

# TECHNIQUES DE MESURES AVEC MULTIMETRES ET OSCILLOSCOPES

## le b.a-ba

Ph Dondon © Copyright

### Mise sous tension du montage avant le test

Avant de commence les mesures il faut alimenter le circuit....Eh oui ! bien souvent des causes d'ennui pour les étudiants...

Dans le cas d'une alimentation mono tension, 0-10V par exemple, le circuit doit être raccordé de la façon suivante :

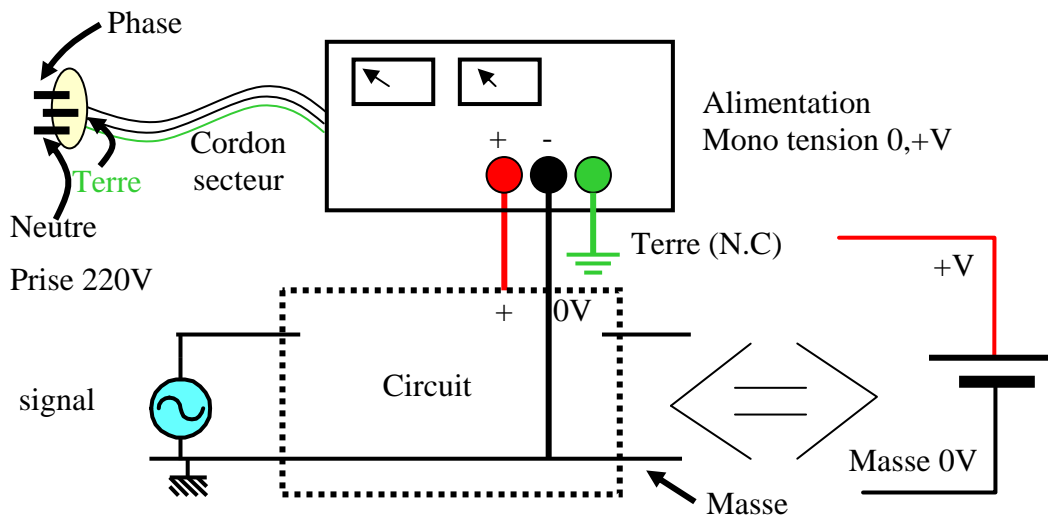


Figure 1 : Alimentation mono tension

Trop souvent, les élèves confondent « terre » et « masse ».

La « masse » est la référence du circuit, ce que l'on appelle aussi le 0 V. La borne « terre », elle, est reliée par l'installation électrique à la terre (au sens propre du terme) et aux châssis des appareils. Il s'agit d'une protection pour les personnes et n'est pas forcément relié à la masse. La tension d'alimentation apparaît donc entre les bornes + et - , la borne « terre » pouvant être ou non, connectée.

Dans le cas d'une alimentation bi-tension positive, négative (-5 V, 0 V, +5 V par exemple), on placera 2 alimentations en série comme indiqué ci-après. Le point milieu correspondant au 0V.

