

Initiation aux appareils de mesure de laboratoire d'électronique

**Département de génie électrique
et de génie informatique**

Faculté de génie

Université de Sherbrooke

Automne 2020

Note : En vue d'alléger le texte, le masculin est utilisé pour désigner les femmes et les hommes.

Version 2, 27 mai 2002

Rédigé par Noël Boutin

Version 3, 30 août 2010

Version 4, 1 octobre 2012

Modifié et mis à jour par Réjean Fontaine, Septembre 2012

Modifié et mis à jour par Jean-Philippe Gouin 2010, 2013

Modifié et mis à jour par Alexandre Tessier, 2016

Modifié et mis à jour par Jean-Philippe Gouin, Claudette Légaré et Charles Richard, 2017

Modifié et mis à jour par Réjean Fontaine, 2018

Modifié et mis à jour par Claudette Légaré 2019

Modifié par Denis Dufresne 2020

Copyright © 2020, Département de génie électrique et de génie informatique, Université de Sherbrooke.

Table des matières

1.	Introduction	5
2.	Le multimètre.....	9
2.1.	Définition	9
2.2.	Les multimètres du département.....	9
2.3.	Fonctionnement général	10
2.3.1.	Connexions	10
2.3.2.	Acronymes, pictogrammes et utilisation des multimètres	12
2.3.3.	Note sur les mesures RMS et true RMS	13
2.4.	Manipulations avec multimètre	14
3.	Les blocs d'alimentation	15
3.1.	Définition	15
3.2.	Les blocs d'alimentation disponibles.....	15
3.3.	Fonctionnalités de base.....	16
3.3.1.	Ajustement du courant max.....	16
3.3.2.	Sortie fixe.....	16
3.3.3.	Source flottante versus source référencée.....	17
3.3.4.	Fonctionnement maître / esclave	18
3.4.	Manipulations avec sources de tension et multimètre.....	18
4.	Oscilloscope à mémoire numérique	21
4.1.	Définition	21
4.2.	Les oscilloscopes disponibles.....	21
4.3.	Fonctionnalités de base.....	22
4.4.	Manipulations avec l'oscilloscope	25
5.	Le générateur de fonction.....	28
5.1.	Définition	28
5.2.	Les générateurs disponibles	29
5.3.	Fonctionnalités de base.....	30
5.3.1.	L'accès aux fonctionnalités de base du HP 3310/33120A	30
5.3.2.	L'accès aux fonctionnalités de base du TTI TG120.....	31
5.3.3.	L'accès aux fonctionnalités de base du SDG1050	32

5.3.4.	L'accès aux fonctionnalités de base du BK Precision 3011B et Wavetek FG2A.....	33
5.3.5.	Impédance de sortie de 50 Ω	34
5.4.	Manipulations avec le générateur de fonction	35
6.	La mesure d'un courant avec un oscilloscope	36
6.1.	Description.....	36
6.2.	Manipulations pour la mesure d'un courant avec une résistance	36

Table des figures

Figure 1.	Station de travail au local C1-3016.	6
Figure 2.	Station de travail au local C1-3024.	6
Figure 3.	Station de travail au local C1-3018.	6
Figure 4.	Station de travail de type I au local 4028.....	7
Figure 5.	Station de travail de type II au local 3014.....	7
Figure 6.	Branchement d'un multimètre en parallèle au circuit.....	11
Figure 7.	Branchement d'un multimètre en série au circuit.....	12
Figure 8.	Montage pour tester les sources en séries.....	19
Figure 9.	Branchement pour tester l'oscilloscope.....	25
Figure 10.	Adaptation de la sonde à l'oscilloscope.....	26
Figure 11.	Fonctions de base générées par un générateur de fonction.....	28
Figure 12.	Localisation des commandes de base du HP 33120A.....	30
Figure 13.	Localisation des commandes de base du TTI TG120.....	31
Figure 14.	Localisation des commandes de base du Siglent SDG 1050.....	32
Figure 15.	Localisation des commandes des BK Precision 3011B et Wavetek FG2A.....	33
Figure 16.	Mesure du courant dans un circuit avec une petite résistance en série	36

1. INTRODUCTION

Ce document vise deux objectifs :

1. Expliquer le principe de fonctionnement des divers appareils de mesure des laboratoires d'électronique.
2. Permettre, à travers diverses manipulations, de valider la compréhension des explications présentées.

Les appareils de mesure couverts dans ce document sont :

- Les multimètres
- Les sources de tension
- Les oscilloscopes
- Les générateurs de fonction

Lorsque demandé, répondez aux questions dans un cahier de laboratoire personnel. Ce cahier ne sera pas vérifié ou évalué, mais pourra vous être utile pour votre étude personnelle.

Le laboratoire prend pour acquis que vous avez lu et compris l'annexe au guide étudiant de l'APP1. Si certains concepts ne semblent pas clairs dans ce document, référez-vous à l'annexe.

Bien que votre laboratoire se déroule dans un seul local, il est important que votre étude personnelle entre les autres cours inclue la visite des autres laboratoires afin de vous familiariser avec chaque modèle de chaque appareil. Les laboratoires à connaître sont le C1-3016, C1-3018 et C1-3024, C1-3014 et le C1-4028 (Mécatronique pour GRO uniquement). Il est aussi important de se familiariser avec les oscilloscopes du C1-3035, légèrement différents des autres oscilloscopes du département.

Si vous terminez le laboratoire tôt, changez de place avec une autre équipe et refaites les manipulations avec d'autres modèles d'appareil. Les Figures 1 à 5 présentent les différentes configurations d'appareils selon les locaux de laboratoire. Notez qu'il y a 2 configurations possibles dans le 4028.

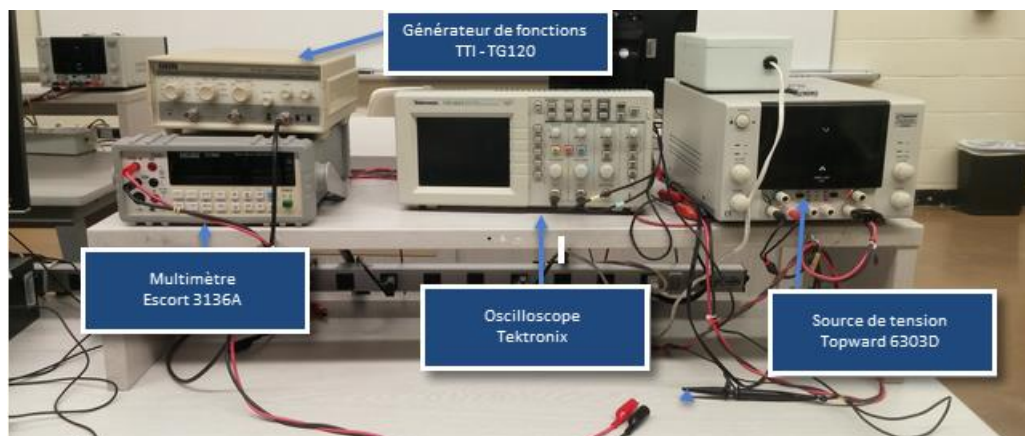


Figure 1. Station de travail au local C1-3016.

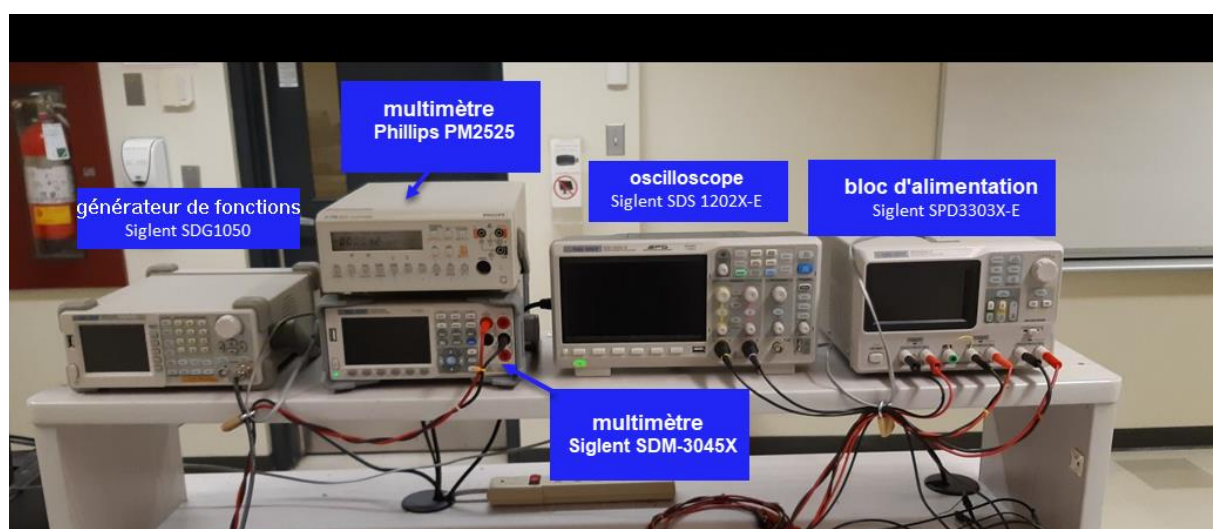


Figure 2. Station de travail au local C1-3024.

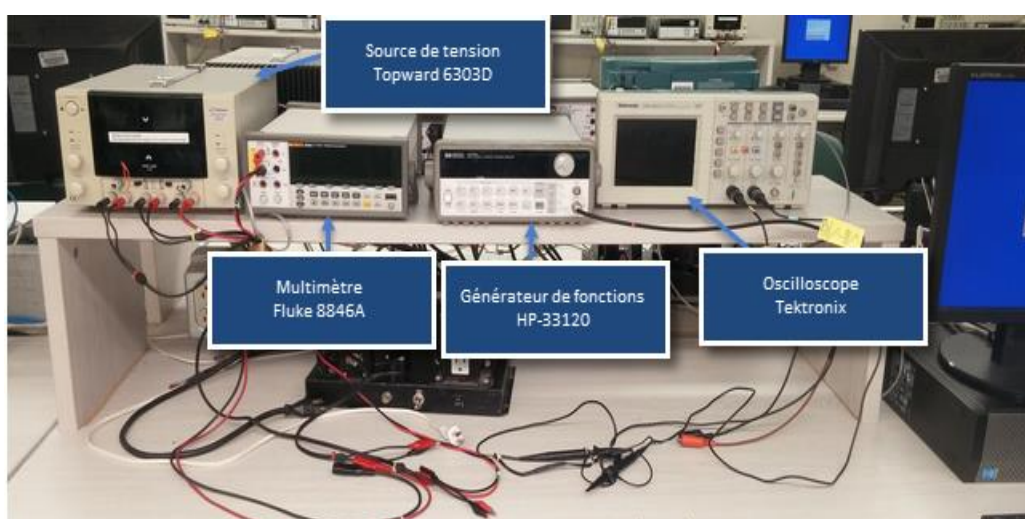


Figure 3. Station de travail au local C1-3018.

