



SORBONNE
UNIVERSITÉ

université
PARIS-SACLAY

Centre interuniversitaire de préparation à l'agrégation de Montrouge

MESURES ÉLECTRIQUES

2024-2025



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited. This license does not permit commercial exploitation or the creation of derivative works without specific permission.

Table des matières

1	Introduction aux manipulations en électricité	3
1.1	Lexique d'électricité	3
1.2	Mesure de résistance	3
1.3	Quelle masse ?	5
1.4	Quelle terre ?	5
2	Visualiser un signal : l'oscilloscope	5
2.1	Introduction	5
2.2	Mesure de tension : couplages AC et DC	6
2.3	Déclenchement	6
2.4	Fonctions utiles	7
3	Mesurer une tension en s'affranchissant de la masse	8
3.1	Méthodes pour s'affranchir de la masse du circuit	8
3.2	Application au cas d'un circuit RC	8
3.3	Mesure d'une tension efficace à l'aide d'un voltmètre numérique	9
4	Principe de la mesure à 4 points et application à la résistivité du cuivre	9
4.1	Nécessité d'une mesure à 4 points	9
4.2	Mesure de la conductivité électrique du cuivre	10
5	Impédances d'entrée et de sortie	10
5.1	Mesure de l'impédance d'entrée d'un oscilloscope	10
5.2	Mesure de la résistance de sortie d'un générateur basse fréquence	11

Bibliographie :

- Tous les manuels d'introduction à l'électronique
- R. Journeaux, *Electricité, électronique, optique*, De Boeck (1998)
- H-PREPA *Electronique-Electrocinétique II*, 1ère année PCSI-PTSI (ancienne édition)
- H-PREPA *Electronique I*, 2ème année PSI (ancienne édition)
- Auvray, *Électronique des signaux analogiques*, chap. II

1 Introduction aux manipulations en électricité

1.1 Lexique d'électricité

- **Cordon** : c'est la dénomination officielle des simples "fils". Il peut y avoir des cordons de sécurité faites pour les hautes tension, dans ce cas les extrémités ont des manchons non rétractables qui évitent un éventuel contact avec les doigts.
- **Câble coaxial** : Le câble bifilaire coaxial, ou ligne coaxiale, désigne une ligne de transmission composée d'un câble à deux conducteurs (central et extérieur), dont le conducteur externe assure le plus souvent le blindage (image ci-dessous)
- **Banane** : connecteur simple, relié à un cable avec un seul fil.
- **BNC** (connecteur «Bayonet Neill-Concelman») : connecteur double. Il est fait de deux fiches concentriques, entre lesquelles on peut appliquer une tension allant jusqu'à 1000~V. On l'utilise avec du câble bifilaire coaxial, également capable de supporter de telles tensions.

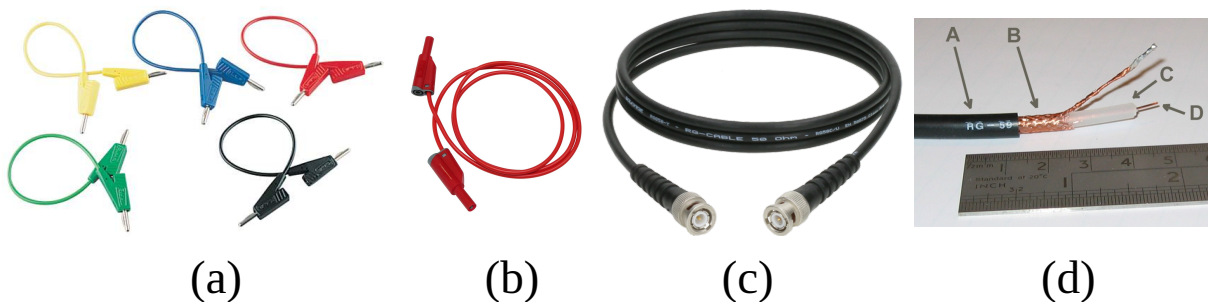


FIGURE 1 – (a) cordons simples (b) cordon de sécurité (c) câble coaxial avec connecteurs BNC (d) intérieur d'un câble coaxial : A : Gaine extérieure en plastique, B : Blindage en cuivre, C : Diélectrique, D : Conducteur central (âme) en cuivre