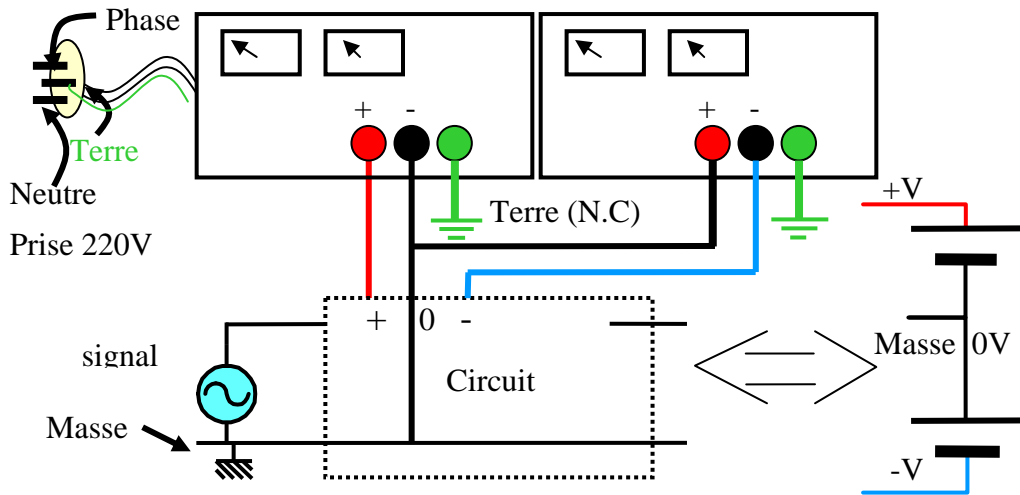


Figure 2: Alimentation bi-tension

## Mesure avec un multimètre

La mesure au multimètre est une mesure statique ou très basse fréquence : elle est donc utilisée essentiellement pour vérifier les points de repos d'un circuit. Un multimètre possède, en général, quatre modes de fonctionnement : voltmètre, ampèremètre, diode-mètre, ohm-mètre.

### 1. Mesure en position ohm-mètre

**Attention** : le composant à mesurer doit être isolé du reste du montage, au risque de mesurer autre chose que sa valeur....

Principe de mesure : L'appareil de mesure envoie dans la résistance à mesurer un courant constant  $I$ , parfaitement calibré (cf. spécifications de l'appareil) et il mesure la tension  $V$  qui apparaît aux bornes du dipôle mesuré. Le rapport  $V/I$  est calculé et affiché.

Pour mesurer une résistance, on peut pratiquer de deux façons :

#### 1.1.1 Mesure deux fils

Cette mesure fournit une réponse rapide et correcte dans la majorité des cas. La connexion entre la résistance à mesurer et l'appareil se fait par deux fils simples.

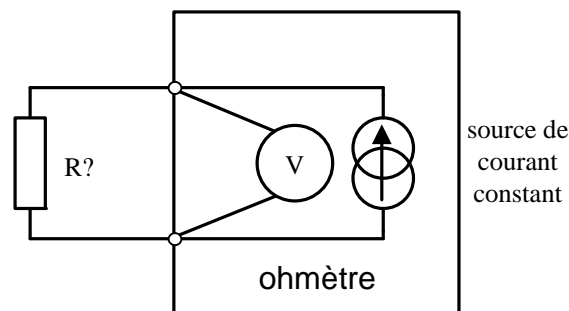


Figure 3 : Mesure 2 fils

### 1.1.2 Mesure quatre fils

La résistance à mesurer est connectée à l'appareil par 4 fils comme indiqué sur la figure 10 ci-après. La tension est mesurée au plus près de la résistance : on s'affranchit ainsi de la résistance parasite des fils, ce qui n'était pas le cas en mesure 2 fils.

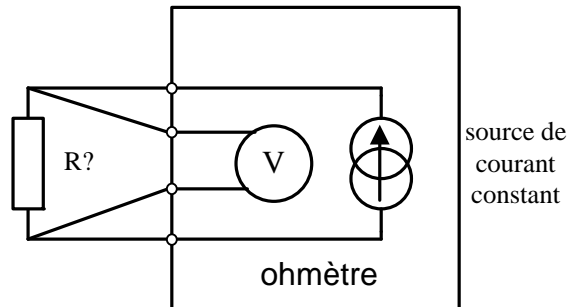


Figure 4 : Mesure 4 fils

La mesure 4 fils se justifie lorsque l'on mesure des résistances de faibles valeurs (quelques ohms). Elle est donc plus précise que la mesure 2 fils, au prix de l'utilisation de 4 cordons de test au lieu de deux.

### 1.2 Mesure en position diode-mètre $\text{—} \overleftarrow{\text{—}}$

Cette mesure permet de vérifier au premier ordre le bon état d'une diode.

Principe de mesure : l'appareil de mesure envoie dans la diode à mesurer un courant constant  $I$ , parfaitement calibré (cf. spécifications de l'appareil). En direct, la tension mesurée vaudra selon la diode 0,3 V ; 0,6 V ou 1,2 V ; 1,6 V. En inverse, la diode est bloquée et on verra sur l'afficheur des tirets ou des blancs.