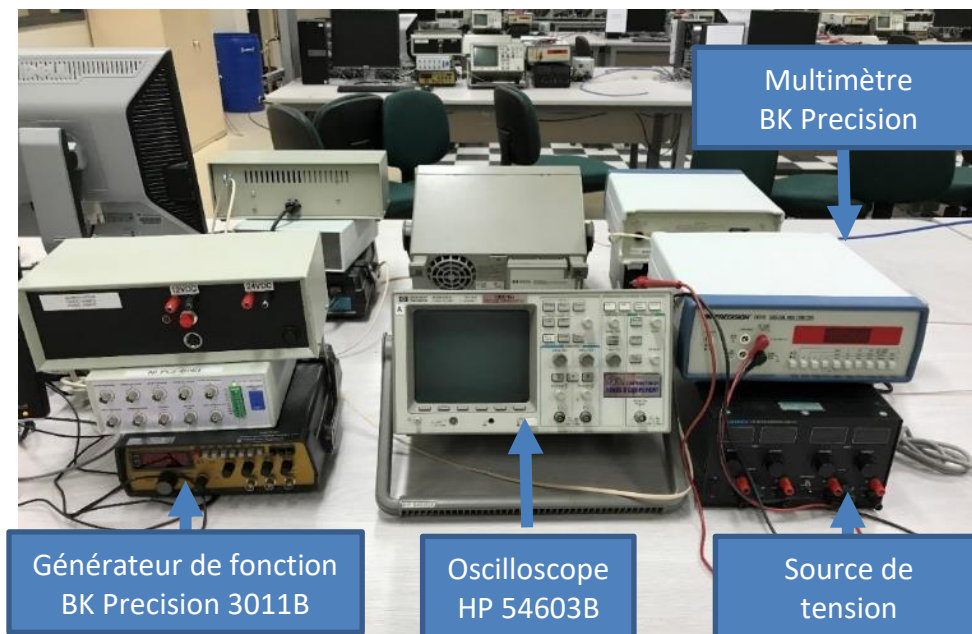


Figure 4. Station de travail de type I au local 4028.

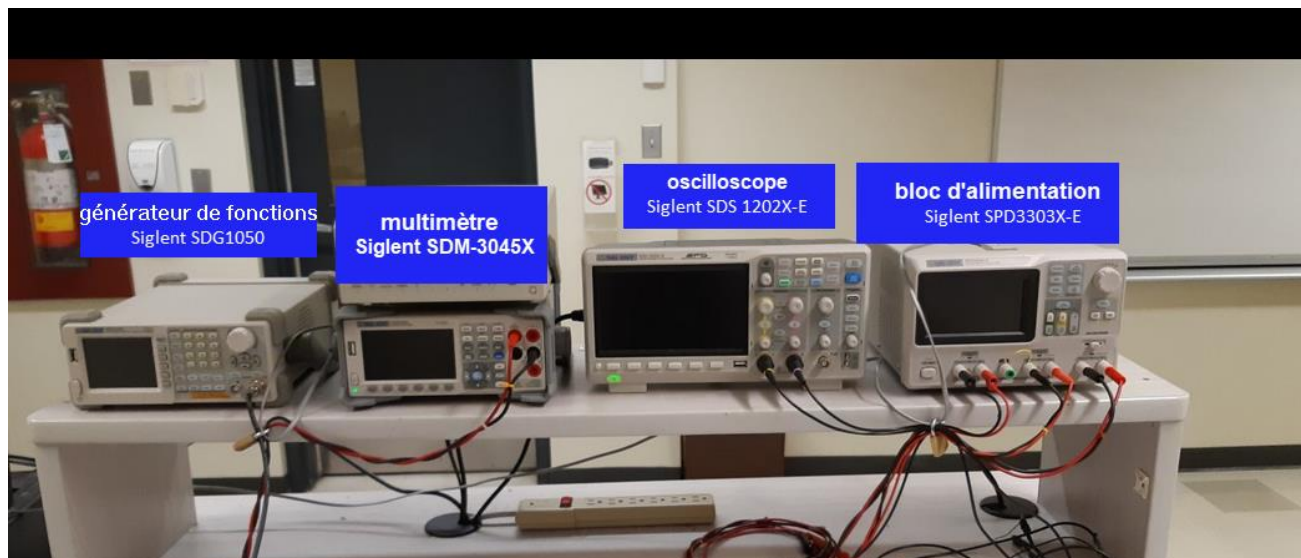


Figure 5. Station de travail de type II au local 3014.

Ce laboratoire se veut une introduction à l'utilisation des appareils de mesure. Pour connaître l'éventail des fonctionnalités des différents appareils, vous pouvez aller consulter les manuels d'utilisateurs qui sont disponibles sur le site Web du support en génie électrique du département GEGI.

MESSAGE CONCERNANT LE SYSTÈME D'ALARME

Tout comme les laboratoires de GEGI, le laboratoire de Mécatronique est équipé d'un système d'alarme protégeant ainsi le **déplacement non autorisé des équipements de mesure**. Vous remarquerez la présence de fils beige ou de fils gris reliés à des boîtiers beiges autour des équipements, c'est le système d'alarme. Il fonctionne en boucle fermée, alors si un fil est coupé/arraché/déconnecté le système d'alarme s'enclenchera. Le gardien de sécurité de l'Université ainsi que le technicien responsable devront faire un rapport d'incident, alors **SVP ne touchez en aucun cas les fils et les boîtiers de raccord de ce système**. Advenant le cas d'un déclenchement involontaire, SVP restez à votre place pour indiquer la nature de l'incident aux personnes qui se rendront sur place.

Une bonne compréhension du principe de fonctionnement des appareils de mesure, une manipulation judicieuse de ceux-ci et une interprétation correcte des indications de mesure qu'ils fournissent permettent d'éviter des erreurs de mesure et de sauver énormément de temps, et de frustration, au laboratoire.

2. LE MULTIMÈTRE

2.1. Définition

Un multimètre est un appareil de mesure polyvalent capable de mesurer une **multitude de paramètres électriques**, tels la **tension** (continue ou alternative), le **courant** (continu ou alternatif), la **continuité** (ouvert ou court-circuit), **la valeur d'une résistance** et la **présence d'une diode**. À cela peuvent s'ajouter certaines autres mesures comme la valeur d'un condensateur, la valeur d'une inductance, le gain d'un transistor et la fréquence.

2.2. Les multimètres du département

Voici une liste des différents multimètres disponibles dans les laboratoires du département.



Escort 3136A



FLUKE 8846A



Phillips PM2525



Siglent SDM-3045X



BK Precision 2831C

Note : Le commutateur à bascule (Marche / Arrêt) pour le multimètre Philips est localisé à l'arrière, en haut, en ligne avec le coin supérieur gauche de la face avant de l'appareil

2.3. Fonctionnement général

2.3.1. Connexions

Les multimètres peuvent se brancher de deux manières :

1. En mode **haute impédance**, ce qui signifie que le multimètre n'influencera pas le circuit lorsqu'il est branché en parallèle à un composant dans un circuit (Figure 6). Ce mode est utilisé pour **mesurer la tension aux bornes d'une pièce dans un circuit sous tension**. Il est aussi utilisé à l'extérieur d'un circuit pour mesurer **la résistance, la capacitance ou l'inductance d'une pièce**. Pour se brancher dans ce mode, il faut **brancher le fil noir dans le port COM ou – et le fil rouge dans le port VΩ** (ou autre symbole indiquant une tension en volt ou un symbole indiquant des Ohms).

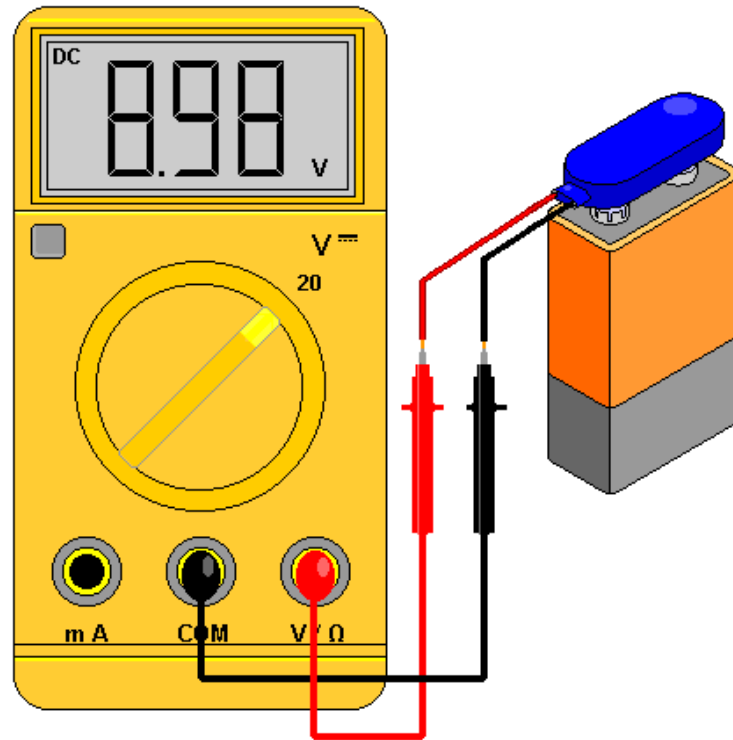


Figure 6. Branchement d'un multimètre en parallèle au circuit.

(<https://www.abcelectronique.com/annuaire/cours/cache/321/electricite-1-2.html>)

2. En mode **basse impédance**, ce qui signifie que le multimètre n'influencera pas le circuit lorsqu'il est branché en série avec un composant ou un circuit (Figure 7). Ce mode est utilisé pour **mesurer le courant** qui circule dans un circuit. Pour se brancher dans ce mode, il faut brancher le fil noir dans le port **COM** ou **-** et le fil rouge dans le port **mA** ou **10 A**. Si vous branchez le fil rouge dans le port mA, la lecture sera plus précise, mais le courant maximum autorisé sera moindre (et muni d'un petit fusible). Le port 10 A, comme son nom l'indique, permet de lire des courants plus forts, jusqu'à un maximum de 10 A, mais sera légèrement moins précis.

