

# TP Mesures électriques et incertitudes

*Matériel : Générateur basses fréquences ; oscilloscope numérique TDS2001 ; ordinateur avec Python et Jupiter Notebook ; multimètre UT 51 avec **extrait de notice** ; 2 pinces crocodile ; plaquette d'essai pour l'électronique ; résistance pour l'électronique 1 k $\Omega$  (MNR) ; fils et mini-fils ; résistance masquée ; capacité masquée.*

*Sur la paillasse professeur : 2 multimètres UT 54 avec fils pour mesurer les capacités et pinces crocodile*

## Travail préparatoire

- . Lire ou relire le polycopié "Mesures et incertitudes" (celui de MPSI à mettre dans le classeur).
- . Lire ou relire le polycopié "Simulation de Monte Carlo" (celui de MPSI à mettre dans le classeur).
- . Traiter la question Q1 (au I.1.1) pour une résistance de 1 k $\Omega$  avec une bague couleur or
- . Traiter les questions Q2 (au II.2), Q3 et Q4 (au II.3).

## I. Incertitude sur une mesure

### I.1 Mesure d'une résistance

#### I.1.1 Incertitude "constructeur"

Prendre dans l'armoire à composants une résistance pour l'électronique de 1 k $\Omega$  (M-N-R-Or). La couleur du quatrième anneau (ici Or), un peu écarté des autres, précise la *tolérance* par rapport à la valeur nominale, c'est-à-dire l'*incertitude maximale relative* déterminée statistiquement par le constructeur.

| Couleur   | Gris  | Vert | Marron | Or | Argent |
|-----------|-------|------|--------|----|--------|
| Tolérance | 0,05% | 0,5% | 1%     | 5% | 10%    |

Q1 : Préciser l'incertitude-type "constructeur"  $u_c(R)$  sur la valeur de la résistance  $R$ , en supposant la loi de probabilité du constructeur uniforme (rectangulaire).

#### I.1.2 Incertitude d'une mesure à l'ohmmètre

Mesurer la résistance au multimètre en position ohmmètre. À l'aide de l'extrait de la notice de l'appareil, déterminer l'incertitude maximale  $\Delta(R)$  et calculer l'incertitude-type  $u(R)$  sur la mesure  $r$  effectuée. On supposera ici aussi que la densité de probabilité est rectangulaire (uniforme).

Présenter correctement le résultat de la mesure.

#### I.1.3 Vérifier la compatibilité des deux mesures

Calculer l'écart normalisé (ou z-score).

Conclure sur la compatibilité des deux mesures.

### I.2 Mesure d'une tension

#### I.2.a Au voltmètre

Mesurer la valeur efficace  $U$  d'une tension sinusoïdale d'amplitude 5 V délivrée par le générateur basse fréquence réglé sur une fréquence de l'ordre de 100 Hz. Ces paramètres seront conservés, pour comparaison, lors de la mesure à l'oscilloscope du paragraphe suivant. Toujours à l'aide de la notice du multimètre, déterminer l'incertitude maximale  $\Delta_v(U)$  et calculer l'incertitude-type  $u_v(U)$ .

### I.2.b À l'oscilloscope

Régler l'acquisition de l'oscilloscope sur "Moyenne", avec 16 mesures.

Mesurer la valeur efficace de la tension précédente à l'oscilloscope, déterminer la valeur et les incertitudes maximale et type sur celle-ci, notées respectivement  $\Delta_o(U)$  et  $u_o(U)$  sachant que la notice de l'oscilloscope indique une précision de 3%.

Les deux mesures sont-elles compatibles ? (Calculer l'écart normalisé)

Le restent-elles si la fréquence choisie est de l'ordre de 20 kHz ? Interpréter.

