SUIS-JE AU POINT ?

Chapitre 0 bis : Mesure, incertitude

- 💡 Une notion à bien comprendre, un point à retenir.
- ❤ Une définition/formule à connaître PAR CŒUR.
- ✍ Un savoir-faire à acquérir.
- TD Un exercice du TD pour s'entraîner.

1 Notion d'erreur et d'incertitude

1.1 Introduction

- 💡 Aucun mesurage ne donne un résultat parfaitement fiable. Il y a toujours une certaine variabilité, aléatoire, dépendant généralement de multiples facteurs qui ne peuvent être contrôlés par l'expérimentateur. L'estimation numérique de cette variabilité porte le nom **d'incertitude**.
- 💡 L'incertitude est influencée par la présence de phénomènes aléatoires, non contrôlés par l'expérimentateur. L'évaluation d'une incertitude repose généralement sur une **étude statistique**.

1.2 Notion de source d'incertitude

- 💡 On appelle source d'incertitude un facteur aléatoire qui influence la mesure.
- ✍ Vous devez être capable d'identifier une ou plusieurs sources d'incertitude quand vous réalisez un mesurage en salle de TP (voir les quelques exemples vus en cours).

1.3 Hasard et probabilités

- 💡 La répétition, un grand nombre de fois, d'un même mesurage (conditions de **répétabilité**), permet d'évaluer statistiquement la dispersion des valeurs obtenues. La répartition des valeurs peut-être représentée mathématiquement par une fonction appelée **densité de probabilité**.
- 💡 L'allure de densité de probabilité dépend de la nature physique du phénomène aléatoire mis en jeu. Dans de nombreux cas, on rencontre une statistique dite **gaussienne** (on parle aussi de loi **normale**).

1.4 Loi normale

- 💡 La dispersion des valeurs est quantifiée par **l'écart-type**. Pour la loi normale, on peut dire que si l'on effectue **un UNIQUE mesurage**, il y a environ 68% de chances que la mesure se situe dans un intervalle de largeur $\pm\sigma$ autour de la moyenne, où σ est l'écart-type.
- 💡 De la même manière, il y a environ 95% de chances que la mesure se situe dans un intervalle de largeur $\pm 2\sigma$ autour de la moyenne.
- 💡 On parle **d'évènement rare** lorsque la mesure se situe à plus de 2σ de la moyenne ($|x-\overline{x}| > 2\sigma$).

1.5 Loi uniforme continue

- 💡 La loi uniforme continue est une loi de probabilité que l'on utilise comme approximation simplificatrice dans certaines situations expérimentales (interprétation d'une notice constructeur, lecture d'un instrument gradué).
- ❤ Connaître la relation entre la largeur Δ de la distribution et l'écart-type ($\sigma = \frac{\Delta}{\sqrt{12}}$).

1.6 Incertitude-type

- ❤ Définir **l'incertitude-type** associées à une grandeur mesurée (*c'est l'écart-type de la distribution des valeurs mesurées*) et **l'incertitude-type relative** (*c'est l'incertitude-type divisée par la valeur mesurée, elle s'exprime généralement en pourcentage*).

2 Évaluation des incertitudes

2.1 Incertitude de type A

Une estimation de type A repose sur une étude statistique dans laquelle on répète le même mesurage un certain nombre de fois dans des conditions de répétabilité.

On choisit comme résultat du mesurage la **moyenne** des valeurs obtenues.

Lorsque l'on effectue $\boldsymbol{N}$ **mesurages** dans des conditions de répétabilité, l'incertitude-type $u(\overline{x})$ sur la **moyenne** des N valeurs obtenues vaut $u(\overline{x}) = \frac{u(x)}{\sqrt{N}}$ où $u(x)$ est l'incertitude-type sur **un mesurage unique**.

Calculer une moyenne et un écart-type en utilisant le mode "statistique" de votre calculatrice.

2.2 Incertitude de type B

Une estimation de type B s'effectue dans le cas d'un mesurage UNIQUE. Elle repose elle-aussi sur une étude statistique mais qui n'est pas réalisée par l'expérimentateur lui-même (par un constructeur par exemple, qui fournit ses résultat dans une notice).

Connaître les différentes règles d'application d'une estimation de type B (instrument gradué, multimètre, instrument affichant une tolérance).