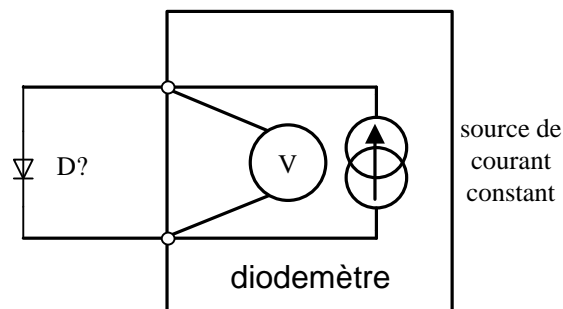


Figure 5 : Vérification de diodes

Par extension, on peut vérifier l'état d'un transistor bipolaire en observant les jonctions base-collecteur, base-emetteur dans les deux sens mais aussi la tension collecteur-emetteur dans les deux sens.

### 1.3 Mesure en position ampèremètre

Rappelons que le multimètre mesure essentiellement des grandeurs continues. Il est utilisable en ampèremètre pour mesurer la consommation d'un circuit sur l'alimentation par exemple. Dans ce cas, il est inséré en série avec un des fils d'alimentation.

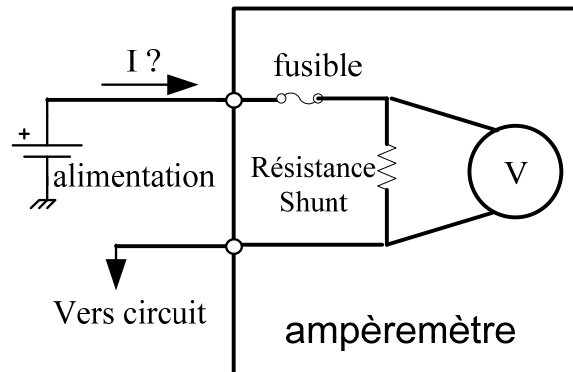


Figure 6 : Mesure de courant d'alimentation

Principe de mesure : Le courant à mesurer  $I$  traverse une résistance « shunt » parfaitement calibrée et de très faible valeur pour ne pas faire « trop » chuter la tension entre l'alimentation et le circuit. L'appareil mesure la tension et affiche, après conversion, la valeur du courant.

Dans ce mode de fonctionnement, l'appareil est protégé par un ou deux fusibles selon le calibre utilisé. Il convient de vérifier l'état du fusible avant mesure.

### 1.4 Mesure en position voltmètre

#### 1.4.1 Mesure en continu (DC)

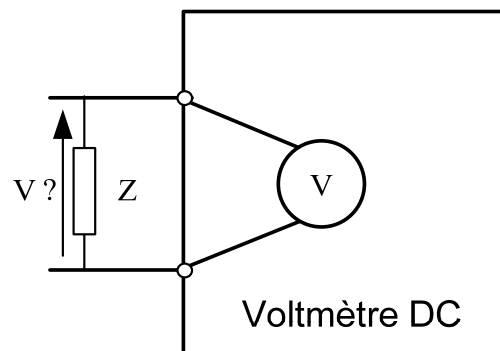


Figure 7 : Mesure de tension

La tension à mesurer  $V$ , aux bornes d'une impédance  $Z$ , est directement affichée. Attention, l'impédance d'entrée du voltmètre (plusieurs  $M\Omega$ ) est généralement très grande devant l'impédance  $Z$ . Mais si ce n'est pas le cas, il convient de s'intéresser à l'erreur de mesure commise.

### 1.4.2 Mesure en alternatif (AC)

Certains multimètres permettent une mesure de la valeur efficace (RMS) d'un signal alternatif **basse** fréquence. Avant utilisation dans ce mode, vérifier les spécifications de l'appareil. Sur un circuit électronique, il est évidemment conseillé de faire les mesures à l'oscilloscope dès que l'on travaille en signal variable.

## Mesure avec un impédancemètre

L'impédance mètre est une version « étendue » et sophistiquée de l'ohm-mètre. Comme son nom l'indique, il permet de mesurer outre les résistances, les inductances, condensateurs, quartz, et de caractériser leur comportement en fréquence sur une bande choisie par l'utilisateur.