Note importante. Les variations transitoires rapides dans des circuits incluant des inductances peuvent générer des courants momentanés très élevés qui dépassent la capacité des appareils. Afin de protéger le multimètre, un fusible est placé en série avec l'entrée basse impédance. Les circuits que nous concevons possèdent tous des inductances parasites qui font qu'il arrive souvent que nous fassions sauter le fusible. Il est donc probable que le fusible du multimètre que vous utilisez ne puisse pas faire les mesures en courant car un de vos collègues a fait sauter le fusible sans le vouloir. Il faut avertir le service technique de génie électrique qui fera la maintenance sur les appareils défectueux. Bien que ce problème puisse survenir, continuez à faire les autres mesures. Vous ne serez pas pénalisé dans l'APP pour une mesure en courant à cause d'un appareil défectueux. Nous allons vous présenter, un peu plus loin dans ce document, d'autres techniques pour ces mesures en utilisant le mode haute impédance.

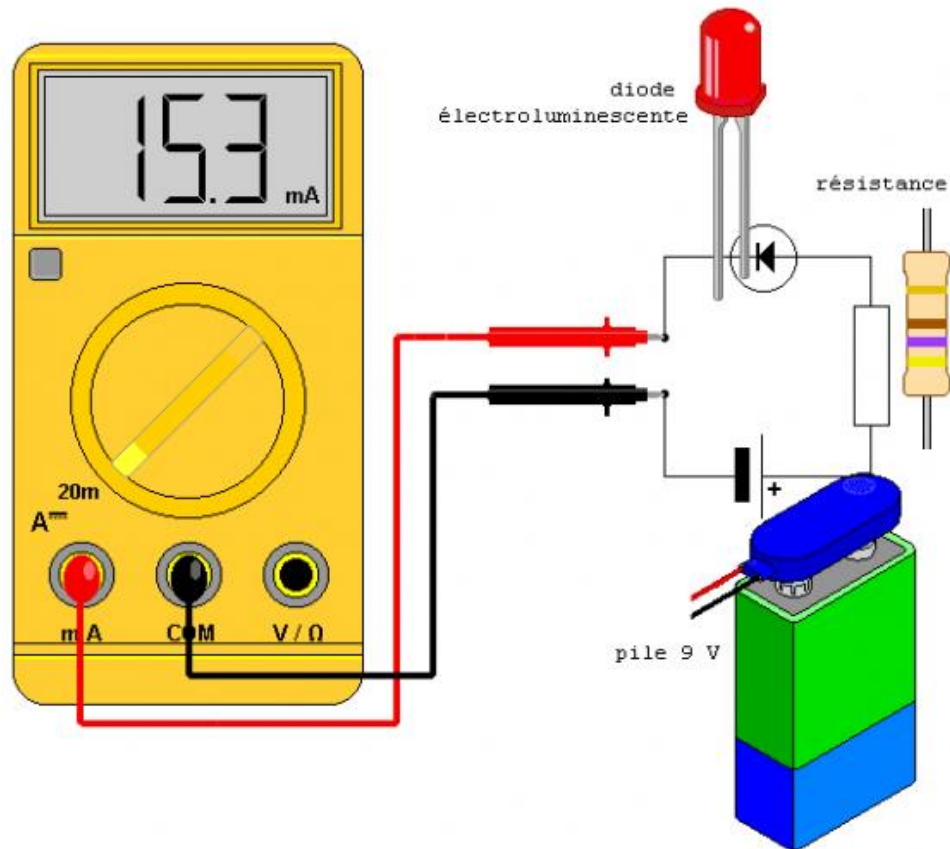


Figure 7. Branchement d'un multimètre en série au circuit.







(<https://www.abcelectronique.com/annuaire/cours/cache/321/electricite-1-2.html>)

Attention : Si vous n'êtes pas attentif et que vous branchez le multimètre en parallèle au circuit (pour prendre une mesure de tension par exemple) alors que les fils sont dans le port basse impédance, vous allez créer un court-circuit dans votre montage et fort probablement briser des composants. Soyez vigilant.

2.3.2. Acronymes, pictogrammes et utilisation des multimètres

Chaque multimètre aura des pictogrammes différents pour la sélection des modes, mais les mêmes modes reviennent toujours. Avec l'expérience, vous apprendrez à les repérer rapidement.

Parfois, un multimètre aura plusieurs choix pour un même mode, il s'agit généralement de la résolution souhaitée. Une meilleure précision sera toujours accompagnée d'une limite de lecture plus basse (ex. une lecture à $\pm 0,1 \Omega$ sera de 0 à 200 Ω alors qu'une lecture à $\pm 1 \Omega$ sera de 0 à 2 k Ω)

Acronyme	Pictogramme	Utilisation
VDC ou DCV	V 	Mesure de tension continue
VAC ou ACV	V 	Mesure de la valeur efficace (RMS) d'une tension alternative
R	Ω	Mesure de la résistance d'un composant
IDC ou DCI	A 	Mesure du courant continu
IAC ou ACI	A 	Mesure du courant alternatif
CONT	 ou 	Mesure de la continuité d'un circuit. Le multimètre émettra un son audible lorsque la résistance entre ses bornes est faible. Cela est utile pour détecter les courts-circuits ou les câbles défectueux dans un montage.

ATTENTION : lorsque vous mesurez la valeur d'une résistance, le multimètre injecte un petit signal électrique afin de procéder à sa mesure. Il est impératif de faire cette mesure **sans tension extérieure** (c.-à-d. avec les sources fermées). Faire une lecture de résistance dans un circuit sous tension, non seulement donnera une fausse lecture, mais risque aussi de briser l'appareil.

Il existe beaucoup d'autres modes de fonctionnement pour les multimètres (mesure de capacité, d'inductance, de fréquence, de température, etc.), mais il n'est pas essentiel de les connaître pour l'instant. L'important est de bien maîtriser ceux mentionnés ci-haut.

2.3.3. Note sur les mesures RMS et true RMS

Une question particulière doit être portée lorsque l'on mesure une tension alternative en mode RMS avec un multimètre : est-ce que mon multimètre donne une valeur représentative de la valeur RMS ? Malheureusement, la réponse est généralement non !

Il sera vu au cours de l'APP 1 que la valeur RMS d'une tension se trouve à l'aide de l'équation :

$$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T S^2(t) dt}$$

Cependant, il sera aussi vu que pour un sinus centré sur 0 V, le calcul ci-haut se simplifiera à **l'amplitude crête divisée par $\sqrt{2}$** . La plupart des multimètres sur le marché sont destinés à mesurer l'électricité résidentielle (c.-à-d. un sinus centré sur 0 V). Ainsi, pour sauver des coûts de design et de production, beaucoup de multimètres afficheront la valeur 'RMS' comme la tension maximale divisée par $\sqrt{2}$. **Le résultat sera alors faussé pour tout sinus non centré sur 0 V ou pour toute autre forme d'ondes (onde carrée, triangulaire, etc.).** Un multimètre qui effectue le vrai calcul de valeur efficace sera appelé un **'true RMS'** et coûtera plus cher que les petits modèles simplistes.

La section 0 présentera une autre méthode pour mesurer la tension d'un signal alternatif et une méthode pour déterminer si le multimètre utilisé est un '**true RMS**' ou non.

2.4. Manipulations avec multimètre

Dans les petits casiers du C1-3018 et C1-3024, prenez trois résistances au hasard entre 700 Ω et 2 k Ω . Notez les valeurs en Ω des casiers dans votre cahier de laboratoire.

Toujours dans votre cahier de laboratoire, notez les codes de couleurs. Déterminez si ces couleurs correspondent bien aux valeurs souhaitées. Notez que le code de couleurs se trouve dans le document d'Annexe du guide étudiant de l'APP1 SN.

Allumez le multimètre de votre poste de travail et placez-le en mode de mesure de résistance. Validez que les fils sont bien dans le port haute impédance. Mesurez la résistance de vos trois composants et validez qu'elles correspondent aux valeurs attendues.

D'autres modes du multimètre seront abordés dans les prochaines sections de ce document.

3. LES BLOCS D'ALIMENTATION

3.1. Définition

Un bloc d'alimentation de laboratoire (Lab bench power supply) est un appareil qui génère une ou plusieurs tensions continues dont la valeur est ajustable par l'utilisateur. Cet appareil sert à alimenter (fournir en énergie) aux montages électroniques.

3.2. Les blocs d'alimentation disponibles



Topward 6303 D
(Dans la plupart des laboratoires)



Hewlett Packard E3611A
(C1-3024)



Siglent SPD3303X-E
(C1-3014)



Xantrex LXQ 30-2

3.3. Fonctionnalités de base

Les blocs d'alimentation comportent à peu près tous les fonctionnalités de base suivantes :

- 1- Un bouton de commande marche / arrêt identifié **Power On /Off**
- 2- Un bouton d'ajustement de la tension identifié **Voltage**
- 3- Un bouton d'ajustement de la limite maximale de courant identifié **Current**
(* Pour le Siglent, on sélectionne d'abord le paramètre à ajuster à l'aide des boutons « flèche gauche » ou « flèche droite » et ensuite on utilise le bouton rotatif pour ajuster le paramètre. Le bouton « Fine » permet de déplacer la décimale.
- 4- Trois bornes de sortie respectivement identifiée :
 - Borne (+)
 - Borne (-)
 - Borne (GND) i.e. mise à la terre
- 5- Un cadran indicateur de la valeur de la tension disponible entre les bornes (+) et (-).
- 6- Un cadran indicateur de la valeur du courant débité par le bloc d'alimentation.

*Pour le Siglent, le bloc d'alimentation fournira la tension/courant configurée seulement lorsque le bouton « ON—OFF » est activé.

3.3.1. Ajustement du courant max

Le bouton d'ajustement du courant maximal définira le courant maximal que la source peut fournir. Si la source venait, pour une tension donnée, à fournir un courant plus grand que la sélection, la source réduirait automatiquement la tension de sortie de manière à respecter le courant maximal voulu. Cette option est parfaite pour limiter les dégâts sur le circuit si jamais un court-circuit survenait. Avoir un court-circuit dans votre montage lorsque la source fournit 0,01 V et 1 A fera moins de dommages que si elle fournit 5 V à 1 A. Lorsque la source atteint sa limite de courant, la lumière CV (*constant voltage*) s'éteindra et la lumière CC (*constant current*) s'allumera.

Notez que pour les sources de Hewlett Packard du C1-3024, le bouton **CC SET** permet de faire afficher à l'écran le courant maximum et de l'ajuster à l'aide des boutons de réglage.

Il faut faire attention, ce mode de fonctionnement n'est pas un mode en 'source de courant'. Une source de courant **augmentera** sa tension jusqu'à atteindre la tension désirée alors qu'une source de tension limitée en courant **réduira** sa tension afin d'obtenir le courant désiré. Une vraie source de courant pourrait être endommagée par un circuit ouvert (car la tension augmenterait sans cesse jusqu'à la limite de la source).