- **Alimentation** : désigne une source continue de tension ou de courant.
- **GBF** : générateur basse fréquence (de quelques Hz à quelques MHz).
- **Carcasse** : capot métallique d'un appareil.
- **Masse** : il s'agit d'un point du circuit électrique qui servira de référence pour toutes les mesures de tension. Il ne faut pas la confondre avec la terre, même si c'est très souvent la terre qui est prise comme référence.
- **Terre** : potentiel de la Terre (littéralement le potentiel du sol). Sur les appareils modernes, la carcasse de l'appareil est reliée à la Terre, et sert aussi de masse du circuit.
- **Prise de terre** :
 - troisième fiche d'une prise électrique, reliée à un pieu conducteur planté dans la terre, au niveau des fondations du bâtiment ;
 - troisième fiche du cordon d'alimentation d'un appareil, reliée à sa carcasse si elle est conductrice. C'est une sécurité qui permet d'éviter que la carcasse soit sous tension en cas de défaut de l'appareil.
- **Résistance de charge** : résistance utile, branchée en aval du générateur, dans laquelle on cherche à débiter de la puissance.
- **Masse flottante** : l'appareil délivre une tension dont aucun des potentiels n'est fixé la Terre. L'expérimentateur peut choisir librement l'emplacement de la masse. À Montrouge nous n'avons pas de GBF à masse flottante.
- **Oscilloscope différentiel** : oscilloscope qui évalue la tension entre deux entrées, alors qu'un oscilloscope normal évalue la tension entre une entrée et sa carcasse toujours liée à la Terre et donc la masse du système.
- **AOIP** : «AOIP» signifie «Association des ouvriers en instruments de précision». Par métonymie, on appelle AOIP les boîtes de résistances réglables.

1.2 Mesure de résistance

Nous allons ici commencer par mesurer de deux façons différentes une résistance R : (1) avec un ohmmètre, (2) avec deux multimètres.



FIGURE 2 – Boîte de résistance variable. Ici le facteur multiplicatif est 1000 (comprendre 1000Ω), et le cylindre métallique est en face de 1. Cela signifie qu'entre A et B, la résistance est $1 \times 1000 = 1000\Omega$, entre A et C il y a toujours la résistance maximale du boîtier : $11 \times 1000 = 11000\Omega$, et entre B et C le complémentaire $11 - 1 = 10$, $10 \times 1000 = 10000\Omega$.

L'instrument de base : l'ohmmètre Rappelons qu'un ohmmètre ne s'utilise que sur un appareil **débranché** ! Pourquoi ?

- à cause de son principe de mesure : l'ohmmètre est un générateur de courant, qui débite un courant constant (dont la valeur est imposée par le calibre choisi), un voltmètre interne mesurant alors la tension à ses propres bornes,
- pour d'évidentes raisons de sécurité en haute tension.

À l'aide d'un ohmmètre, par exemple le multimètre Metrix MX579, déterminer quelles sont les bornes connectées entre elles pour un câble coaxial BNC - banane et pour un BNC - BNC. De même, prendre un boîtier de résistances AOIP et mesurer les résistances entre ses trois bornes.

Remarque : en toute rigueur, le dipôle électrique qu'on appelle *résistance* devrait se dénommer *conducteur ohmique*. Comme on ne dit pas *Capacité* mais *condensateur* ou de même *inductance* mais *bobine*. La résistance R d'un élément est la partie réelle de son impédance. Par métonymie (encore), on parle de résistance pour un conducteur ohmique. C'est très classique, mais un inconvénient important est qu'on réduit un conducteur ohmique à sa résistance, alors qu'il peut aussi avoir des effets inductifs ou capacitifs. De même pour les condensateurs et les bobines qui ont des résistances internes.

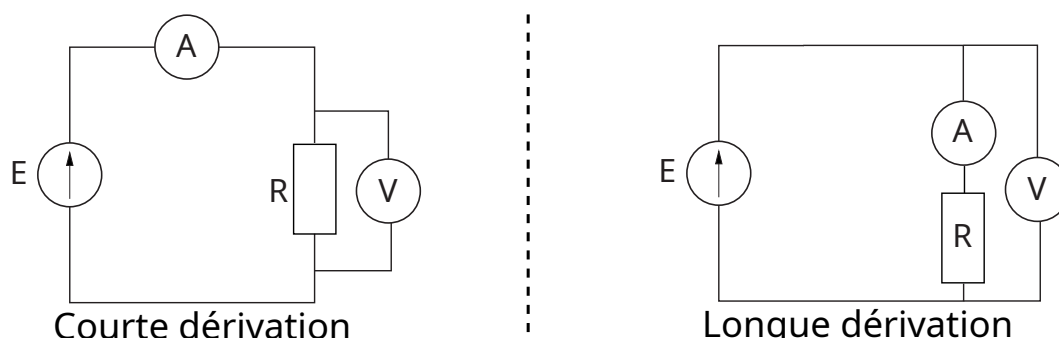


FIGURE 3 – Méthodes de mesure d'une résistance.

Avec un voltmètre et un ampèremètre Il existe deux méthodes pour mesurer tension et courant (schématisées sur la figure ci-dessous) :

- courte dérivation : le voltmètre est branché aux bornes du dipôle, l'ampèremètre est à l'extérieur ;

- longue dérivation : on mesure la tension aux bornes de la branche contenant le dipôle et l'ampèremètre.