Avant tout mesure, il est nécessaire de **calibrer** l'appareil : le but de cette calibration est de réduire les erreurs de mesures dues à l'imperfection de la sonde de mesure. En effet, la sonde de mesure se modélise sous la forme d'une impédance série  $Z_s$  ( $R_s$  et  $L_s$ ) et d'une parallèle  $Z_p$  ( $C_p$ ), (cellule en « gamma ») qui viennent altérer la mesure.

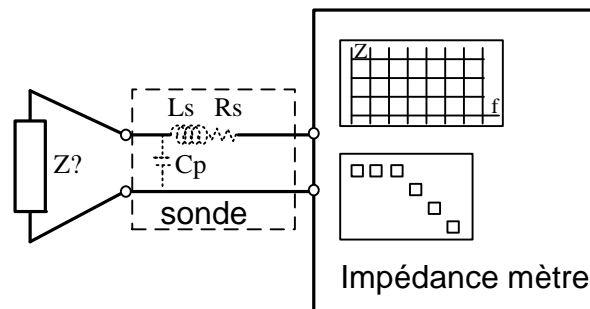


Figure 8 : Sonde impédancemètre

La calibration se fait en deux étapes :

- Une première mesure est faite sonde en court circuit :  
on accède à la valeur  $Z_s = R_s + jL_s\omega$
- Une deuxième, sonde en circuit ouvert : on accède à  $Z_p = 1/jC_p\omega$

L'impédance mesurée (ou vue) par l'impédance mètre vaut :

$$Z_m = (Z // Z_p) + Z_s,$$

Et la valeur "vraie" (ou corrigée) de l'impédance  $Z$  recherchée est obtenue par :

$$Z = (Z_m \cdot Z_p - Z_s \cdot Z_p) / (Z_p - Z_m + Z_s),$$

L'appareil effectue directement ces corrections sur la bande de fréquence choisie. On peut alors afficher module et phase du composant analysé ou bien ses parties réelle et imaginaire, extraire un schéma équivalent R, L, C, etc.

Par exemple, le résultat d'une mesure d'un haut parleur avec un impédance mètre HP 4194A (de 100 Hz à 1 MHz) est donné ci-après. A partir du diagramme module phase obtenu, ou en utilisant la fonction interne de modélisation de l'appareil, on peut extraire un schéma équivalent du haut parleur. On voit ici que le haut parleur est pratiquement résistif 8  $\Omega$  jusqu'à 20 kHz puis inductif au-delà.

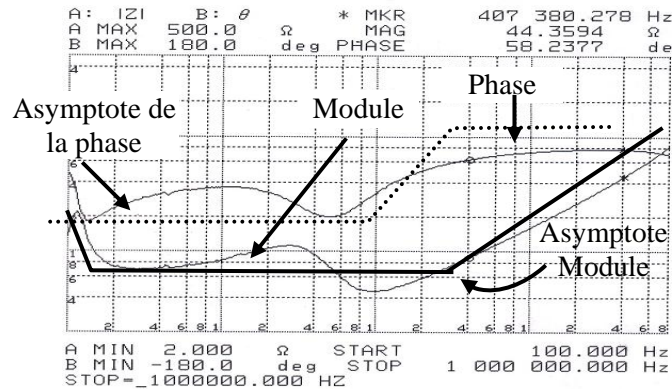


Figure 9 : Mesure haut parleur 8 $\Omega$

## Mesure avec un oscilloscope

Bien souvent les étudiants connectent, sans se poser la question, l'oscilloscope au circuit à mesurer par de « vulgaires » fils bananes ou coaxiaux. Alors ?

### question : Fils bananes, coaxial ou sonde de mesure ?

- 1) Les fils bananes sont évidemment à proscrire : non blindés, ils sont sensibles à toutes les perturbations électromagnétiques environnantes.
- 2) Un câble coaxial est mieux immunisé aux parasites mais un tel câble ramène une capacité assez élevée (de l'ordre de 100 à 150 pF/m) qui s'ajoute à la capacité d'entrée de l'oscilloscope. La capacité résultante en combinaison avec la forte résistance d'entrée (réseau R, C) entraîne une importante déformation des signaux observés.
- 3) La sonde passive remédie à ces problèmes : Une sonde passive constitue, avec l'impédance d'entrée de l'oscilloscope, ce que l'on appelle un atténuateur compensé comme indiqué sur la figure 10 suivante.