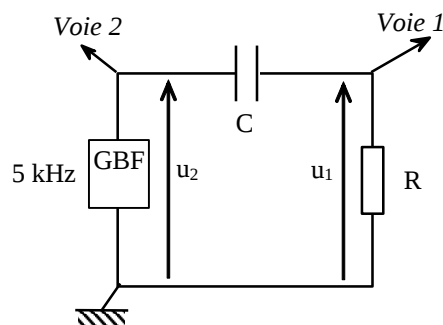
## **II. Incertitude sur une grandeur résultant de plusieurs mesures**

### **II.1 Incertitude sur une somme : association de résistances**

Associer en série la résistance  $R$  étudiée au I.1 et la résistance inconnue  $R'$  sur plaquette d'essai et mesurer la résistance  $R_t$  de l'ensemble à l'ohmmètre avec son incertitude-type. En déduire  $R'$  avec son incertitude-type par la formule de propagation.

### **II.2 Incertitude sur une fonction quelconque : Mesure de la capacité à partir du déphasage**

#### II.2.a Principe



Réaliser le circuit ci-dessus avec la résistance  $R$  du I.1 et la capacité  $C$  inconnue et régler le générateur de manière à ce qu'il délivre une tension *sinusoïdale* de fréquence  $f = 5$  kHz.

On se propose de mesurer, en régime sinusoïdal, le déphasage de la tension  $u_1$  aux bornes du dipôle  $R$  par rapport la tension  $u_2$  aux bornes du générateur, pour une pulsation donnée.

La fréquence de travail sera  $f = 5$  kHz.

Q2 : Justifier la relation  $C = \frac{\cotan(\varphi)}{2 \pi R f}$ .

On mesurera  $\varphi$  à l'aide du menu Mesures, où l'on indique le signal étudié (1) et la référence des phases (2).

Les mesures étant fluctuantes, on choisira l'option "Moyenne : 128 mesures" dans le menu Acquisition, et l'intervalle de fluctuation de  $\varphi$  définira l'incertitude maximale.

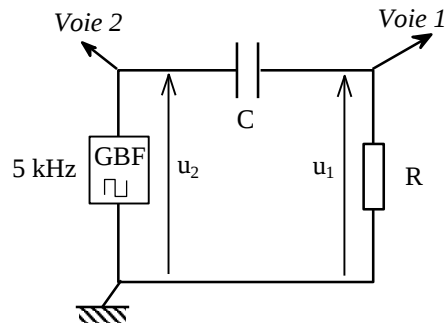
#### II.2.b Mesures

Pour calculer une estimation de  $C$  et son incertitude-type ouvrir le Jupiter Notebook « TP Mesures électriques et incertitudes » que vous trouverez sur le site de la classe à la rubrique Physique/TP. Pour ce faire, **le télécharger et le placer dans vos documents dans un répertoire « TP\_Phys » à créer**. Si

l'extension .ipynb n'est pas reconnue, faire un clic droit puis « ouvrir avec » et aller chercher Jupiter Notebook situé dans C://Winpython/JupyterNotebook. Une invite de commande s'ouvre, puis un explorateur internet dans lequel le document s'ouvre.

Compléter et exécuter ce programme pour calculer  $C$  et son incertitude type. Présenter correctement le résultat.

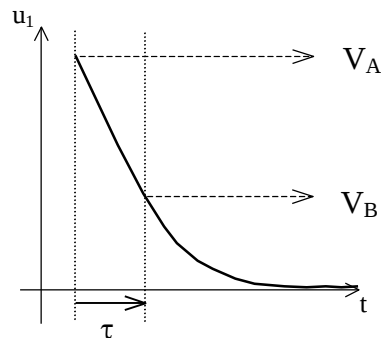
### II.3 Incertitude sur un produit : Mesure d'une capacité par un temps de décharge



Réaliser le circuit ci-dessus avec la résistance  $R$  du I.1 et la capacité  $C$  inconnue et régler le générateur de manière à ce qu'il délivre une tension *en créneau* de fréquence  $f = 5 \text{ kHz}$

Q3 : Justifier l'allure de la tension  $u_1(t)$  pendant une demi-période, représentée ci-dessous. Comment la constante de temps  $\tau$  de l'exponentielle s'exprime-t-elle en fonction des caractéristiques du circuit ?