Réaliser les deux protocoles pour des résistances allant de $0,1\Omega$ à $10\text{ M}\Omega$. Pour quelle gamme de résistance ces deux méthodes sont-elles adaptées ? *On pensera en particulier à comparer la résistance mesurée aux résistances internes des appareils de mesure, sachant que lorsque deux composantes de résistances très différentes sont utilisées, on peut négliger l'effet de la résistance la plus faible lorsqu'elles sont en série, et de la résistance la plus grande lorsqu'elles sont en parallèle.*

1.3 Quelle masse ?

Pour rappel, la masse est le potentiel électrique en un point du circuit qui va servir de référence. Avec des GBF standards, la masse est nécessairement fixée à la carcasse du GBF et à la terre. Mais dans l'absolu on pourrait choisir n'importe quel point du système.

La plupart des composants que vous utiliserez cette année sont fixés dans un boîtier. Soit c'est une simple carcasse en plastique, soit c'est une carcasse métallique, éventuellement recouverte d'une protection en plastique (obligatoire avec les normes actuelles). La couche métallique permet d'isoler l'intérieur de l'appareil de perturbations électromagnétiques extérieures (effet de cage de Faraday), la protection plastique/vernée évite les éventuels contacts avec le corps humain. Sur de vieux appareils, il y a parfois une prise séparée qui permet de brancher un fil directement sur la carcasse, ce qui peut éliminer des parasites.

Repérer les masses à l'ohmmètre, en vérifiant par exemple :

- si les carcasses sont métalliques, vernées, connectées à la Terre (accessible par exemple sur une multiprise),
- que sur un appareil muni d'une prise BNC, le contact extérieur de la BNC est relié à la carcasse,
- que les prises "carcasses" sur les boîtes à décades de condensateurs sont bien reliées aux dites carcasses. Dans les cas génériques, ces prises ne sont pas utiles, et on évitera de les confondre avec une vraie prise de ces dipôles.
- que s'il y a deux sorties BNC sur un instrument, comme sur les GBF ou oscilloscopes, les contacts extérieurs de ces sorties sont généralement reliés.

1.4 Quelle terre ?

Si la carcasse d'un appareil est métallique, elle doit désormais par sécurité être connectée au troisième fil des prises électriques. Ce fil est lui-même relié à un pieu conducteur planté dans la terre, au niveau des fondations du bâtiment. Vérifier à l'ohmmètre que, quand on branche au secteur les cordons d'alimentation d'un générateur basse fréquence et d'un oscilloscope, leurs deux carcasses sont connectées. **Autrement dit, qu'on le veuille ou non, deux points du circuit peuvent être déjà reliés avant qu'on ait commencé à manipuler.** À vous de voir si cela est un avantage ou un inconvénient dans le circuit que vous montez. En cas de doute, toujours vérifier avec un ohmmètre !

Remarque : Si l'entrée d'un appareil possède une prise BNC dont le contact extérieur n'est pas relié à la terre, il est dit **flottant** (au sens où le potentiel correspondant n'est pas à la valeur du potentiel de la terre).

2 Visualiser un signal : l'oscilloscope

On va se familiariser avec un premier oscilloscope numérique, le DSO-X 2002A. Dans la collection, vous trouverez également des oscilloscopes analogiques. Si ceux-ci sont plus délicats à manipuler, ils peuvent s'avérer utiles lorsque les oscilloscopes numériques atteignent leurs limites (à hautes fréquences par exemple).

2.1 Introduction

L'oscilloscope est un appareil permettant de visualiser des tensions en fonction du temps. Il peut être à deux ou quatre voies. Les oscilloscopes récents (numériques) permettent directement un traitement de données, et ont une fiche USB pour exporter des captures d'écran ou les données brutes.

Faire : Prendre le réflexe d'appuyer sur *Default Setup* à chaque fois qu'on prend un nouvel oscilloscope, pour s'assurer de revenir en configuration standard. Il est utile de prendre ce réflexe pour la suite de l'année, qui permet d'éviter de perdre du temps si l'oscilloscope a été configuré de façon inadaptée dans des manipulations précédentes (souvent un changement de couplage, une sonde, etc.). On pourra même de manière générale ré-appuyer sur *Default Setup* entre deux manipulations, ou après avoir trop déréglé sans le vouloir son oscilloscope.

Ne pas faire : on évitera d'utiliser la commande *Autoset*, qui donne généralement un réglage peu adapté, a tendance à se caler sur du bruit, et ne permet surtout pas de développer/montrer vos capacités expérimentales.