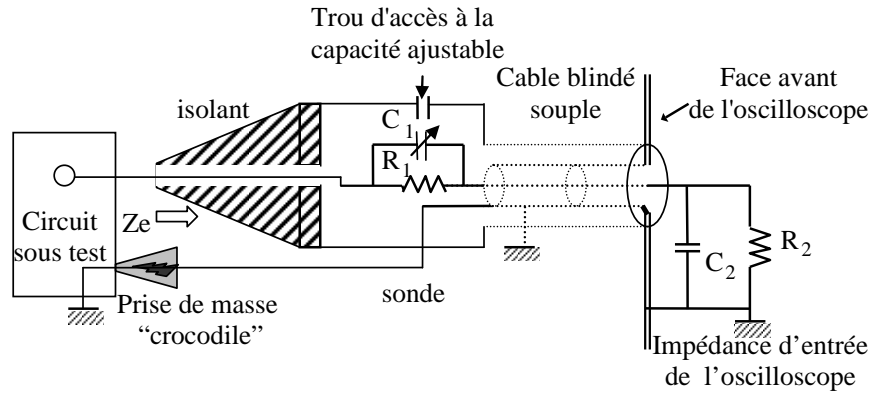


Figure 10 : Mesure avec sonde passive d'oscilloscope

Avec  $R_2$  : Résistance d'entrée de l'oscilloscope

$C_2$  : Somme de la capacité d'entrée de l'oscilloscope et de la capacité du câble.

On peut interpréter l'effet de la sonde comme suit :

Le réseau  $R_1, C_2$  constitue un passe-bas, alors que le réseau  $C_1, R_2$  constitue un passe-haut. Si la capacité ajustable  $C_1$  de la sonde est trop grande, l'effet dérivateur sera dominant (figure 11 à gauche). Si la capacité ajustable  $C_1$  de la sonde est trop faible, l'effet intégrateur sera dominant (figure 11 au milieu). Si la sonde est juste compensée la réponse à un échelon sera « parfaite ». On montre que cette condition est réalisée lorsque  $R_1 C_1 = R_2 C_2$ . Le signal observé est donc toujours moins déformé lorsqu'on utilise une sonde.

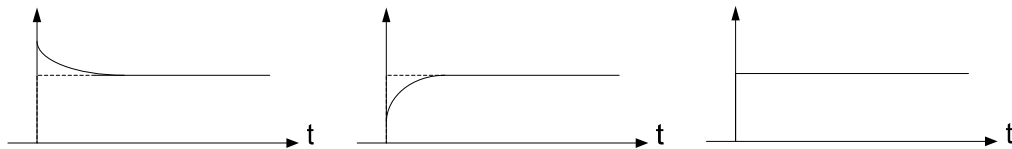


Figure 11 : Réponse à un échelon, sonde sur-compensée / sous-compensée / compensée

Par ailleurs, la sonde a un autre effet intéressant sur l'impédance présentée au niveau du circuit sous test. En effet, en partant du schéma en figure 12, on peut déterminer l'impédance  $Z_e$  vue à l'entrée de la sonde.

Appelons  $Z_1$  l'impédance de  $R_1$  et  $C_1$  en parallèle et  $Z_2$  l'impédance de  $R_2$  et  $C_2$  en parallèle.

On a :

$$Z_1 = \frac{R_1}{1 + jR_1 C_1 \omega} \quad \text{et} \quad Z_2 = \frac{R_2}{1 + jR_2 C_2 \omega}$$

L'admittance d'entrée est :

$$Y_e = \frac{1}{Z_e} = \frac{1}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{\frac{R_1}{1 + jR_1 C_1 \omega} + \frac{R_2}{1 + jR_2 C_2 \omega}}$$

Si la sonde est correctement compensée, on a :

$$R_1 C_1 = R_2 C_2$$

D'où :

$$Y_e = \frac{1}{Z_e} = \frac{1}{R_1 + R_2} + j\omega \frac{R_2}{R_1 + R_2} C_2$$