Q4 : En déduire une méthode de mesure de  $C$  à partir de celle de l'intervalle entre deux instants  $t_A$  et  $t_B$  tels que  $t_B - t_A = \tau$  et correspondant à des tensions  $V_A$  et  $V_B$  repérées en utilisant les curseurs temporels de l'oscilloscope (Cf. Annexe).



Indiquer les valeurs de  $V_A$  et  $V_B$  utilisées pour la mesure.

*Incertitude sur la mesure de  $\tau$*  : Cf. l'extrait suivant de la notice de l'oscilloscope, où "l'intervalle d'échantillonnage" désigne la variation minimale de  $\Delta t$  lorsque l'on déplace un curseur (Cf. Annexe).

| Précision de la mesure de temps Delta (Totalité de la bande passante) | Les limites indiquées dans le tableau ci-dessous supposent des signaux d'une amplitude $\geq 5$ divisions, d'une vitesse de montée aux points de mesure $\geq 2,0$ divisions/ns et acquis à $\geq 10 \text{ mV/Div}$ : |                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                       | Condition                                                                                                                                                                                                              | Précision de la mesure du temps                                                                         |
|                                                                       | Monocoup, mode Echantillon                                                                                                                                                                                             | $\pm(1 \text{ intervalle d'échantillonnage} + 100 \text{ ppm} \times  \text{mesure}  + 0,8 \text{ ns})$ |
|                                                                       | > 16 moyennes                                                                                                                                                                                                          | $\pm(1 \text{ intervalle d'échantillonnage} + 100 \text{ ppm} \times  \text{mesure}  + 0,4 \text{ ns})$ |

Calculer  $C$  et son incertitude-type (par une formule de propagation). Présenter correctement le résultat de la mesure.

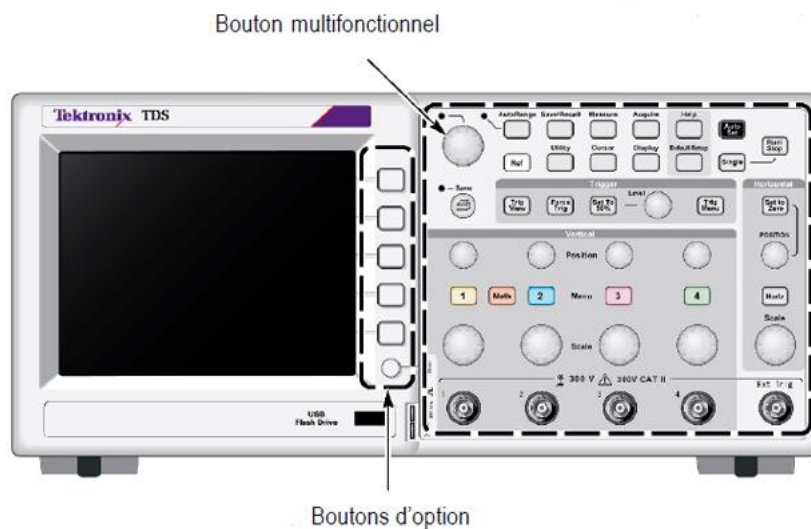
Comparer avec le résultat du II.2.

## Annexe : mesures à l'aide des curseurs (extraits de la notice de l'oscilloscope)

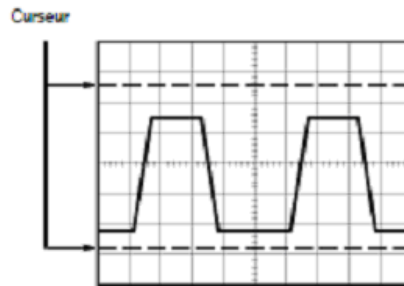
"Cette méthode vous permet de prendre des mesures en déplaçant les curseurs, qui s'affichent toujours par paires, et en lisant les valeurs numériques correspondantes qui s'affichent à l'écran. Il existe deux types de curseurs : **Amplitude et Temps**.