Allumer l'oscilloscope. Visualiser un signal sinusoïdal issu d'un GBF. La touche *Intensity* permet de régler la luminosité du spot lumineux, *Display* puis onglet *Grille* pour celle du quadrillage. Penser à adapter le signal à l'écran en jouant sur l'échelle verticale (le calibre) et la base de temps.

2.2 Mesure de tension : couplages AC et DC

Le signal d'entrée est un potentiel. L'oscilloscope comparera celui-ci à la masse du circuit.

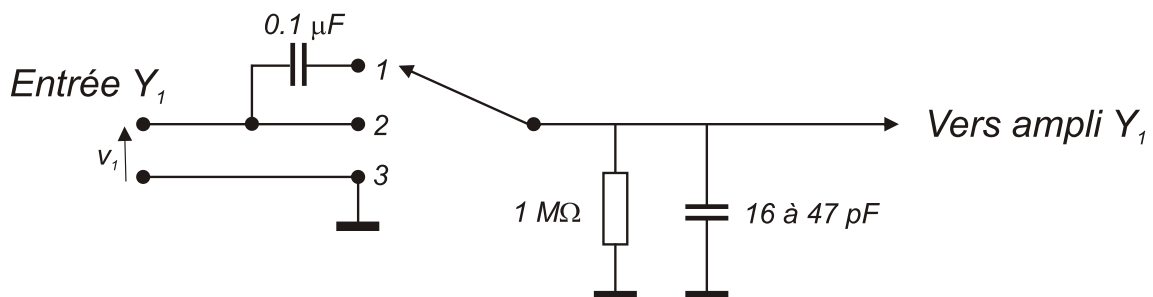


FIGURE 4 – Schéma équivalent de l'entrée d'un oscilloscope

1. **AC** (alternative coupling) : entrée par le condensateur qui arrête les très basses fréquences et le continu ;
2. **DC** (direct coupling) : entrée normale, utilisée dans 95% des cas ;
3. **GD** (ground) : court-circuit du signal d'entrée sur la terre. Quand il est disponible¹, ce réglage permet de repérer et donc de modifier le zéro de l'axe vertical.

Toujours brancher le signal en DC ! (au moins pour commencer)

Pour passer d'un mode à l'autre, appuyer sur la touche de la voie souhaitée puis dans le menu *Voie* appuyer sur la touche de fonction *Couplage*. Tester l'effet de ces différents modes sur un signal de 1 kHz ayant un décalage (*offset*).

2.3 Déclenchement

Afficher un signal variable sur un écran pour qu'il soit visible par l'œil n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît. Comment faire ? Afficher simplement la tension $U(t)$ en fonction du temps ? C'est possible pour des signaux de fréquence $< 1\text{Hz}$, mais rapidement inutilisable pour des signaux à plus haute fréquence. La technique est d'utiliser une tension de référence, appelée déclenchement.

L'oscilloscope sonde le signal entrant, et le compare à une valeur de tension constante et fixée par l'expérimentateur : le *niveau de déclenchement* (*trigger level*). Dès que le signal de mesure coupe le niveau de déclenchement, la tension commence à s'afficher sur l'écran de l'oscilloscope. Pour les signaux périodiques, cela permet donc de superposer exactement les signaux à différents instants $U(t)$ et $U(t + T)$.

Il est possible de régler le déclenchement en *front montant* (lorsque le signal coupe de valeurs inférieures à valeurs supérieures la référence), *front descendant* (l'inverse) ou les deux.

1. L'oscilloscope DSO-X-2002A ne le propose pas. Dans ce cas, on utilise la flèche à gauche de l'écran qui indique le zéro des tensions pour régler le décalage vertical.

Si le déclenchement n'est pas correctement réglé (typiquement quand le niveau dépasse l'amplitude maximale du signal), il n'est pas possible d'avoir de signal stable sur l'écran, ce qui interdit toute mesure.

Il existe plusieurs modes de déclenchement (*Trigger Mode*) pour un oscilloscope :

- **Mode normal** : l'oscilloscope compare le signal et le niveau du déclenchement, et lorsque le signal dépasse le niveau par *front montant* (ou bien tout autre réglage choisi), l'oscilloscope déclenche et affiche la tension sur l'écran de gauche à droite en temps réel, jusqu'à ce que celui-ci soit rempli. Il commence un nouvel affichage quand il détecte un nouveau déclenchement. Et si le déclenchement n'a jamais lieu, il n'affiche pas de signal et indique un *Decl* clignotant. **C'est LE mode de déclenchement à privilégier pour vos montages !**
- **Mode auto** : il est similaire au mode normal, mais l'oscilloscope force le déclenchement si le niveau n'est pas atteint après un certain temps. Il est à éviter quand on observe des signaux "lents", pour lesquels l'écran sera rafraîchi à des moments inopportuns. Dans ce mode, on a toujours quelque chose d'affiché à l'écran, quelque soit le *level*. Il est utile, par exemple, quand on ne connaît pas a priori l'amplitude du signal sur lequel on cherche à déclencher. C'est le mode par défaut utilisé dans les oscilloscopes DSO. Pour le changer, appuyer sur *Mode/Coupling* et choisir *Mode normal*.
- **Mode défilement** : dans ce cas, l'oscilloscope affiche continûment le signal à l'écran, et lorsque celui-ci est rempli, le signal se décale de droite à gauche pour afficher la suite du signal. Ce mode peut être très utile pour observer des phénomènes de période proche du Hz.