3.3.2. Sortie fixe

Plusieurs sources ont aussi des sorties à tension fixe. Par exemple, les topward ont une sortie (au centre) à 5 V. Ces sorties sont souvent utiles pour alimenter des circuits externes aux circuits à

tester (une plaquette de développement munie d'un microprocesseur par exemple). Les deux sorties ajustables pourraient être ajustées pour alimenter des moteurs à ± 12 V, contrôlés par un microprocesseur alimenté sur le 5 V. Pour le Siglent, il existe trois sorties à tension fixe : 2,5 V, 3,3 V et 5 V.

Faire attention cependant, ces sorties ne sont généralement pas limitées en courant. Cela signifie que si vous utilisez ces tensions fixes pour alimenter votre circuit et que votre circuit comporte un court-circuit, les risques de bris matériel seront plus grands. En règle générale, tester vos circuits sur une source limitée en courant pour valider le fonctionnement avant de le brancher sur la sortie à tension fixe voulue.

3.3.3. Source flottante versus source référencée

Chaque sortie du bloc d'alimentation est « flottante ». Cela signifie qu'il y aura une **différence de potentiel entre ses deux bornes** (rouge et noire ou encore + et -), mais qu'il n'y a pas de lien électrique avec le secteur (i.e. prise de courant dans le mur). Conséquemment, il n'y aura alors aucune différence de potentiel avec la référence 0 V de la mise à terre). À ce stade-ci, il est important de comprendre que la borne (-) est considérée comme le retour de courant, mais que ce retour de courant peut être à une tension quelconque par rapport à vous qui avez les pieds sur terre.

Si l'appareil de mesure ou la source est « flottant », les deux fils peuvent être raccordés n'importe où dans le circuit sous test, en prenant évidemment soin de les raccorder correctement pour l'usage désiré. Bien que de travailler sur des circuits « flottants » a quelques avantages (que nous verrons dans de futures sessions), avec nos équipements, **il est préférable de travailler de manière référencée à la mise à terre (le 0 V commun à vos pieds et la référence du secteur).**

Pour référencer votre source de tension, il suffit de relier la borne verte indiquée GND ou avec le symbole de mise à terre à l'une des deux bornes de sorties. Lorsque vous reliez la mise à la terre à la borne (-), la borne (+) se retrouvera alors avec une différence de potentiel positive par rapport à la masse. Si vous reliez la borne (+) à la masse, la borne (-) se retrouvera une différence de potentiel, mais en **dessous** de la masse, indiquant une tension négative.

Le lien entre la masse et l'une des bornes de la source peut se faire à l'aide d'un fil (les cosses se dévissent et un petit trou permet d'insérer un fil électrique).

Attention : Les appareils, tels l'oscilloscope et le générateur de fonction, ont généralement leur fil noir **raccordé** à la masse du secteur. Si vous reliez ce fil à un autre nœud que celui de la masse dans le circuit, vous allez créer un court-circuit à travers le secteur ! Le fait de ne pas maîtriser le concept de masse et de référence à la masse d'un appareil de mesure ou d'une source de signal peut provoquer le mauvais fonctionnement du circuit sous test et de fausses mesures. C'est un concept extrêmement important à comprendre.

3.3.4. Fonctionnement maître / esclave

Lorsque l'on travaille à deux sources, il est souvent pratique que les deux sources se suivent et qu'il soit facile de faire les réglages de tension et de courant en simultané sur les deux sources.

La source en mode « maître » sera celle qui imposera la tension et le courant dans le circuit. Le changement d'un bouton de réglage de tension affectera en même temps la source « maître » et la source « esclave ». Les changements aux boutons de réglage du côté « esclave » sont ignorés.

Notez que le mode esclave peut être utilisé autant en série qu'en parallèle. Mettre en série deux sources maître / esclave permet de changer la tension de manière simultanément sur les deux sources. Lorsque les deux sources sont mises en parallèle, l'esclave fournira autant de courant que le maître et se stabilisera sur la même tension. Cette manipulation permet de fournir plus de courant que la limite d'une seule source.

3.4. Manipulations avec sources de tension et multimètre

Allumez le bloc d'alimentation. Réduisez la limite de courant presque au minimum en tournant dans le sens antihoraire. Lorsque la lumière **CC s'allume**, tourner légèrement le bouton afin dans le sens horaire que la lumière **CC éteigne**. Ajustez la **tension à 12 V**. Branchez la source aux bornes d'une des résistances utilisées avec le multimètre. **Calculer la valeur théorique du courant qui devrait passer dans la résistance¹**. Est-ce que la puissance attendue est inférieure à 250 mW (i.e. ¼ W qui est la limite des résistances de laboratoire)? Si ce n'est pas le cas, quel est le problème?²

N.B Pour le Siglent, il faudrait utiliser une résistance **inférieure à 1 kΩ** et limiter le courant à une valeur de 0,01 A.

Augmentez la limite en courant jusqu'à la stabilisation de la tension à **12 V**. Est-ce que le courant lu sur la source est cohérent avec cette prévision ? **Note** : Si le courant est beaucoup plus grand que vos calculs, il est possible que vous ayez un court-circuit. Fermer la source et valider vos connexions.

Placer le multimètre en mode voltmètre DC et prenez une lecture de la tension aux bornes de la résistance à l'aide du multimètre (assurez-vous d'être branché dans le port haute-impédance). Est-ce que la lecture est plus précise que sur la source ?

Fermez la source et placez le **multimètre en mode ampèremètre (en mode basse impédance et en série entre la source et la résistance)**. Allumez la source. Comparez la valeur attendue versus

¹ Calculez $P = V^2/r$ où $V = 12 \text{ V}$ et donc $144/r$. Si $r = 10 \text{ k}\Omega$ alors $P = 14,4 \text{ mW}$.

² Réponse: On brûlera la résistance si la puissance est $> 250 \text{ mW}$.

la lecture par l'ampèremètre versus le courant affiché sur la source. Expliquez les différences. Laquelle est la plus fiable³ ?

NOTE : Il se pourrait que le fusible de protection du multimètre soit brûlé, ce qui rend impossible la lecture de courant. Dans ce cas, passez à l'étape suivante.

Maintenant, calculez la puissance réelle qui est dissipée par la résistance.

Refaites les mêmes manipulations avec les deux résistances restantes, mais cette fois en utilisant des tensions de 5 V et 9 V.

Note : il est possible que le fusible soit brûlé à l'intérieur de l'ampèremètre, dans quel cas, essayer avec le port 10 A (mais il est possible que le courant soit trop petit pour être mesurable) si cela ne fonctionne pas, passer à l'étape suivante.

Mettre deux sources ajustées à 9 V en série. Mettre les 3 bornes des sources aux bornes (voir les numéros 1, 2 et 3 de la Figure 8) de deux résistances en série comme l'indique la Figure 8.

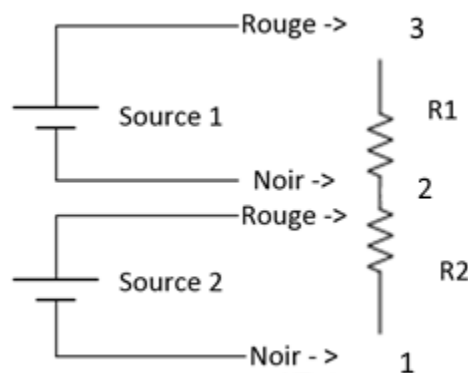


Figure 8. Montage pour tester les sources en séries.

À l'aide du multimètre en mode voltmètre, mesurez la différence de potentiel des trois points par rapport à la masse du bloc d'alimentation (borne verte ou \perp ou \downarrow) sans que celui-ci ne soit branché dans le circuit. Que mesurez-vous ? Pourquoi ?⁴

³ L'ampèremètre possède une meilleure résolution. Vous pouvez consulter les fiches techniques des appareils sur le web.

⁴ Réponse : Comme les sources ne sont pas référencées à la masse, on ne devrait rien mesurer. En réalisant, en faisant cette mesure, on vient successivement mettre les bornes 1, 2 et 3 à la mise à la terre à travers une résistance élevée. Ceci ne constitue pas une bonne mise à la terre.

Si on relie la masse à la borne 1 des deux sources, quelle sera la différence de potentiel entre la masse et les deux autres nœuds du circuit ?⁵

Si maintenant on relie la masse à la borne 2, quelle sera la différence de potentiel entre la masse et les deux autres nœuds du circuit ?⁶

Si on relie la masse à la borne 3, quelle sera la différence de potentiel entre la masse et les deux autres nœuds du circuit ?⁷

Trouver une analogie pour expliquer le fonctionnement d'une tension négative.

⁵ Réponse : 9 V à la borne 2 et 18 V à la borne 3.

⁶ Réponse : -9 V à la borne 1 et + 9 V à la borne 3.

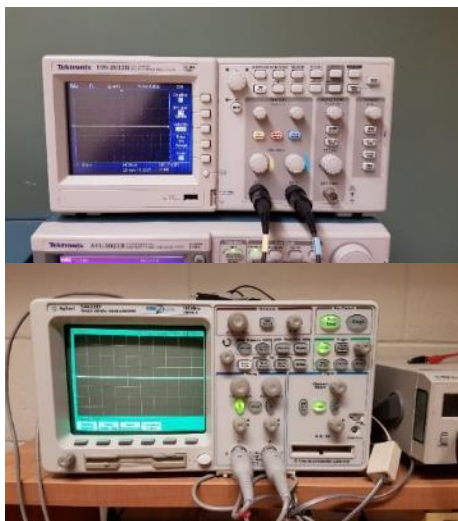
⁷ Réponse : -9 V à la borne 2 et - 18 V à la borne 1.

4. OSCILLOSCOPE À MÉMOIRE NUMÉRIQUE

4.1. Définition

L'oscilloscope est un appareil qui permet d'afficher la forme d'une tension dans le temps. C'est à partir de cet appareil de mesure que nous pouvons le mieux vérifier la fonctionnalité d'un circuit. De façon générale, une sonde est mise en contact avec le conducteur dans lequel nous désirons visualiser le signal. Le signal est amplifié ou non dans l'oscilloscope et un système de détection d'un passage à un seuil (de l'anglais *trigger*) indique le moment au système d'affichage de reproduire la forme d'onde à l'écran. Si le seuil n'est jamais croisé, le signal n'est pas affiché. La largeur temporelle de l'affichage est contrôlée par une base de temps. Au croisement du seuil, il sera possible de visualiser sur une période plus ou moins longue avant et après le croisement selon cet ajustement. Différents modes permettent d'affiner l'information recherchée. Les sections suivantes couvrent chacun de ces éléments.

