part il amène des préréglages qui ne sont pas forcément ceux que l'on souhaite (il choisit par exemple systématiquement CH1 comme voie de synchronisation).

b) Incertitudes de mesure.

L'indication d'une mesure sur l'oscilloscope fluctue au cours du temps. L'oscilloscope n'est pas un instrument de mesure précis mais il mesure dans les conditions que VOUS lui imposez, si elles sont mauvaises la mesure sera très imprécise. Par exemple une mesure d'amplitude crête à crête d'un signal sera d'autant plus mauvaise que la sensibilité verticale choisie est grande).

Le constructeur indique :

- Précision verticale : $3\% \times [\text{lecture}] + 0,1 \text{ div} + 1 \text{ mV}$
- Précision horizontale : $0,01 \% \times [\text{lecture}]$

On rappelle qu'une fois connue la précision $\Delta(m)$ d'une mesure m , son incertitude type associée $u(m)$ est donnée par $u(m) = \frac{\Delta(m)}{\sqrt{3}}$ (cette relation suppose que la variable aléatoire associée est distribuée uniformément sur un intervalle $[m-\Delta, m+\Delta]$).

Annexe 2 : Générateur de signaux.

1. Description sommaire.

Le GBF permet de générer des tensions périodiques de forme diverses. La forme 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*. La valeur numérique se règle soit avec le clavier numérique soit par appui sur la touche des unités correspondantes suivi de ENTER, soit en utilisant la molette et les curseurs associées.

2. OFFSET.

Le sélecteur OFFSET ajoute une tension continue à la tension variable $u(t)$. Si aucune forme n'est sélectionnée, on a alors un générateur purement continu.

Attention cependant, un OFFSET trop important conjointement à une amplitude signal variable trop forte entraîne une saturation du signal.

3. Sorties du GBF.

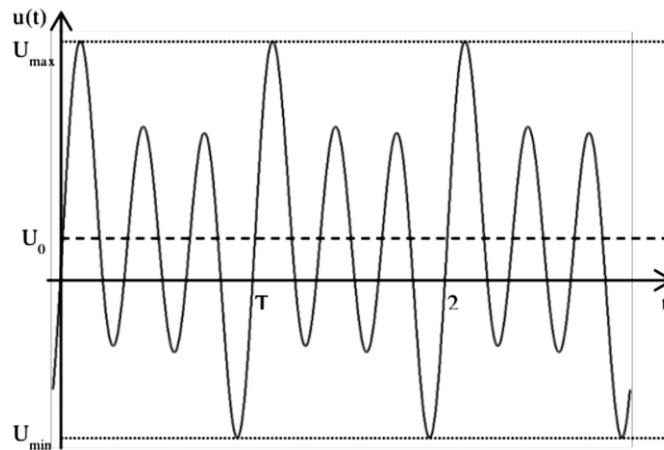
La sortie OUTPUT correspond au signal dont on a fixé les caractéristiques.

La sortie TTL située juste à côté (ou derrière l'appareil) génère un signal créneau d'amplitude fixe (généralement 5 V) ayant la même période que le signal délivré par la sortie standard OUTPUT.

Annexe 3 : caractéristiques de signaux

On raisonne sur des tensions périodiques mais tous les résultats se généralisent à tout signal périodique en temps.

Considérons une tension $u(t)$ périodique de période T comme ci-dessous :



- On appelle **valeur crête** la valeur maximale de $u(t)$ sur une période soit ici $U_{\max}$.
- On appelle **valeur crête à crête** $U_{cc} = U_{\max} - U_{\min}$ où $U_{\min}$ désigne la valeur minimale atteinte sur une période. U_{cc} est une grandeur mesurable par un oscilloscope.

Dans le cas particulier d'une tension sinusoïdale d'amplitude U_m , on a immédiatement

$$U_{cc} = 2 U_m.$$

- **La valeur moyenne** de u est donnée par : $\langle u \rangle = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt$ où t_0 est un instant quelconque (on choisit $t_0 = 0$ habituellement).
La valeur moyenne d'une tension sinusoïdale est nulle.
La valeur moyenne désigne aussi la composante continue de u . en notant U_0 la valeur moyenne de U on peut toujours écrire : $u(t) = U_0 + u_a(t)$ où u_a désigne la composante alternative (ou dépendant du temps) de u . Par construction u_a est de valeur moyenne nulle.
- **La valeur efficace** U_{eff} (appelée aussi valeur quadratique moyenne ou Root Mean Square, RMS) est donnée par : $U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$.

On remarque que l'on a la relation : $U_{eff}^2 = U_0^2 + U_{aef}^2$.

Annexe 4 : Multimètres.

1. Utilisation.

Ce type d'appareil permet de réaliser des mesures précises.

On sélectionne la fonction (V pour voltmètre, A pour Ampèremètre...). Le branchement s'effectue en dérivation ou en série selon le type de grandeur à mesurer.