Question : dans quel cas doit-on faire attention à l'utilisation de *front montant* ou *descendant* ?

Lorsque le mode de déclenchement est choisi, il faut se demander sur quelle voie déclencher.

- celui des voies 1 ou 2,
- un signal externe (en EXT, à l'arrière de l'oscilloscope numérique).

Dans un circuit utilisant un générateur basse fréquence (GBF), les deux bonnes options sont :

- utiliser le signal du GBF comme signal de déclenchement (prendre l'habitude de le mettre en voie 1)
- utiliser le déclenchement *externe* sur la sortie synchro (ou TTL) du GBF, qui délivre des créneaux standardisés de tension (entre 0 et 5 V) synchronisés avec la sortie du GBF. C'est la méthode la plus propre. Pourquoi ?

Visualiser le signal TTL d'un GBF sur l'oscilloscope, et le comparer au signal de sortie du GBF lorsque vous changez la fréquence et l'amplitude.

Enfin, les touches en haut à droite de l'oscilloscope peuvent être utiles dans des cas spécifiques :

- **Single** : Par défaut, l'oscilloscope remplit l'écran et le rafraîchit en permanence. La touche *Single* en haut à droite permet de demander à l'oscilloscope de s'arrêter après avoir rempli une fois l'écran. Ce mode peut être pratique pour visualiser un phénomène unique : une décroissance exponentielle d'un oscillateur par exemple.
- **Run/Stop** : De façon similaire, appuyer sur *Run/Stop* arrête l'acquisition de l'oscilloscope (la touche est rouge), et ce jusqu'à ce qu'on appuie à nouveau dessus (la touche redevient verte).

2.4 Fonctions utiles

Sur l'oscilloscope on utilisera régulièrement :

- les calibres verticaux. Appuyer sur le bouton du calibre permet de passer du réglage grossier au réglage fin ;
- le décalage vertical et horizontal des signaux à l'aide des molettes spécifiques. Pour remettre le signal au centre de l'écran, appuyer sur la molette ;
- le cadran *Measure* : utilisation des cursors (*Cursors*), modification de l'affichage, dont la rémanence de la trace (*Display*), le repérage de fréquences, de tension crête-crête, etc. (*Meas*), et les opérations mathématiques dont l'addition, la soustraction, la transformée de Fourier (*Math*). Pour cette dernière, on peut régler la plage, le centre, etc (voir le TP Outils informatiques) ;

- la touche *Horiz* permet de passer en mode *XY* ou en mode *Défilement*.

3 Mesurer une tension en s'affranchissant de la masse

De façon générale, le fait que la masse du circuit soit fixée par le GBF n'est pas un problème. Mais il peut exister des cas problématiques, par exemple si l'on veut avoir de façon simultanée dans un circuit RC la tension aux bornes du condensateur et de la résistance. Étudions le montage (a) ci-dessous où la masse est fixée à une des bornes du GBF. Comment mesurer la tension aux bornes du boîtier AOIP ? Si l'on branche naïvement les deux bornes avec un câble BNC-banane à la voie d'un oscilloscope, la borne noire du câble étant reliée à la carcasse, donc la terre, donc la carcasse du GBF, donc la masse du circuit, le condensateur sera court-circuité. Faire l'essai

3.1 Méthodes pour s'affranchir de la masse du circuit

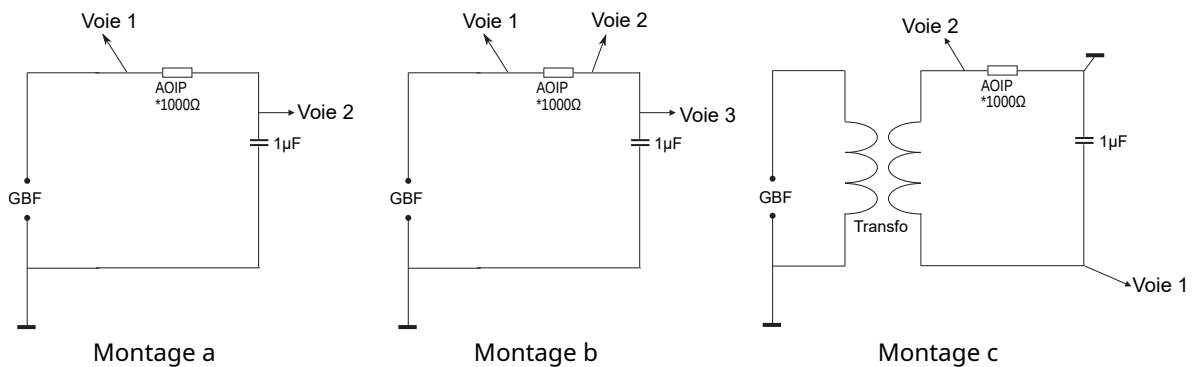


FIGURE 5 – Mesure à l'oscilloscope et problème de masse

Plusieurs solutions sont possibles :