4.2. Les oscilloscopes disponibles



Tektronix (plusieurs modèles similaires dans la plupart des laboratoires)

Agilent 54522D
(C1-3035)



Siglent SDS 1202X-E



HP 54603B

4.3. Fonctionnalités de base

L'affichage d'un oscilloscope est un écran en deux dimensions. L'axe vertical représente la tension du signal mesuré et l'axe horizontal représente le temps. Lors de la lecture d'un signal, l'oscilloscope affichera la tension du signal en fonction du temps de gauche à droite suite au croisement d'un seuil (*trigger*). Une fois à la fin de la fenêtre, il attendra à nouveau le passage du seuil pour rafraichir l'écran. En présence d'un signal périodique avec une fréquence assez élevée, le rafraichissement sera suffisamment rapide pour que l'écran donne l'impression d'une ligne continue et permette une lecture claire du signal.

Le bouton indiqué par **Volt/div** ou le bouton rotatif « **V \leftrightarrow mV** » sera l'ajustement vertical du signal. Dans l'écran, vous verrez l'ajustement actuel pour chaque canal. Par exemple, 5 V / div indiquera que le signal aura 5 Volts par ligne horizontale à l'écran. Un signal qui aura deux divisions de haut aura alors une amplitude de 10 V. Notez que deux canaux peuvent être affichés simultanément avec des réglages de volt / division différents.

Dans le côté gauche de l'écran, vous verrez une petite flèche (de la couleur du canal affiché). Cette flèche indique l'emplacement du 0 V sur l'axe vertical. Le bouton **vertical position** permet d'ajuster cette référence et de déplacer le signal sur l'écran. Cela permet, notamment, d'afficher un canal dans le haut de l'écran et de le comparer à un deuxième signal dans le bas de l'écran. Si la flèche de référence pointe vers le haut ou vers le bas, cela indique que la référence 0 V est à l'extérieur de l'écran d'affichage. Attention : Changer le réglage de volt / division changera l'emplacement de la référence 0 V.

Le bouton indiqué **Sec/div** ou le bouton rotatif « **s \leftrightarrow ns** » sert à dilater ou contracter le signal sur l'axe horizontal. Dans l'écran, on pourra voir le réglage actuel. Par exemple, un signal de 1 kHz (période de 1 ms) affiché sur une carte d'oscilloscope à 250 μ s / div devrait avoir une période complète en quatre divisions. Notez que le réglage de temps en sec/div est identique pour les canaux deux canaux.

Similairement à la référence 0 V de l'axe vertical, la flèche au centre de l'écran dans le haut indique ce que l'oscilloscope reconnaît comme début de signal. Pour un signal périodique, un front montant est généralement choisi. Si de l'information se retrouve légèrement à l'extérieur de l'écran, il est possible de traduire légèrement le signal avec le bouton **horizontal position**.

Le bouton **Trigger Level** permet de régler le seuil de tension sur lequel se synchronise l'affichage à l'écran. On retrouve visuellement ce niveau avec une flèche à la droite de l'écran. Si le niveau de déclenchement est au-dessus ou en dessous de la forme d'onde que l'oscilloscope tente d'afficher, vous remarquerez que le signal se déplacera sur l'axe horizontal et la lecture sera très difficile. Lorsque le **Trigger Level** est bien ajusté en fonction du signal, la forme d'onde sera stable et la lecture des divisions sera possible. Dans le menu de déclenchement (**Trigger menu** ou **Trigger Setup**), vous pourrez déterminer certains paramètres tels que la source de synchronisation (canal 1 ou canal 2 ou source externe) ou encore synchroniser sur un front montant ou descendant. Pour le bien de l'APP 1, l'ajustement devrait être fait sur le canal 1 ou 2 et sur un front montant – ne vous concentrez pas trop sur les autres modes, ils ne seront pas utiles avant les sessions avancées du baccalauréat.

Le bouton **Measure** permet d'afficher le menu de mesures de l'oscilloscope dans l'écran. Bien qu'il soit possible d'obtenir beaucoup d'informations simplement en comptant des divisions à l'écran, les oscilloscopes numériques du département peuvent effectuer une multitude de calculs et vous faciliter grandement la vie. L'oscilloscope peut afficher jusqu'à 4 ou 5 mesures simultanément. Pour afficher ou modifier une mesure, appuyez sur le bouton à la droite de la mesure ou sur le bouton « Type », un nouveau menu s'ouvrira. Vous pourrez alors choisir la mesure désirée sur le canal désirée.

Le bouton **CH1 Menu (« 1 »)** ou **CH2 menu (« 2 »)** permet d'accéder au menu d'affichage des canaux 1 et 2. Appuyer directement sur les boutons permet d'afficher ou de cacher le signal à l'écran et ouvre le menu pour ce canal à droite dans l'écran. Dans ce menu, on peut définir le couplage du canal, la bande passante, le niveau du bouton Volt/div, l'atténuation de la sonde et l'option pour inverser le signal. Pour le bien de l'APP 1, nous nous concentrerons uniquement sur le couplage, l'atténuation et l'inversement.

Le couplage de l'entrée détermine si l'on veut afficher la composante DC du signal ou non. En couplage DC (*direct coupling*), le signal est intégralement envoyé à l'affichage incluant sa composante DC. En couplage AC (*alternative coupling*), un petit condensateur est placé en série au signal entrant, retirant ainsi sa composante DC. Cette option est intéressante si l'amplitude AC du signal est très petite par rapport à la composante DC et qu'on veut agrandir à l'écran l'allure du signal AC.

Une sonde d'oscilloscope a une impédance d'environ 1 M Ω . Par conséquent, lorsque vous branchez une sonde en parallèle à un circuit, vous modifiez légèrement le point d'opération du circuit. Plus les composants du circuit situés près de la sonde ont une impédance élevée, plus l'effet est notable. Pour diminuer cet effet, il est possible de mettre la sonde en mode 10x, cela signifie qu'une résistance de 9 M Ω sera placée en série avec la sonde afin de diminuer son effet sur le circuit. La conséquence (avec un diviseur de potentiel) sera de diminuer l'amplitude de la lecture d'un facteur 10. Dans l'onglet **sonde** du menu **CH1 Menu (« 1 »)**, il est possible d'indiquer l'atténuation de la sonde de sorte que l'affichage soit multiplié par le même facteur et ainsi

retrouver la véritable amplitude du signal à l'écran. **Prenez pour habitude de toujours mettre vos sondes en 10x et l'oscilloscope en mode 10x.**

Toujours dans le **menu CH1 (« 1 »)**, l'ajustement **invert signal** permet d'inverser l'allure du signal. Bien que seule cette option soit peu pratique, elle sera essentielle pour l'opération de soustraction deux signaux. Notez que pour les vieux oscilloscopes (qui n'ont pas de menu numérique avec la fonction **invert signal**), on peut généralement inverser le signal en tirant sur l'un des boutons d'ajustement de tension.

IMPORTANT : La référence d'un oscilloscope (petite pince avec la sonde) est **TOUJOURS** reliée à la mise à la terre d'Hydro-Québec. Cela signifie que si votre circuit n'est pas flottant (ce qui est généralement le cas), la mauvaise manipulation de cette pince peut créer des courts-circuits dans votre montage et briser des composants (de l'oscilloscope ou de votre montage). Il est **IMPÉRATIF** que cette pince soit toujours reliée à un point de masse dans le circuit (**TP_GND** pour le montage de l'APP 1). Donc, l'oscilloscope peut mesurer la différence de potentiel uniquement entre un noeud et la mise à la terre. Comment faire pour mesurer la différence de potentiel entre deux noeuds ? **Réponse : à l'aide du Math Menu.**

Entre le **CH1 Menu** et le **CH2 Menu** se trouve le bouton **MATH Menu**. Ce menu permet d'effectuer des opérations mathématiques sur les entrées 1 et 2 et d'afficher le résultat sur une 3^e courbe (rouge ou blanche). Les opérations d'addition et de soustraction vous seront les plus utiles, mais sachez que le math menu peut aussi effectuer une transformée de Fourier rapide (de l'anglais *fast Fourier transform (FFT)*), opération qui vous sera utile dans les sessions ultérieures.

Lorsque vous utilisez le math menu, il est fortement suggéré de conserver le même V/DIV sur les deux canaux et de mettre la référence 0 V au même endroit afin de faciliter la lecture à l'écran.

Les boutons **Run/Stop** et **Single seq** sont utilisés pour **figer l'écran en place**. Lorsqu'un signal et impulsionnel ou non périodique, l'oscilloscope n'est pas capable de l'afficher correctement en mode de balayage. Pour bien le capturer et l'afficher à l'écran, nous utilisons le bouton **Single seq**. Lorsque le bouton est appuyé, l'oscilloscope se met en mode **Armed** (à lire dans le haut de l'écran, au centre) et attend le prochain passage du seuil de déclenchement. Lorsque le signal croise le seuil, l'oscilloscope affichera le signal en fonction de sa base de temps et tombera en mode **Stopped** dans le haut de l'écran et restera figé jusqu'au prochain appui de **Single seq**. Il est généralement nécessaire de faire quelques ajustements de Volt/Div et Sec/div avant d'avoir une belle lecture à l'écran.

Pour revenir au mode normal, appuyer sur **Run/Stop** jusqu'à voir le mode **Auto** ou **Trigg'd** dans le haut de l'écran.

Le dernier bouton à connaître est le bouton **Auto Set**. Cette option est un **couteau à double tranchant**. Elle demande à l'oscilloscope de s'auto configurer pour afficher le plus beau signal (selon lui) à l'écran, en changeant n'importe quelles options. Bien qu'elle puisse vous sortir de

l'embarras lorsque vous avez changé trop d'options et ne savez plus quoi faire pour afficher un signal ; utiliser cette option trop souvent aura plusieurs effets :

- Vous n'apprenez pas à utiliser l'appareil et devenez l'esclave de l'auto set.
- L'oscilloscope peut changer son couplage sans que vous ne vous en rendiez compte, ainsi vous ne verrez pas la composante **DC** à l'écran.
- Si plusieurs signaux sont présents en simultanés sur le canal (si le signal est modulé par exemple), l'oscilloscope ne va pas toujours l'afficher (c.-à-d. va afficher une représentation du signal qui ne montre pas bien la modulation).

4.4. Manipulations avec l'oscilloscope

Assurez-vous que la sonde jaune est bien dans l'entrée CH 1 (jaune) et que la sonde bleue est bien dans l'entrée CH 2 (bleu). Assurez-vous que les deux sondes sont en mode **10x** (interrupteur sur le côté de la sonde).

