TP : Révisions pour l'oral 2025

Lors des TP de révision, l'accent est mis sur l'autonomie et la prise d'initiatives. Tous les documents de TP de l'année restent disponibles sur Internet à l'adresse ci-dessous pour retrouver les procédures expérimentales qui peuvent vous être utiles.

www.seigne.free.fr

1 Savoir-faire

1.1 À la main avec la calculatrice

Si on renouvelle plusieurs fois la mesure d'une grandeur, on doit être capable de faire un calcul de moyenne et d'écart-type pour obtenir le résultat avec son incertitude-type en utilisant une calculatrice. À la main toujours, on doit être capable de pratiquer les calculs liés à la propagation d'une incertitude dans les cas de relations simples entre les grandeurs mesurées et la grandeur finale à évaluer. Par exemple : $M = M_1 - M_2$. On doit savoir évaluer l'incertitude-type selon $u(M) = \sqrt{u^2(M_1) + u^2(M_2)}$. La règle générale de calcul est rappelée plus loin. Dans des cas simples, on pourra aussi calculer un écart normalisé ou Z-score.

1.2 À l'aide de programmes Python

Il faut savoir s'approprier des fichiers *Python* et les adapter à son cas de figure. De tels programmes ont été régulièrement utilisés pendant l'année. Ils étaient dédiés à des situations différentes :

- Mesure répétée pour une incertitude de type A : fichier *Python_Type_A*
- Propagation des incertitudes : fichier *Python_MCarlo*
- Calcul d'un écart-normalisé ou Z-score : fichier *Python_ZScore*
- Validation d'un modèle : fichier *Python_Regression_lin*
- Utilisation d'un modèle pour déterminer une grandeur : fichier *Python_Utilisation_Mod*

1.3 Utilisation du programme GUM_MC

Il faut se familiariser au moins une fois avec le programme *GUM_MC* parce qu'il est possible qu'il soit proposé lors des concours pour déterminer des incertitudes sur une grandeur en ayant mesuré d'autres grandeurs. C'est la situation de propagation des incertitudes. Ce programme effectue des simulations de type Monte-Carlo pour produire le résultat du calcul d'incertitude comme les programmes *Python* rappelés avant mais il a un atout supplémentaire : il propose un diagramme colonnes qui permet de voir le poids respectif de chaque grandeur mesurée dans le résultat final. Ainsi, on peut déterminer sur quelle grandeur on doit améliorer l'incertitude de mesure si l'on veut une connaissance plus précise de la grandeur finale.

1.4 Affichage d'un résultat

Il est indispensable d'afficher le résultat d'une mesure avec le bon nombre de chiffres significatifs. Pour l'incertitude-type, on utilisera au plus deux chiffres significatifs. Prenons un exemple pour la mesure d'une intensité I : les chiffres affichés à la sortie du calcul par l'ordinateur ou la calculatrice étaient $i = 1,532678$ et $\Delta i = 0,1134$. On affichera le résultat :

$$\boxed{I = 1,53 \pm 0,12\,\mathrm{A}}$$

2 Méthodes pour les incertitudes de mesure

2.1 N mesures indépendantes

2.1.1 La mesure

La mesure x de la grandeur X est tout simplement fournie par la moyenne arithmétique des mesures supposées indépendantes effectuées :

$$x = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

2.1.2 Incertitude-type

Pour déterminer l'incertitude élargie (ou absolue) Δx correspondant à la mesure x de la grandeur X, on doit au préalable définir l'incertitude-type. Celle-ci sera notée $u(x)$. Elle est définie par :

$$u(x) = \frac{1}{\sqrt{N}}\sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - x)^2}$$

La valeur de $u(x)$ se calcule en général assez facilement avec une calculatrice possédant des fonctions statistiques ou avec un ordinateur.