Par soustraction avec un oscilloscope numérique (montage a) Avec le passage aux oscilloscopes numériques, il est nettement plus simple de faire une opération (numérique) de soustraction pour s'affranchir du problème de masse. On peut mesurer deux tensions, ici en voie 1 la tension aux bornes du GBF et en voie 2 la tension aux bornes du condensateur, puis les retrancher (avec la touche *Math*) pour en déduire celle aux bornes de la résistance (montage a) ; A Pour cela, brancher les deux tensions à soustraire en voies 1 et 2, et utiliser la touche *Math*. Comme cela utilise deux voies, on peut éventuellement utiliser un oscilloscope 4 voies si l'on a d'autres tensions à mesurer que celles nécessaires à l'opération de soustraction.

Avec un oscilloscope différentiel (montage b) Lorsque des problèmes de masse se présentent, on peut utiliser un oscilloscope différentiel pour mesurer des différences de potentiels. Dans la collection, vous trouverez quelques oscilloscopes analogiques différentiels pour cette fonction. Ne pas réaliser le montage.

Utilisation d'un transformateur d'isolement (montage c) Le problème venant de la masse fixée à une borne du GBF, il faut construire un circuit où le GBF est isolé du reste du système. Pour cela, on utilise un transformateur de rapport 1 (autant de spires dans le primaire que dans le secondaire). Dans ce cas, on l'appelle *transformateur d'isolement*. Sur le schéma de la figure 3.c, le GBF est isolé. On a donc la liberté de choisir la masse (*i.e.* le potentiel de référence) dans le second circuit. Choisir alors le point médian entre la résistance et le condensateur.

3.2 Application au cas d'un circuit RC

Réaliser le montage (c) avec le transformateur d'isolement du circuit RC. Montrer la quadrature entre les tensions aux bornes de R et de C :

- en mesurant le décalage temporel entre les deux sinusoïdes,

- en passant en XY.

Quelle tension est en avance sur l'autre ?

Remarque : Les oscilloscopes DSO ont un fonctionnement très étrange lorsqu'on utilise un déclenchement externe en mode XY. Faire l'essai : faire un circuit RC, mettre en voie 1 le GBF et en voie 2 la tension aux bornes du condensateur. Déclencher sur la voie 1, passer en mode XY. Puis changer le déclenchement sur un déclenchement externe en branchant un BNC à l'arrière de l'oscilloscope.

3.3 Mesure d'une tension efficace à l'aide d'un voltmètre numérique

Les voltmètres ont la possibilité de mesurer une tension stable dans le temps même si le signal en entrée varie. Il faut utiliser pour cela la fonction AC du voltmètre, qui pour un signal périodique donne la valeur efficace (dite aussi RMS, pour *Root Mean Square*) $\langle v^2 \rangle^{1/2}$.²

Pour une tension $v(t) = v_{DC} + v_{AC}(t)$,

- en position AC+DC (sur certains voltmètres), on lit $V_{\text{eff}} = (v_{DC}^2 + \langle v_{AC}^2 \rangle)^{1/2}$;
- en position DC, on lit v_{DC} ;
- en position AC, on lit $V_{\text{eff,AC}} = \langle v_{AC}^2 \rangle^{1/2}$.

Connecter un oscilloscope et un voltmètre numérique à un GBF délivrant un signal alternatif avec un décalage (*offset*), i.e. une tension continue additionnelle. Comparer $V_{\text{eff,AC}}$ et l'amplitude mesurée à l'oscilloscope pour différents types de signaux.

4 Principe de la mesure à 4 points et application à la résistivité du cuivre

On dispose d'un long rouleau de fil de cuivre, de section S et longueur L connues, et on cherche à en déterminer la résistance pour en déduire sa résistivité.