On sélectionne alors la gamme. Il ne s'agit pas d'un calibre (la lecture est directe), mais de la valeur maximale mesurable. Il existe deux gammes pour les tensions et les intensités. La valeur est lue directement avec l'unité de la grandeur sélectionnée.

Un multimètre ne donne pas accès au suivi temporel d'une grandeur (contrairement à l'oscilloscope) mais permet de remonter à certaines caractéristiques du signal.

2. Mode AC/DC/AC+DC.

Bien que les acronymes aient la même signification que pour l'oscilloscope le choix du mode au multimètre conditionne autrement la grandeur mesurée.

- Mode DC (symbole =) : on lit la valeur moyenne (ou composante continue). Il n'y a donc aucune information sur la partie variable du signal.
- Mode AC (symbole ~) : on lit la valeur efficace de la partie variable du signal (voir annexe sur les caractéristiques des signaux). Autrement dit on lit la valeur efficace du signal auquel on a retiré sa composante continue.
- Mode AC+ DC (ou TRMS) : signifie True Root Mean Square, on mesure la valeur efficace du signal complet.

Il y a toujours au moins deux modes accessibles sur un multimètre numérique ce qui donne accès aux 3 valeurs possibles dans la mesure où : $U_{AC+DC}^2 = U_{DC}^2 + U_{AC}^2$.

3. Précision d'une mesure.

La précision de l'appareil est indiquée sur la notice ou parfois sur l'appareil. En alternatif elle dépend de la gamme utilisée. Elle est généralement meilleure en continu.

Exemple 1 : tension mesurée avec un FLUKE

- DC : 0,03 % de la lecture + 2 digits
- AC : entre 45 Hz et 10 kHz : 0,5 % de la lecture + 10 digits

La précision donnée est valable 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 2 : tension mesurée avec un Hammeg 8011-3

- DC : 0,005 % de la lecture + 0,005 % G (où G est la gamme de 2V à 1000 V).
- AC : entre 20 Hz et 20 kHz : 0,5 % de la lecture + 1%G

Extrait d'un rapport du jury de l'épreuve de TP du concours Centrale (les remarques sont les mêmes d'une année sur l'autre et se retrouvent d'un concours à l'autre...)

L'oscilloscope numérique est souvent employé comme instrument à tout mesurer (à la place du voltmètre par exemple). Nombre de candidats en attendent des fonctions évoluées (calcul de valeur crête, de valeur moyenne...) mais manquent d'esprit critique quant aux résultats obtenus (par exemple dans le cas d'échelles horizontales et/ou verticales inadaptées) et la synchronisation reste parfois mal connue ou mal maîtrisée. Beaucoup de candidats attendent que l'appareil fournisse une mesure directe des déphasages et ne pensent pas toujours à utiliser les marqueurs temporels lorsque cette fonction n'est pas disponible.

Pour le multimètre et l'oscilloscope, le jury relève encore parfois des erreurs de choix entre les positions AC et DC, des erreurs de branchement (ampèremètre en parallèle, voltmètre en série...) et de compréhension de la notion de calibre.

Malgré les notices simplifiées fournies aux candidats pour les oscilloscopes, beaucoup d'entre eux font des erreurs de mesure par mauvaise configuration. Le bouton de configuration automatique des oscilloscopes (« autoset ») est à utiliser avec une grande précaution car il modifie de nombreux paramètres.

On note toujours également des erreurs de masse (non-raccordement ou raccordement en deux endroits différents, entrée non branchée à la masse alors qu'on demande d'appliquer un potentiel de 0 V), la non-vérification du fonctionnement linéaire d'un montage (choix de signaux d'amplitude inadaptée), la confusion entre fréquence et pulsation, entre tension crête et tension crête-à-crête.

L'étude de la fonction de transfert d'une boîte noire avec deux bornes marquées *entrée* et deux bornes marquées *sortie* pose souvent des problèmes de branchement. En cas de doute, le candidat ne doit pas hésiter à demander confirmation à l'examineur.

Peu de candidats parlent des erreurs liées au principe physique utilisé par l'instrument, de la précision de mesure de l'appareil, des erreurs systématiques et subjectives, de la notion de résolution... Beaucoup de candidats ne savent pas donner la précision de lecture d'un appareil : par exemple, une tension lue sur un voltmètre analogique ou un angle lu sur un goniomètre ont une précision donnée par les graduations. Lorsqu'un calcul d'incertitude est demandé, on voit un peu de tout (somme des incertitudes relatives, racine carrée de la somme des carrés des incertitudes relatives...) parfois accompagné d'un coefficient, indépendamment du nombre de variables ; certains candidats ne semblent pas surpris d'obtenir une incertitude très inférieure à celle des composants ou de l'appareil de mesure.