2.2 Une mesure unique

2.2.1 La mesure

Comme nous venons de le voir la mesure n'ayant été effectuée qu'une seule fois, nous n'avons pas le choix. Le résultat de la mesure est la valeur obtenue lors de la mesure... On fait en quelque sorte la moyenne sur un seul terme ! Cette situation étant assez courante, il est indispensable d'en parler.

$$x = \text{valeur obtenue lors de la mesure unique}$$

2.2.2 Incertitude-type

Il n'est évidemment plus possible d'effectuer un calcul de type statistique de l'incertitude-type comme nous l'avons fait dans le cas des N mesures. Pourtant, il faut bien faire quelque chose... On commence par définir la précision Δ de l'instrument de mesure que l'on a utilisé. On rencontre deux sortes d'instruments de mesures : ceux équipés d'une graduation et ceux disposant d'un affichage numérique. Les normes en vigueur ont pour conséquence qu'on doit pouvoir les traiter selon le mode opératoire suivant :

- La mesure est lue sur une échelle graduée. On estime alors que Δ correspond à une demi-graduation. Par exemple, vous utilisez un double-décimètre gradué en mm, on a $\Delta = 0,5\,\text{mm}$.
- La mesure est lue sur un appareil à affichage digital. Il faut se reporter à la notice de ce dernier pour obtenir Δ. Par exemple sur la notice d'un voltmètre, on lit $\Delta = 0,3\% \times U + 2 \times \text{UR}$. UR est l'unité de représentation, en clair la valeur du dernier digit affiché. Imaginons que l'on mesure $U = 280,0\,\text{V}$, on a $\text{UR} = 0,1\,\text{V}$ et par conséquent, on aura $\Delta = 1,0\,\text{V}$.

Une fois la précision Δ déterminée, l'incertitude-type sera calculée par la loi :

$$u(x) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$$

2.3 Prise en compte de plusieurs incertitudes

Imaginons une mesure de longueur L effectuée avec un mètre gradué en millimètres. L'incertitude-type liée à la graduation sera notée $u_1(l)$. Toutefois en effectuant la mesure, on constate que le positionnement du mètre est incertain de 4 mm du fait de deux millimètres de battement de part et d'autre autour de la position que l'on peut fixer pour le mètre. Cette situation correspond à une seconde incertitude-type que nous noterons $u_2(l)$. D'après ce que nous avons vu avant, on a $u_1(l) = \frac{1/2}{\sqrt{3}} = 0,29\,\text{mm}$. De la même façon, on aura $u_2(l) = \frac{4/2}{\sqrt{3}} = 1,16\,\text{mm}$. Pour déterminer l'incertitude-type affectant la mesure l de la longueur L, il faut prendre composer les deux incertitudes-type. On devra effectuer le calcul :

$$u(l) = \sqrt{u_1^2(l) + u_2^2(l)} = 1,2\,\text{mm}$$

Imaginons que la mesure ait donné $l = 0,742\,\text{m}$. Le résultat de la mesure devra afficher :

$$L = 742 \pm 2\,\text{mm}$$

D'une façon générale, s'il y a p sources d'incertitudes, l'incertitude-type globale sera donnée par :

$$u(x) = \sqrt{\sum_{j=1}^{p} u_j^2(x)}$$

3 Propagation des incertitudes

3.1 Contexte

Ce cas de figure est très courant car il correspond à la situation de mesure d'une grandeur à partir de la mesure d'autres grandeurs. Prenons un exemple en électronique où la pulsation de résonance d'un circuit RLC série est mesurée à partir de la mesure de L et C avec $\omega_0 = \frac{1}{LC}$. Comme les mesures de L et de C sont entachées d'incertitudes, on parle alors de propagation des incertitudes de L et C vers ω_0. On peut prendre un autre exemple en optique où la distance a qui sépare un dispositif de deux fentes d'Young sera déterminée par la formule $a = \frac{\lambda D}{i}$ où λ est la longueur d'onde de la lumière utilisée, D la distance entre les sources et l'écran d'observation et i l'interfrange mesuré sur l'écran. Les valeurs de i, λ et D vont être responsables d'une incertitude sur la mesure de a. Comme nous le voir dans ce qui suit, la méthode de calcul est différente de celle évoquée dans le paragraphe **2.3** même si le caractère quadratique du calcul est conservé.