Lorsque vous utilisez les curseurs, assurez-vous de définir la source en fonction du signal affiché à l'écran que vous souhaitez mesurer.

Pour utiliser les curseurs, appuyez sur le bouton **Curseurs**.



**Curseurs d'amplitude.** Les curseurs d'amplitude s'affichent sous forme de 2 lignes horizontales à l'écran et permettent de mesurer les paramètres verticaux. Les lignes sont sélectionnées par les boutons d'option et leur déplacement est commandé par le bouton multifonctionnel. Les amplitudes sont référencées au niveau de référence.



**Curseurs de temps.** Les curseurs de temps s'affichent sous la forme de lignes verticales à l'écran et permettent de mesurer les paramètres horizontaux et verticaux. Les lignes sont sélectionnées par les boutons d'option et leur déplacement est commandé par le bouton multifonctionnel.

Les temps sont référencés au point de déclenchement.

L'"intervalle d'échantillonnage" désigne la variation minimale de  $\Delta t$  lorsque l'on déplace un curseur.

Les curseurs de temps comprennent également un affichage de l'amplitude du signal au point où celui-ci croise le curseur.

| Options                | Réglages                                                                                                | Commentaires                                                                                                                                                                    |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type <sup>1</sup>      | Temps, Amplitude, Désact.                                                                               | Permet de sélectionner et d'afficher les curseurs de mesure ; Temps mesure le temps, la fréquence et l'amplitude ; Amplitude mesure l'amplitude, comme le courant ou la tension |
| Source                 | CH1, CH2, CH3 <sup>2</sup> , CH4 <sup>2</sup> , MATH, REFA, REFB, REFC <sup>2</sup> , REFD <sup>2</sup> | Permet de sélectionner le signal sur lequel prendre des mesures à l'aide du curseur<br>Les mesures du curseur apparaissent dans l'affichage                                     |
| $\Delta$               |                                                                                                         | Affiche la valeur absolue de la différence (delta) entre les curseurs                                                                                                           |
| Curseur 1<br>Curseur 2 |                                                                                                         | Affiche l'emplacement du curseur sélectionné (le temps est référencé au point de déclenchement et l'amplitude au niveau de référence)                                           |

<sup>1</sup> Pour une source mathématique FFT, mesure la fréquence et l'amplitude

<sup>2</sup> Disponible uniquement sur les oscilloscopes à 4 voies.

Les valeurs delta ( $\Delta$ ) varient selon le type de curseur :

- Les curseurs de temps affichent  $\Delta t$ ,  $1/\Delta t$  et  $\Delta V$  (ou  $\Delta I$ ,  $\Delta VV$ , etc.).
- Les curseurs d'amplitude (source mathématique FFT) affichent  $\Delta V$ ,  $\Delta I$ ,  $\Delta VV$ , etc.
- Les curseurs de fréquence (source mathématique FFT) affichent  $1/\Delta \text{Hz}$  et  $\Delta \text{dB}$ .

---

**REMARQUE.** L'oscilloscope affiche obligatoirement un signal pour les curseurs et les affichages de curseur qui doivent s'afficher.

---



---

**REMARQUE.** L'oscilloscope affiche les valeurs de temps et d'amplitude pour chaque signal lorsque vous utilisez les curseurs de temps.

---

### Informations importantes

**Mouvement des curseurs.** Utilisez le bouton multifonctionnel pour déplacer les curseurs 1 ou 2. Vous pouvez déplacer les curseurs uniquement si le menu Curseurs est affiché. Le curseur actif est représenté par une ligne continue.



Amplitude, curseurs



Curseurs de temps