4.1 Nécessité d'une mesure à 4 points

Lorsqu'on cherche à mesurer une résistance faible d'un dipôle petite devant le ohm, il faut prendre en compte des résistances qu'on ne considère que rarement : les résistances de contact (en l'occurrence celles des soudures ici, mais ça peut être celles de connecteurs reliant des câbles, de pinces croco, etc.). Si on mesure naïvement la résistance du système, la valeur de ces résistances de contact peut être non-négligeable par rapport à celle que l'on cherche à évaluer. Pour mesurer la résistance réelle du fil de cuivre, il faut utiliser une mesure dite "4 points" : on utilise des fils différents pour amener du courant et pour assurer la mesure de la tension, qui ne sont pas connectés au même point du composant dont on veut mesurer la résistance.

Le voltmètre mesure une chute de tension entre ses deux points de mesure, qui incluent "dans l'ordre" un contact, le dipôle d'intérêt, puis un autre contact. Dans une mesure à deux points classique, la chute de tension mesurée s'écrit $\Delta V = 2R_{\text{contact}}I + R_{\text{dip}}I$. En général $R_{\text{dip}} \gg R_{\text{contact}}$, ce qui masque les résistances parasites. Mais si la résistance des contacts est du même ordre ou plus grande que celle du dipôle, alors la valeur mesurée sera faussée. L'idée est donc d'utiliser pour la mesure de tension des contacts dédiés dans lesquels aucun courant n'est imposé, ce qui éliminera la chute de tension parasite. Dans ce cas, seul le très faible courant résiduel passant par le voltmètre traversera les contacts, donc : $\Delta V = 2R_{\text{contact}}I_{\text{volt}} + R_{\text{dip}}I \approx R_{\text{dip}}I$ puisque le terme impliquant $I_{\text{volt}} \ll I$ peut être en général négligé.

Sur la figure ci-dessus, on représente ces résistances parasites, et on voit que la mesure au voltmètre ne les fait effectivement pas intervenir puisque $r_{A'}$ et $r_{B'}$ sont parcourues par un courant I' négligeable devant le courant

². On parle ici des voltmètres numériques, ceux que vous utiliserez pendant l'année. Les anciens voltmètres analogiques à redresseur ne donne la valeur RMS que dans le cas d'un signal sinusoïdal. Pour d'autres types de signaux périodiques, il faut appliquer un coefficient correctif appelé *facteur de forme*. Pour les relations entre valeur efficace, valeur moyenne et facteur de forme des différents signaux, voir Berty (pp. 34-38).

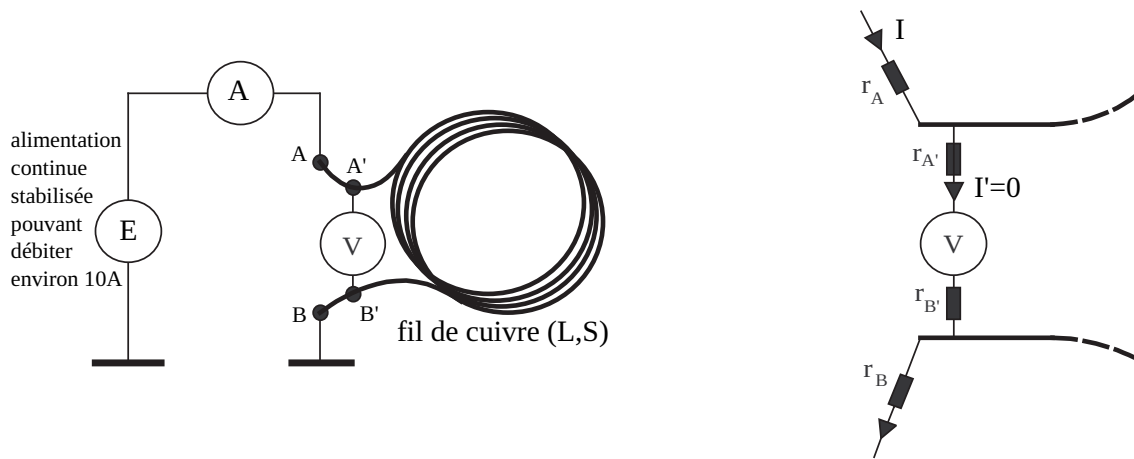


FIGURE 6 – Mesure de la résistance d'un fil de cuivre

principal I .

4.2 Mesure de la conductivité électrique du cuivre

Réaliser le montage ci-dessus, à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre. On peut accéder à la conductivité du cuivre ($59,6 \cdot 10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$) en mesurant la résistance de ce fil.

Comparer les indications du voltmètre lorsqu'il est branché en A et B ou en A' et B' , et en déduire un ordre de grandeur des résistances parasites.

On pourra en montage effectuer cette mesure à différentes températures, en plongeant le fil dans un cristalliseur contenant de l'eau. Vérifier qu'on peut approximer localement la résistivité en fonction de la température par une loi affine : $\rho(T) = \rho(T_0)[1 + \alpha(T - T_0)]$ avec α le coefficient de température (loi de Matthiessen).³ Pour le cuivre, on a $\alpha = 0.00382$ (cf Handbook).