3.2 Principe

Soit à déterminer la grandeur X de mesure x, d'incertitude élargie Δx et d'incertitude-type $u(x)$. X est une fonction de grandeurs A_i où i est un entier. A_i est de mesure a_i et d'incertitude-type $u(a_i)$. Les grandeurs A_i sont supposées supposées indépendantes : $X = f(A_1, A_2, \ldots)$. L'évaluation de l'incertitude-type de X repose sur la différentielle :

$$\mathrm{d}x = \sum_i \left(\frac{\partial x}{\partial a_i}\right)_{a_{j\neq i}} \mathrm{d}a_i$$

On passe à l'incertitude-type sur X en traitant de façon quadratique les effets de toutes les incertitudes-type $u(a_i)$ sur chaque grandeur A_i :

$$u(x) = \sqrt{\sum_i \left(\left(\frac{\partial x}{\partial a_i}\right)_{a_{j\neq i}} u(a_i)\right)^2}$$

On peut aussi recourir à un calcul de différentielle logarithmique selon :

$$\frac{\mathrm{d}x}{x} = \sum_i \left(\frac{\partial \ln x}{\partial a_i}\right)_{a_{j\neq i}} \mathrm{d}a_i$$

On obtient alors :

$$\frac{u(x)}{|x|} = \sqrt{\sum_i \left(\left(\frac{\partial \ln x}{\partial a_i}\right)_{a_{j\neq i}} u(a_i)\right)^2}$$

Le calcul de la différentielle logarithmique peut s'avérer très pratique dans les cas où X dépend des grandeurs A_i sous la forme $X = \alpha \prod_i A_i^{\gamma_i}$ (avec α et γ_i constants). On obtient alors :

$$\frac{\mathrm{d}x}{x} = \sum_i \gamma_i \frac{\mathrm{d}a_i}{a_i} \qquad \text{donc} \qquad \frac{u(x)}{|x|} = \sqrt{\sum_i \left(\gamma_i \frac{u(a_i)}{a_i}\right)^2}$$

4 Entraînement à la mesure d'une grandeur et incertitude de mesure

1. Effectuer une série de mesures en précisant la valeur de N utilisées de la résistance d'un conducteur ohmique de votre choix que vous aurez placé sur la plaquette *Microlab*. Utiliser pour cela tous les contrôleurs numériques que vous trouverez. Donner la valeur de la résistance selon le format $R = r \pm \Delta r$ en précisant l'intervalle de confiance.

2. Effectuer une série de mesures de la fréquence d'un signal délivré par un GBF grâce aux mêmes contrôleurs numériques que vous avez utilisés précédemment. Effectuer une mesure unique de cette fréquence grâce à la fonction appropriée de l'oscilloscope. Donner dans chaque cas $F = f \pm \Delta f$ en précisant l'intervalle de confiance.

3. Effectuer une série de mesure de la tension de saturation d'un amplificateur opérationnel. On donnera $U_{sat} = u_{sat} \pm \Delta u_{sat}$ en précisant l'intervalle de confiance.

4. Effectuer quelques mesures unique de votre choix, l'une au moins utilisant un appareil numérique comme le contrôleur numérique habituel, l'autre utilisant un appareil à graduations comme par exemple un mètre peut permettre d'effectuer la mesure de la largeur d'une table. Exprimer le résultat de la mesure M sous la forme $M = m \pm \Delta m$ en précisant l'intervalle de confiance.

5 Électronique

5. Mesurer à l'aide d'un oscilloscope la fréquence, le rapport cyclique, la valeur moyenne, la valeur efficace d'un signal créneau délivré par un GBF. On veillera à ce que le signal possède une moyenne non nulle, on travaillera dans un domaine de fréquences habituel. On comparera les résultats obtenus en DC avec ceux obtenus en AC. On reprendra le problème pour une fréquence élevée que peut délivrer le GBF. Interpréter l'ensemble des mesures.

6. Proposer un processus permettant de déterminer la constante de temps d'un circuit RC.

7. En utilisant le logiciel *Latis Pro*, déterminer le spectre d'un signal créneau et celui d'un signal triangulaire. Pour chaque signal, comparer l'évolution de l'amplitude des harmoniques présentes à celle prévue par la théorie. Faire passer le signal créneau dans un filtre passe-bas atténuant l'amplitude à partir de la seconde harmonique.

8. Proposer un protocole permettant de mesurer la coefficient d'autoinductance L d'un circuit RLC série.

9. Vous pouvez disposer d'un circuit électronique passif de type *boîte bleue* ou bien d'un circuit actif qui s'alimente en $\pm 15\,\mathrm{V}$. Déterminer la nature de ce filtre et mesurer ses caractéristiques.