Trouvez sur le devant de l'oscilloscope deux anneaux de métal appelés **Probe Check** ou **Probe comp** ou **Probe Calib** qui servent à la calibration. Branchez-y la sonde jaune et reliez la pince de mise à la terre sur le 2^e anneau identifié par le symbole de mise à la terre. Référez-vous à la Figure 9 au besoin. Sur cet anneau, une onde carrée périodique est générée par l'oscilloscope pour aider la calibration des sondes. Nous allons utiliser ce signal pour tester les fonctionnalités de l'oscilloscope.



Figure 9. Branchement pour tester l'oscilloscope.

Appuyer sur le bouton **CH1 Menu** pour faire apparaître la ligne jaune à l'écran (si elle n'est pas déjà présente). Dans le menu **Ch1 Menu**, mettre le couplage en mode **DC**, la sonde en mode **10x** et s'assurer que l'inversion n'est pas activée. Dans le menu **Trigger**, assurez-vous que l'oscilloscope soit configuré en mode **Type Front** ou **Edge** et que la source soit sur le **CH1**.

Ajustez les boutons **volts/div**, **vertical position** et **sec/div** afin d'avoir 2 à 3 périodes du signal à l'écran et que l'amplitude occupe plus de 50 % de l'écran. Pour faire des lectures faciles, il est conseillé d'ajuster le bouton de **vertical position** afin d'avoir un plateau directement sur une ligne de division. Dans la même idée, ajuster la position horizontale afin d'avoir un front sur une ligne de division. Si le signal ne se stabilise jamais à l'écran, ajuster le bouton **Trigger Level** de manière

à ce que la flèche à droite de l'écran soit environ au milieu du signal, l'image devrait alors se stabiliser.

En ne se basant que sur les lignes de division, mesurer l'amplitude crête-à-crête du signal. En regardant la référence 0 V, trouver l'amplitude du signal.

Rappel : L'amplitude se trouve en multipliant le nombre de divisions par l'échelle Volts/div en bas à gauche de l'écran.

En comptant les divisions, déterminez la période de ce signal (multipliez le nombre de divisions par l'échelle de temps en bas à droite de l'écran). Avec cette période, déterminez la fréquence du signal⁸.

Si vos mesures sont cohérentes, passez au point suivant ; si non, vérifiez vos manipulations et configurations dans les menus.

Tel que présenter précédemment, ce signal en onde carrée sert à calibrer les sondes. Vous trouverez une petite vis proche de la connexion à l'oscilloscope qui permet de sous-compenser et de surcompenser les sondes. Si votre onde carrée ressemble à l'une des deux situations de la Figure 10, c'est que la sonde doit être calibrée en se servant d'un tournevis en plastique (tout autre outil nuira à la lecture du résultat de la calibration).

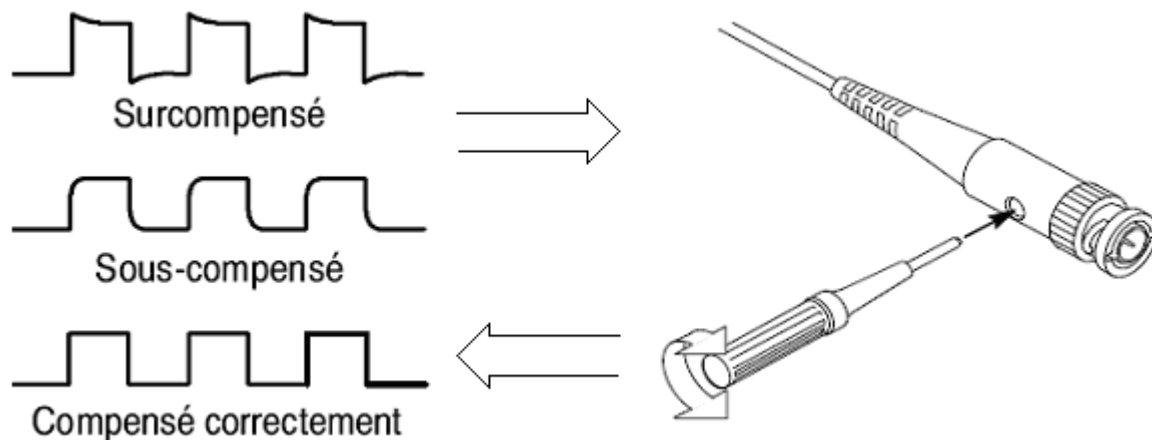


Figure 10. Adaptation de la sonde à l'oscilloscope.

Modifiez le **trigger level** jusqu'à ce que la flèche à droite de l'écran 'sorte' de l'écran. Qu'arrive-t-il au signal ? Que comprenez-vous de cette situation ? Pourquoi l'oscilloscope ne peut-il pas

⁸ Réponse : Le signal de calibration est 0-5 V et de 1 kHz (période de 1 ms) ou de 0-3 V et de 1 kHz

synchroniser le signal ?⁹ Ramenez le **trigger level** à son niveau précédent avant de passer à l'autre étape.

Dans le menu **CH1 Menu**, modifiez le couplage pour être en **couplage alternatif (AC)**. Qu'arrive-t-il au signal ? Est-ce que l'amplitude a changé ? Est-ce que la fréquence a changé ? Est-ce que le signal d'entrée a vraiment changé ou est-ce uniquement l'affichage qui est différent ?¹⁰ Ramenez le couplage dans le mode **DC** avant de passer à l'étape suivante.

Ouvrez le menu **Measure**. En appuyant sur les boutons à la droite de l'écran ou sur le bouton « Type » en bas de l'écran, faites circuler toutes les mesures possibles que peut fournir l'**oscilloscope**. Après vous être familiarisé avec les différentes mesures possibles, affichez la tension RMS du signal sur **l'un des 4 ou 5 emplacements de mesure**.

Avec le **multimètre**, prenez cette même valeur de tension RMS et comparez les deux. Est-ce que les valeurs divergent ? Pourquoi ? Déterminez qui a raison et pourquoi¹¹. Au besoin, faites le calcul complet dans votre cahier de laboratoire.

Prenez la 2^e sonde (bleu ou rose) et branchez la sonde au même point. Dans le menu **CH2 Menu**, faites inverser la valeur affichée à l'écran. Changez les volts/div et les deux positions verticales des deux canaux afin de bien voir les deux signaux à l'écran (généralement le CH1 en haut et le CH2 en bas).

Dans le menu **Math Menu**, essayer les différentes options possibles. Si vous additionnez les deux signaux ($CH1 + (-1 \times CH2)$), qu'affichera le signal rouge ou blanc ? Si vous faite la soustraction des deux canaux ($CH1 - (-1 \times CH2)$), que devriez-vous obtenir à l'écran ?¹²

⁹ Réponse : Le signal ne passe jamais le seuil de déclenchement. L'oscilloscope affiche n'importe quoi.

¹⁰ Réponse : En réalité, le signal est une onde carrée périodique de 1 kHz de $\pm 2,5$ V à laquelle est ajoutée une tension DC de 2,5V pour générer une onde carrée périodique 0 à 5 V. Le fait de se mettre en AC enlève la composante DC de 2,5 V et l'on retrouve seulement le signal carré de $\pm 2,5$ V.

¹¹ Si vous n'avez pas trouvé, relisez la section 2.3.3.

¹² Réponse : une tension DC et le signal multiplié par 2 en amplitude.

5. LE GÉNÉRATEUR DE FONCTION

5.1. Définition

Un générateur de fonction est un appareil qui génère un signal dont l'amplitude varie en fonction du temps, généralement de façon périodique, avec une période de répétition T . telle qu'illustrées à la Figure 11, les fonctions temporelles classiques générées par à peu près tous les générateurs de fonction, incluant le modèle 33120A de Hewlett Packard à l'étude, sont :

- 1- La fonction sinusoïdale (ou sinusoïde)
- 2- La fonction en créneaux (ou onde carrée)
- 3- La fonction en triangles (ou onde triangulaire)
- 4- La fonction en dent-de-scie (ou la dent-de-scie)

L'utilisateur peut ajuster le niveau d'amplitude crête à crête (en volt), la fréquence f (en Hertz) du signal et la tension continue de décalage.

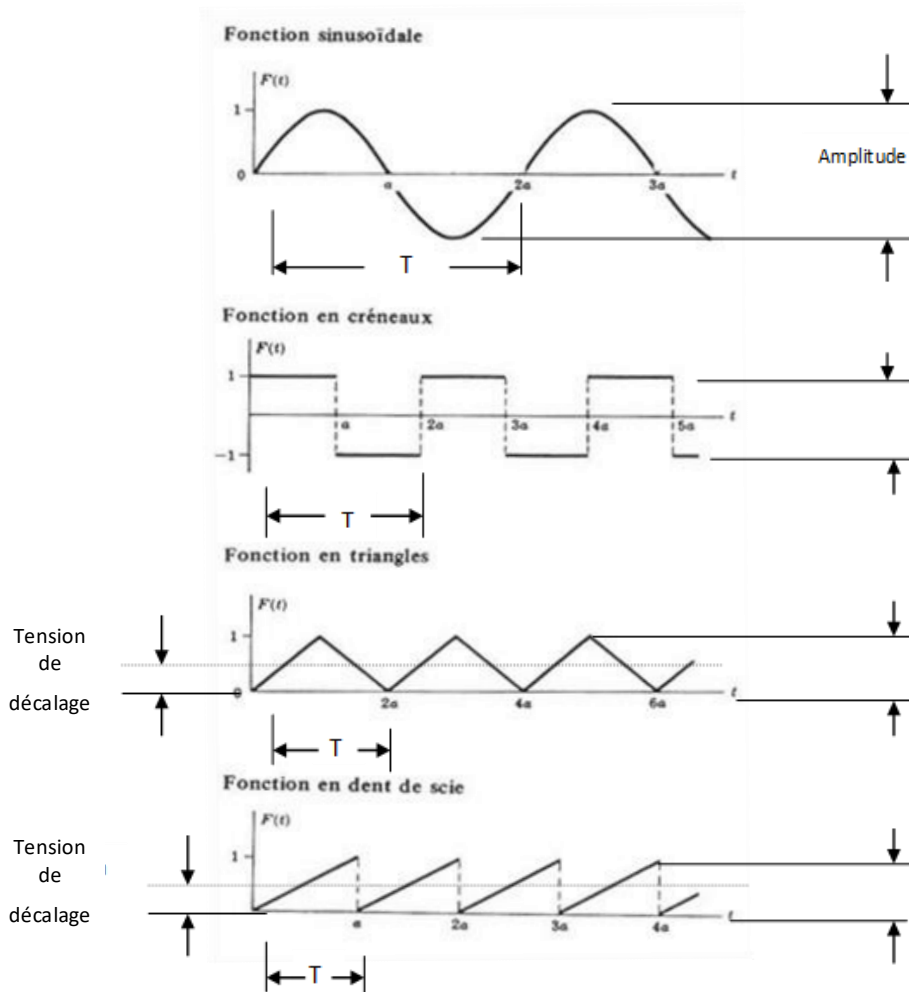


Figure 11. Fonctions de base générées par un générateur de fonction.