Quand aucune des règles énoncées ci-dessus ne s'applique, il faut proposer une **estimation raisonnable fondée sur le sens physique**.

2.3 Cas où les sources d'incertitude sont multiples

Souvent, il existe plusieurs sources d'incertitudes pour un seul et même mesurage. Dans un premier temps, une analyse qui repose sur le sens physique doit permettre d'éliminer les facteur dont estime qu'ils sont négligeables par rapport aux autres.

Une fois le tri effectué, il peut rester plusieurs facteurs qui influent sur l'incertitude. Connaître la formule donnant l'incertitude globale à partir de la contribution de chaque facteur.

3 Incertitude-type composée

3.1 Introduction

Il arrive souvent qu'entre le(s) mesurage(s) et le résultat final, un calcul littéral soit nécessaire. Dans ce cas, il faut relier l'incertitude sur les grandeurs mesurées à celle sur la grandeur calculée.

3.2 Forme linéaire

Exploiter la formule d'incertitude-type composée fournie dans le cas d'une forme linéaire.

3.3 Loi de puissance

Exploiter la formule d'incertitude-type composée fournie dans le cas d'une loi de puissance.

TD Incertitude-type composée : exercices 2,3,6,9.

3.4 Méthode de Monte Carlo

La méthode de Monte Carlo permet de simuler numériquement la réalisation d'un grand nombre de mesurages pour obtenir une estimation approchée d'incertitude-type composée. Elle nécessite de connaître la loi de probabilité de chacune des grandeurs d'influence. Le résultat obtenu est aussi précis que l'on veut, à condition que le nombre de répétitions soit suffisamment élevé.

4 Chiffres significatifs

4.1 Écriture d'un résultat

Connaître la régles dictant l'écriture d'un résultat expérimental.

4.2 Résultat d'un mesurage

- Connaître les régles dictant le choix du nombre de chiffres significatifs (résultat ET incertitude-type).

4.3 Dans l'énoncé d'un exercice

- Connaître la règle dictant le choix du nombre de chiffres significatifs dans le résultat d'une application numérique en fonction des données d'un énoncé, fournies sans leur incertitude associée.

4.4 Comparaison de deux valeurs : écart normalisé

4.4.1 Notion de biais, valeur de référence

- Un biais et un facteur **non-aléatoire** qui influence la mesure (il conduit à des valeurs systématiquement trop basses ou systématiquement trop hautes).
- La valeur de référence est la valeur idéale à laquelle on s'attendrait en l'absence de biais et de source d'incertitude.
- Quand la valeur de référence est connue (valeur tabulée par exemple), on peut comparer la mesure à la valeur de référence et chercher s'il y a des raisons de penser qu'il y a un biais.
- Dans bien des cas la valeur de référence est **inconnue** (raison pour laquelle on effectue le mesurage!), il est alors assez compliqué de déceler la présence d'un biais. Généralement, plusieurs expériences indépendantes sont menées et on regarde si elles aboutissent à des résultats qui sont cohérents entre eux (voir le cas de la constante de Hubble).

4.4.2 Comparaison avec une valeur de référence

- Définir mathématiquement l'**écart normalisé** entre un résultat expérimental et une valeur de référence.
- ✍ Savoir interpréter la valeur obtenue pour l'écart normalisé (*si $EN \leq 2$, on conclut que l'écart entre la mesure et la valeur de référence est dû ax incertitudes, tandis que si $EN > 2$, on concluera que cette différence n'est pas le fruit du hasard (et donc qu'il y a peut-être un biais)* même si, en théorie, il y environ 5% de chances d'affirmer cela à tort.
- Ce seuil de 2 pour l'écart normalisé est d'origine historique. On le retrouve dans de nombreux champs scientifiques, comme la médecine, la pharmacie, la biologie, la psychologie, l'économie, l'écologie, etc. Ce seuil peut différer selon le domaine : par exemple pour démontrer l'existence d'une nouvelle particule en physique subatomique, il faut atteindre un seuil de 5.

4.4.3 Comparaison de deux mesures d'incertitudes-types comparables

- Exprimer l'**écart normalisé** quand les deux valeurs que l'on compare ont des incertitudes types comparables (impossible d'en négliger une comparé à l'autre).