10. En utilisant le circuit électronique comportant le circuit intégré HCF4066B, échantillonner un signal de votre choix. Étudier les conséquences de l'échantillonnage sur le spectre du signal. Mettre en évidence le critère de Shannon.

6 Optique

11. Mesurer la distance focale d'une lentille convergente et exprimer le résultat avec son incertitude de mesure. Faire la même chose pour une lentille divergente, on pensera à utiliser une lunette d'observation réglée à distance finie ou toute autre méthode.

12. Faire par la méthode d'autocollimation le réglage à l'infini de la lunette et du collimateur d'un goniomètre.

13. Mesurer avec un réseau la longueur d'onde d'une raie contenue dans une lampe spectrale en supposant connues des longueurs d'ondes d'autres raies.

14. Mesurer l'indice de réfraction d'un prisme.

15. Régler un interféromètre de Michelson pour observer des franges d'égale inclinaison. Effectuer la mesure de l'écart de longueur d'onde qui sépare les deux raies du doublet du sodium.

16. Avec un interféromètre de Michelson, mesurer la bande passante d'un filtre interférentiel.

17. En utilisant un laser et un réseau ou le capteur d'une webcam, mesurer le pas du réseau ou la taille des pixels de la webcam.

7 Ondes

18. Mesurer la vitesse de propagation d'une impulsion très brève dans un long câble coaxial. Étudier la réflexion en bout de câble en fonction de l'impédance d'utilisation qui y sera placée.

19. En utilisant le dispositif produisant des ondes centimétriques, proposer un protocole permettant de mesurer la longueur d'onde de ces ondes et comparer à la valeur attendue.

20. Mesurer la longueur d'onde des ondes ultrasons produites par un émetteur piézoélectrique.

21. En utilisant l'effet Doppler, mesurer une vitesse.

8 Thermodynamique et Mécanique

22. Proposer un protocole de mesure de la capacité thermique d'un calorimètre.

23. Proposer un protocole de mesure d'un coefficient de frottement de glissement entre deux solides.

9 TP effectués au cours de l'année

24. Vous pouvez demander à refaire un TP qui été réalisé pendant l'année.

10 Proposition de TP supplémentaires

10.1 Mesure de l'angle d'un coin d'air

25. On réalisera le réglage de l'interféromètre de Michelson dans un premier temps en lame d'air avec observation d'anneaux. On projettera ces anneaux sur un écran. Après avoir recherché le contact optique et être resté à cette position, on passera à un éclairage avec une source de lumière blanche filtrée par un des filtres interférentiels mis à disposition (jaune ou vert). En réalisant une observation à l'œil, on passera alors à un réglage de l'interféromètre en coin d'air. Projeter sur un écran le plus loin possible les franges du coin d'air grâce à une lentille convergente appropriée. Par des mesures sur l'écran, obtenir la valeur numérique de l'angle du coin d'air réalisé. On justifiera le résultat en s'appuyant sur les résultats théoriques associés à la situation du coin d'air.

10.2 Caractérisation d'un filtre actif

26. Vous disposez du filtre actif de la figure 1. Ce filtre est dit actif car il doit être alimenté en $\pm 15\,\mathrm{V}$ par rapport à la masse. Réaliser un protocole laissé à votre propre initiative pour caractériser ce filtre dans sa nature (passe-bas, passe-haut, passe-bande...). Déterminer ensuite sa ou ses caractéristiques comme sa ou ses fréquence(s) de coupure, sa fréquence centrale si elle existe, son ordre...

Figure 1 – Filtre actif à caractériser

10.3 Mesures des caractéristiques d'une bobine

27. En vous référant à l'énoncé situé plus loin - Mesures autour d'une bobine - ou en prenant des initiatives personnelles, mesurer la résistance r et le coefficient d'autoinductance d'une bobine de TP.

10.4 Mesure de paramètres thermiques

28. Nous avons réalisé, cette année, un TP de mesure de la conductivité thermique d'une barre rectangulaire en utilisant la caméra thermique ainsi qu'un coefficient de convection thermique. Vous pouvez réaliser un TP différent permettant de mesurer à la fois la conductivité thermique d'une barre cylindrique ainsi que le coefficient de conducto-convectif entre la barre et l'air en vous référant à l'énoncé situé plus loin - Mesures de paramètres thermiques -.