5.2. Les générateurs disponibles



Agilent 3310 A
Pareil au modèle Hewlett Packard #33120A
(dans la plupart des laboratoires)



Thurlby Thandar Instrument #TG120
(C1-3016)



Tektronix AFG 3021B
(C1-4103)



Siglent SDG1050



BK Precision 3011B



Wavetek FG2A

5.3. Fonctionnalités de base

5.3.1. L'accès aux fonctionnalités de base du HP 3310/33120A

La Figure 12 présente la face avant du générateur de fonction. On y retrouve deux rangées de touches. La plupart de ces touches possèdent trois fonctionnalités distinctes représentées par les couleurs noire, bleue et verte. Lors de la mise en marche, les fonctionnalités noires prévalent. On accède aux fonctionnalités bleues en appuyant d'abord sur la **touche bleue Shift** (le voyant lumineux **Shift** s'allume) puis sur la fonction bleue désirée (le voyant lumineux correspondant s'allume). Pour revenir aux fonctionnalités noires, appuyer à nouveau sur la touche bleue **Shift** (le voyant lumineux **Shift** s'éteint). L'accès aux données numériques de couleur verte se fait en appuyant d'abord sur la **touche verte Enter Number** (le voyant lumineux **Num** s'allume) puis sur chacune des touches composant le nombre désiré. La sélection de l'unité de fréquence ou de voltage désirée suit et se fait par l'entremise de trois des quatre touches verticales localisées à droite de l'appareil, juste à côté des deux connecteurs BNC de sortie. Pour revenir aux fonctionnalités noires, appuyer sur les touches **Shift** et **Cancel** (le voyant lumineux **Num** s'éteint).

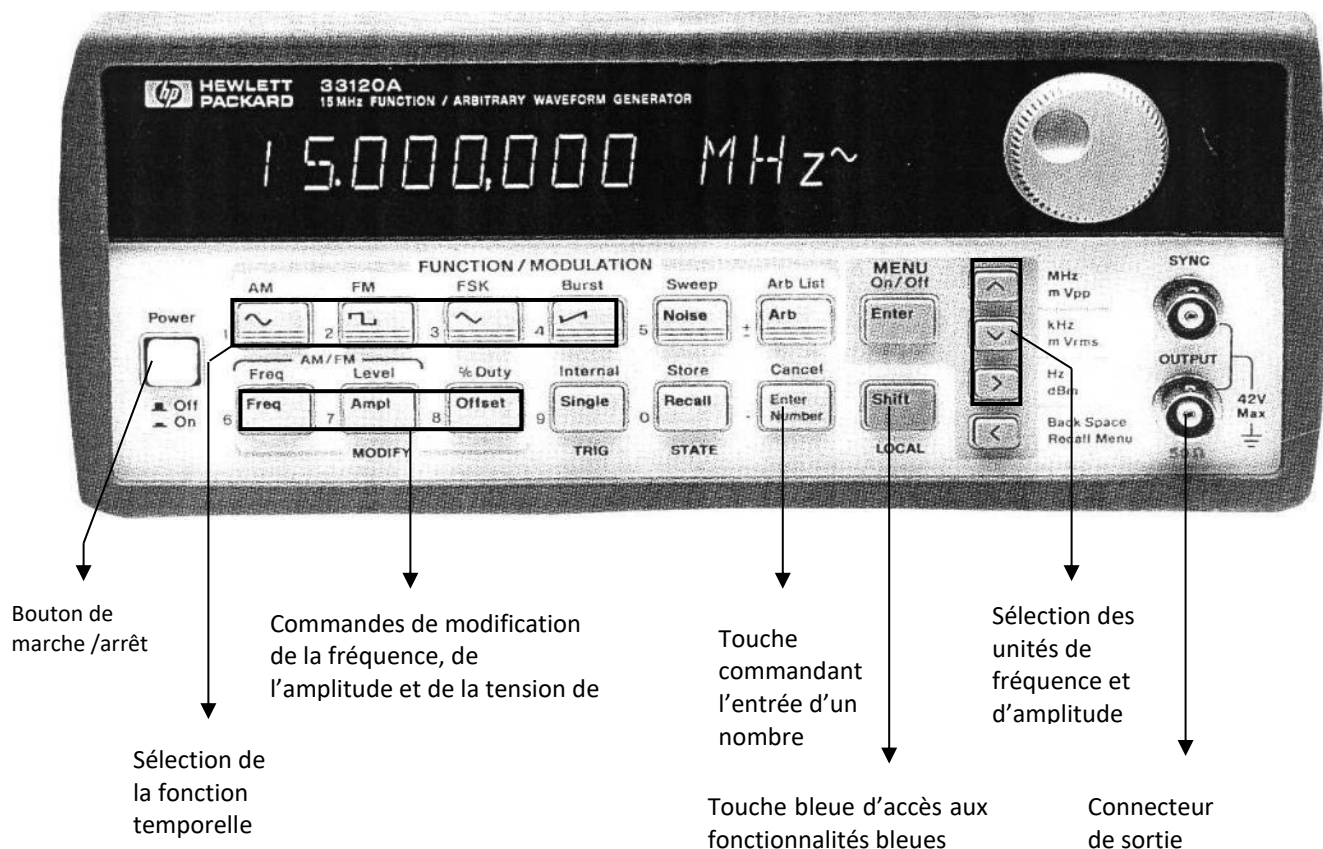


Figure 12. Localisation des commandes de base du HP 33120A.

5.3.2. L'accès aux fonctionnalités de base du TTI TG120

L'ensemble des fonctionnalités du générateur TG120 se retrouve à l'aide des boutons rotatifs, tel qu'illustré à la Figure 13. De gauche à droite, on retrouve le bouton d'unité de fréquence (de 0 à 2), puis le multiplicateur de cette unité (en puissances de 10). La fréquence résultante sera (unité * multiplicateur).

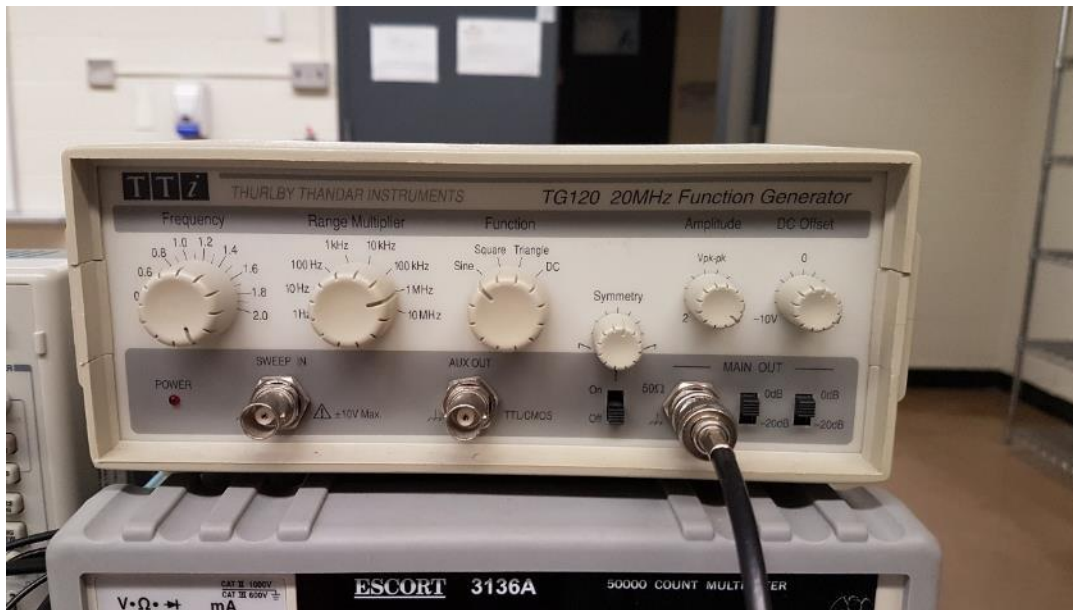


Figure 13. Localisation des commandes de base du TTI TG120.

Ensuite le sélecteur de forme d'onde désirée. Le bouton symétrie permet d'effectuer les opérations suivantes sur les formes d'ondes :

- En mode onde carrée : change le rapport cyclique (*duty cycle*) du signal de sortie
- En mode sinus : change la symétrie entre l'alternance positive et négative (afin d'induire une distorsion volontaire dans le signal)
- En mode triangle, permet de changer le ratio entre la pente montante et descendante du signal. Aux extrêmes, la forme d'onde se transformera en onde en dents de scie (*sawtooth wave*).
- En mode DC : rien i.e. génère un DC

Le bouton amplitude permet de choisir l'amplitude désirée à la sortie (2 à 20 V). Si l'amplitude désirée n'est pas permise (<2 V), il est possible d'ajouter jusqu'à deux atténuateurs de -20 dB sur la sortie. Ces atténuateurs sont accessibles par les interrupteurs sous **Main out.**

Le bouton offset DC permet d'ajouter une composante DC au signal. Ce signal est aussi affecté par les atténuateurs -20 dB discutés ci-haut.

5.3.3. L'accès aux fonctionnalités de base du SDG1050

Le SDG1050 (Figure 14), pour sa part, possède 2 sorties distinctes (CH1 et CH2) sélectionnées avec le bouton de sélection de canal. Pour chacune de ces sorties, l'utilisateur sélectionne la forme d'onde désirée (waveform keys). Par la suite, il faut ajuster les caractéristiques de l'onde (fréquence, amplitude, offset et plusieurs autres) avec les boutons situés à droite de l'écran LCD. Les valeurs seront choisies à partir du clavier numérique. Pour sélectionner une précision décimale, utiliser les flèches de direction et le bouton rotatif. Quand l'onde choisie est configurée, il reste à activer le bouton de la sortie désirée.