On en déduit que, vu de l'entrée, une sonde se comporte comme :

- une résistance de valeur :  $R_1 + R_2$

- une capacité de valeur :  $\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot C_2$  ( $\leq C_2$ )

**L'intérêt de la sonde est donc, au prix de l'atténuation du signal, d'augmenter la résistance d'entrée et de diminuer la capacité parasite.**

Dans la pratique, on prend souvent :  $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{10}$

La capacité parasite ramenée au niveau du circuit sous test, est donc divisée par 10 par rapport à la capacité d'entrée de l'oscilloscope seul, et l'impédance d'entrée multipliée par 10 ( $R_1 = 9 \cdot R_2$ ).

**Conclusion : Pour faire une mesure correcte à l'oscilloscope, toujours utiliser une sonde compensée.**

**question** : comment régler la sonde ?

Sur la face avant de l'oscilloscope, il y a généralement une sortie « générateur de carré » calibrée sur laquelle on peut brancher la sonde pour la régler correctement. Il suffit de tourner *délicatement* la vis de réglage sur la sonde pour obtenir à l'écran, un carré « parfait ».

**question** : Comment régler correctement un oscilloscope ?

Avant de régler un oscilloscope, il convient de convenir à priori d'avoir une idée des caractéristiques du signal que l'on souhaite observer : composante continue, amplitude, fréquence. Ceci permet de choisir la base temps, l'échelle verticale, et le couplage AC/DC sur l'entrée de l'appareil. (AC supprime la composante continue et DC la conserve).

Le problème c'est qu'avec l'avènement des oscilloscopes numériques, il suffit, bien souvent, d'appuyer sur un bouton « auto set » ou « autoscale » pour faire afficher correctement les courbes. Et l'on oublie du coup la notion primordiale de synchronisation qui est fondamentale pour une bonne utilisation de l'oscilloscope.