On note que les multimètres les plus récents de la collection permettent d'effectuer directement une mesure de résistance à 4 points. On pourra se familiariser avec cette option.

5 Impédances d'entrée et de sortie

Référence : Journeaux, chap. 7, pp. 150-156

5.1 Mesure de l'impédance d'entrée d'un oscilloscope

L'impédance d'entrée de l'oscilloscope est modélisée par une résistance R en parallèle avec une capacité C branchées entre l'âme du connecteur et la masse.

Alimenter une résistance R' en série avec un oscilloscope par un GBF, de tension d'entrée V_e fixe (voir Fig. 6). Mesurer l'amplitude V_0 du signal sur l'oscilloscope pour $R' = 0$. Augmenter R' jusqu'à ce que V_0 soit divisée par 2. On a alors réalisé un pont diviseur de tension vérifiant $R = R'$. En considérant le déphasage entre V_e et V_0 , vérifier que la capacité joue un rôle négligeable ; sinon, réduire la fréquence (on pourra raisonner sur la valeur absolue de leur impédances respectives pour comprendre quelle composante joue un rôle négligeable dans la limite de basse fréquence). Pour mesurer la capacité C , remplacer R' par une boîte à décade de condensateurs de capacité C' et procéder comme précédemment à fréquence suffisamment élevée (ce qu'on peut justifier similairement au cas précédent). Lorsque $C' = C$, la tension V_0 est divisée par 2.

3. En toute rigueur, la section et la longueur du fil augmentent avec la température. Il faudrait donc en tenir compte pour remonter à la conductivité. Cet effet est cependant négligeable ici.

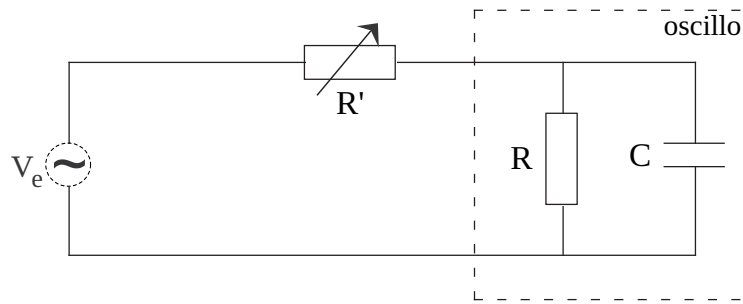


FIGURE 7 – Impédance d'entrée d'un oscilloscope

Note 1 : La capacité mesurée inclut celle du câble coaxial, qui vaut 100 pF par mètre et qui est en parallèle. Celle-ci s'ajoute donc à la capacité d'entrée de l'oscilloscope mentionnée en général sur le boîtier de l'oscilloscope.

Note 2 : Pour mesurer C , on peut aussi se dispenser du condensateur C' et se servir de R' à fréquence élevée. Attention : lorsque $R' = 1/C\omega$, le signal est divisé par $\sqrt{2}$, non par 2 (pourquoi ?).

5.2 Mesure de la résistance de sortie d'un générateur basse fréquence

On suppose dans tout ce paragraphe que l'impédance de sortie du GBF est une résistance pure.⁴

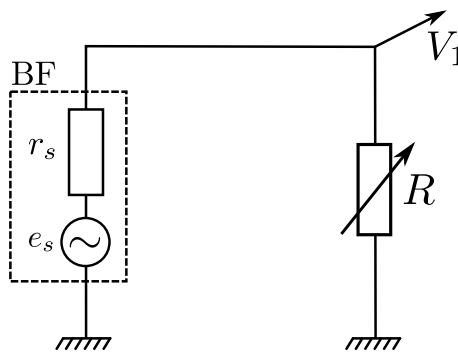


FIGURE 8 – Impédance de sortie d'un GBF

1ère méthode On effectue un montage analogue à celui de la partie précédente. Cette méthode, très simple dans son principe, a l'inconvénient de faire débiter un fort courant au générateur.

- Mesurer V_1 lorsque R est infinie. On a alors $V_1 = e_s$.
- Ajuster R pour avoir $V_1 = e_s/2$. S'il y a distorsion, réduire e_s .

2ème méthode (facultatif) Cette méthode consiste à étudier l'adaptation d'impédance. Lorsque la charge (ici la résistance R) est adaptée, elle reçoit un maximum de puissance de la source. Dans le cas présent où l'on suppose l'impédance du générateur purement résistive, cela revient à étudier $P = \frac{V_1^2}{R} = \frac{R}{(r_s + R)^2} e_s^2$, courbe qui atteint son maximum en $R = r_s$.

4. Il est possible de compléter les expériences afin de le vérifier. En pratique, dans le cas d'un GBF, le modèle d'une résistance pure est valable.