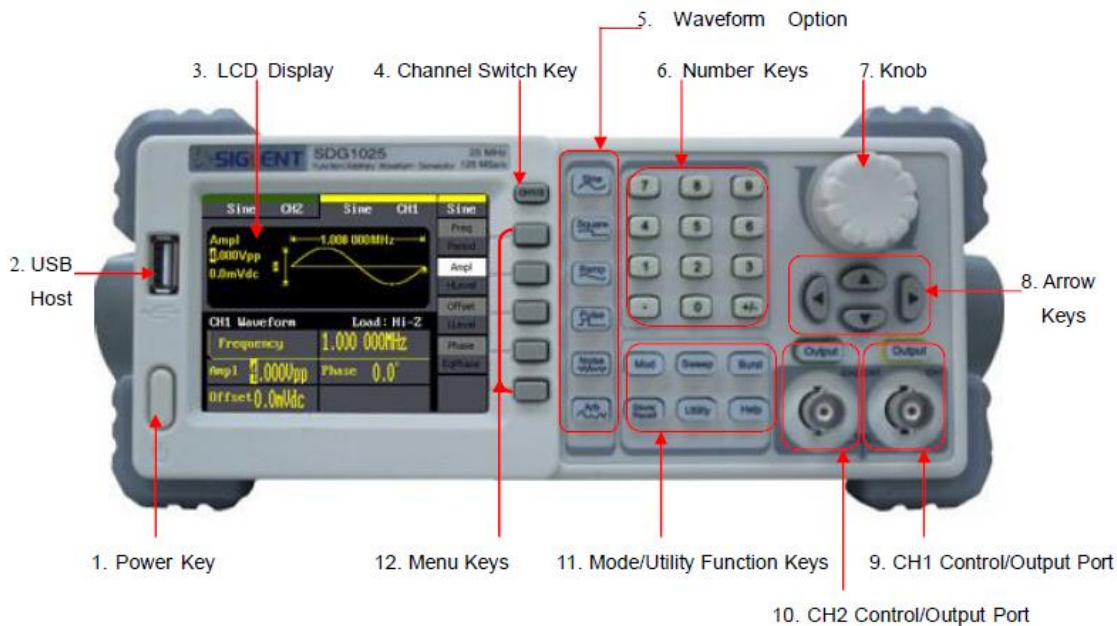


Figure 14. Localisation des commandes de base du Siglent SDG 1050.

5.3.4. L'accès aux fonctionnalités de base du BK Precision 3011B et Wavetek FG2A



Figure 15. Localisation des commandes des BK Precision 3011B et Wavetek FG2A

L'ensemble des fonctionnalités des générateurs se retrouvent à l'aide des boutons poussoirs et des boutons rotatifs, tel qu'illustré à la Figure 15.

De gauche à droite, on retrouve les boutons de gammes de fréquences allant de 1 MHz à 1 Hz tout en diminuant à chaque décade. L'ajustement de la fréquence se fait à l'aide du bouton rotatif « **Coarse/Fine** » ou « **Frequency** ». L'ajustement de ce bouton permet une variation de 0,2 à 2 fois la gamme sélectionnée (par exemple, si la gamme de fréquences est ajustée à 10K, le bouton d'ajustement de fréquence va permettre d'aller de 2 kHz à 20 kHz).

Ensuite le sélecteur « **Function** » permet de choisir la forme d'onde entre les trois formes de base. Il sera possible d'obtenir des variantes de ces formes d'onde en ajustant d'autres paramètres, tels que la symétrie.

Le bouton symétrie (« **Duty** » ou « **Duty Cycle** ») permet d'effectuer les opérations suivantes sur les formes d'ondes :

- En mode onde carrée : change le rapport cyclique du signal de sortie
- En mode sinus : change la symétrie entre l'alternance positive et négative (afin d'induire une distorsion volontaire dans le signal)

- En mode triangle, permet de changer le ratio entre la pente montante et descendante du signal. Aux extrêmes, la forme d'onde se transformera en onde en dents de scie (« sawtooth wave »).

Lorsque le bouton de symétrie est à la position « **CAL** », ceci signifie que la symétrie est de 50/50. Le bouton rotatif d'amplitude permet de choisir l'amplitude désirée à la sortie (20 V_{pp} en circuit ouvert et 10 V_{pp} avec une charge de 50 Ω). Si l'amplitude désirée est trop petite, il est possible d'ajouter atténuation de -20 dB sur la sortie en tirant sur le bouton rotatif « **Ampl** » ou « **Amplitude** ».

Le bouton « **Offset** » ou « **DC offset** » permet d'ajouter une composante DC au signal (±10 V en circuit ouvert et ±5 V avec une charge de 50 Ω). Pour l'ajustement, il faut tirer le bouton rotatif, sinon la composante DC demeure à zéro. Il faut s'assurer que l'ajout de la composante DC ne fait pas en sorte de dépasser la limite de tension permise par le générateur. Dans un tel cas, la forme d'onde sera « clippée » à la sortie.

5.3.5. Impédance de sortie de 50 Ω

Comme pour l'oscilloscope, où la pince crocodile des sondes est toujours reliée à la masse, les générateurs ont aussi leurs caractéristiques uniques. Parmi celles-ci une impédance de sortie de 50 Ω. Cette impédance signifie deux choses :

1. Le générateur a une résistance de 50 Ω entre sa source de tension et sa sortie.
2. Le générateur s'attend à être branché à une charge de 50 Ω.

Ainsi, si vous faites le calcul du diviseur de potentiel (2 résistances de 50 Ω) créé entre le générateur et sa charge, on note que l'impédance de sortie du générateur absorbera la moitié de la tension. Pour contrebalancer cet effet prévisible, la plupart des générateurs vont générer une tension deux fois plus grande que celle demandée (car il s'attend à pousser l'énergie dans une charge de 50 Ω).

Généralement, pour le type de signaux avec lesquels vous allez travailler, une impédance d'entrée très grande est plus commune qu'une entrée 50 Ω. L'impédance de 50 Ω est utilisée pour les signaux haute fréquence pour lesquels il faut voir des traces à impédance contrôlée sur le circuit imprimé. Ces notions sont au menu de la S6 en génie électrique. En fait, la problématique que vous allez vivre sera que la tension de sortie pourrait être multipliée par 2 sans que vous vous y attendiez. En conséquence, prenez toujours l'habitude d'ajuster votre amplitude de sortie avec l'**oscilloscope**. Ainsi, vous vous assurez d'envoyer la bonne tension à votre circuit. En plus, la visualisation du signal à l'écran permet aussi de savoir si un autre mode non désiré est encore en fonction (symétrie ou modulation par exemple).

5.4. Manipulations avec le générateur de fonction

Allumer le générateur et ajuster l'amplitude au minimum. Brancher le générateur aux bornes de la plus haute résistance utilisée lors des manipulations avec le multimètre. Brancher l'oscilloscope aux bornes de cette même résistance (pince crocodile de l'oscilloscope sur la pince noire du générateur et le crochet de la sonde de l'oscilloscope sur la pince rouge du générateur). Pour ceux dans le local C1-3016 et 4028, assurez-vous que les atténuateurs -20 dB ne soient pas enclenchés.

Afin de bien vous familiariser avec les menus, générez les formes d'onde suivantes, en confirmant toujours le résultat avec l'oscilloscope. Comparez aussi la mesure du multimètre (en mode RMS) et la mesure de l'oscilloscope.

- Sinus de 1 kHz de -5 à 5 V.
- Sinus de 10 kHz de 0 à 5 V (vous aurez besoin d'une tension de décalage (*offset DC*)).
- Onde carrée de 5 kHz, de 0 à 5 V avec un rapport cyclique de 50%.
- Onde carrée de 500 Hz, de -2 à 5 V avec un rapport cyclique d'environ 25%
- Onde triangulaire de 200 mV_{c.à c.} à 100 Hz
 - Pour ceux aux C1-3016, vous aurez besoin des atténuateurs -20dB pour cette opération

6. LA MESURE D'UN COURANT AVEC UN OSCILLOSCOPE

6.1. Description

Lorsqu'un circuit est terminé et encapsulé dans un boîtier, il n'est pas toujours possible d'aller mesurer où bon nous semble afin de déterminer le courant circulant dans un circuit. Pour cette mesure, il est possible d'ajouter une petite résistance en série entre la source et le circuit et d'en mesurer une différence de potentiel (Figure 16). Ensuite, en connaissant la valeur de la résistance, il est possible de déduire le courant avec $= \frac{V}{R}$. Pour obtenir de bons résultats, il faut choisir une résistance suffisamment petite pour ne pas affecter le circuit de base, mais suffisamment grande pour avoir un ΔV mesurable.

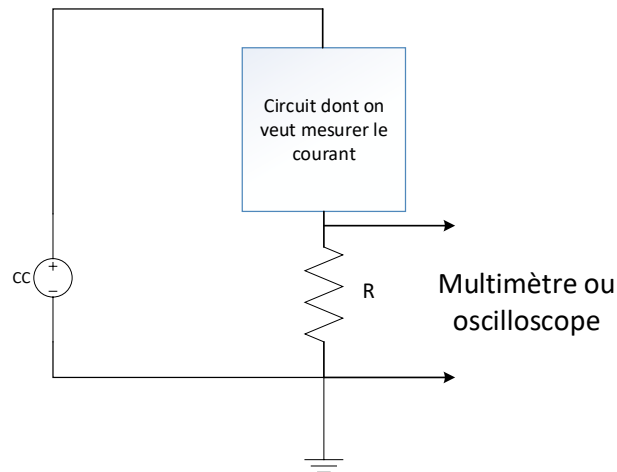


Figure 16. Mesure du courant dans un circuit avec une petite résistance en série

6.2. Manipulations pour la mesure d'un courant avec une résistance

- À l'aide du générateur de fonction, générer une onde carrée de 100 Hz dont l'amplitude varie, en circuit ouvert, entre un niveau bas de 0 V et un niveau haut de +10 V (10 V crête à crête avec un « offset » de + 5 V).
- Valider à l'aide de l'oscilloscope votre sortie du générateur de fonction.
- Placer une résistance de 1 k Ω entre les deux les deux pinces alligators du générateur de fonction.

- Mesurez la chute de tension dans la résistance de $1\text{ k}\Omega$ à l'aide de l'oscilloscope. Vous pouvez déduire le courant, en utilisant la relation $I = V/R$, et vous pouvez déduire que le courant présente la même forme temporelle.
 - Maintenant, ajoutez une résistance de 10 Ohms entre la résistance de $1\text{ k}\Omega$ et la masse (pince noire (-))¹³ et mesurez la chute de tension dans la résistance de $10\text{ }\Omega$. En utilisant la même relation $I = V/R$, il est plus facile d'estimer le courant qui passe dans la résistance de $1\text{ k}\Omega$.
 - Pensez-vous que l'ajout de la résistance de 10 Ohms a un effet sur le courant circulant dans la résistance de $1\text{ k}\Omega$. C'est sûrement négligeable avec des résistances de 5% .
- Refaite la même expérience, mais cette fois-ci avec une source de tension continue à 10 V qui remplacera le générateur de fonction.

¹³ Faites un schéma électrique avant de faire ce branchement pour ne pas inverser les 2 résistances. Ce positionnement permet l'utilisation d'une seule sonde pour la mesure.