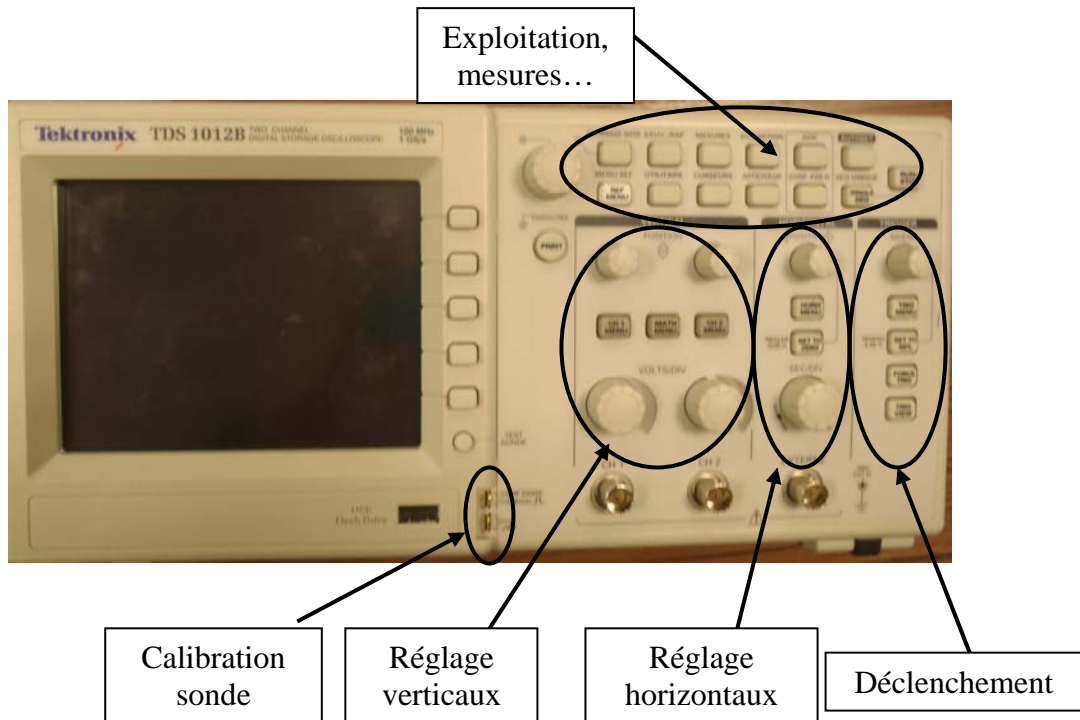


Figure 12 : exemple face avant oscilloscope

## question : Qu'est-ce que synchroniser l'oscilloscope ?

L'affichage sur un oscilloscope doit être vu (cela était facile à comprendre sur les scopes analogiques) comme un système à balayage temporel horizontal : un spot se déplace de gauche à droite et repasse périodiquement au même endroit pour rafraichir l'affichage de la courbe.

### Pour comprendre la notion de synchronisation, voici une image simple :

Supposons que l'on écrive une ligne de texte sur une feuille avec un stylo à encre magique qui s'efface au bout de quelques secondes...au fur et à mesure que l'on écrit. Si l'on veut pouvoir lire la phrase en permanence, il faut la récrire périodiquement (rafraichissement) et surtout repasser *exactement* au même endroit sur la première écriture faute de quoi, le résultat sera décalé en horizontal ou en vertical et donc flou et illisible.

Transposer à l'oscilloscope, synchroniser (« trigger » en fran-glais) consiste donc à régler le déclenchement de l'affichage des courbes (c'est-à-dire à fixer le « TOP départ ») de l'affichage au moment où le signal d'entrée intercepte un certain niveau de tension (trigger level). Ce niveau peut être réglé automatiquement (en général à 50 % du signal) ou manuellement pour des utilisations particulières (par exemple en mode monocoup).

Le point de déclenchement est souvent matérialisé par deux petites flèches déplaçables, une qui correspond à l'instant de déclenchement  $t_0$  (axe horizontal), et une seconde qui correspond au niveau de déclenchement sur l'axe vertical (trigger level).

### Quelques informations pour régler le trigger correctement :

- a) Si l'on place le point de déclenchement au centre de l'écran sur un oscilloscope numérique (à mémoire) on peut visualiser ce qui se passe avant, pendant et après le TOP départ. Cela peut être fort utile pour l'observation fine de signaux non répétitifs (en mode monocoup).
- b) Dans tous les cas, on synchronise l'oscilloscope sur le plus grand des signaux mesurés (le moins bruité) avec possibilité sur le front montant ou descendant.
- c) Si le signal d'entrée est bruité, on aura intérêt à spécifier un déclenchement avec réjection du bruit ou de la HF dans le menu « trigger ».
- d) Si l'on a besoin d'enregistrer en mémoire des signaux pour comparer leurs caractéristiques temporelles et d'amplitudes, il est intéressant de synchroniser l'oscilloscope par un signal extérieur (EXT TRIG) car les courbes sont mémorisées sous forme de points : les références temporelles, les échelles ne sont pas conservées. Ceci peut engendrer des erreurs par inattention.

Une fois bien réglé, le menu « mesures » et/ou « curseurs » d'un oscilloscope numérique propose des mesures toutes faites classiques (valeur crête, amplitude, fréquence, temps de montée etc.)

Le menu « math » permet de faire des opérations arithmétiques entre voies dont la multiplication (pratique si l'on s'intéresse à la puissance par exemple) mais aussi une transformée de Fourier. Attention cependant, l'oscilloscope ne remplace pas un analyseur de spectre vrai et ses performances en termes de dynamique en particulier sont en général inférieures.

Enfin, associé à l'oscilloscope, on peut utiliser différents types de sondes dont une particulièrement intéressante : la sonde différentielle.

### **question** : Qu'est-ce qu'une sonde différentielle ?

Une sonde classique, comme décrite plus haut dans le texte, doit être connectée impérativement entre le point « chaud » à mesurer et la **masse**. Pour mesurer une différence de potentiel entre deux points sur un montage il faut donc deux sonde classique et faire la différence avec le menu « math ». Au contraire, une sonde différentielle peut être placée directement « en flottant » entre deux points quelconques du circuit sous test, car cette sonde est isolée de la masse en interne.