

MS2 : Pratique de la démarche scientifique

L'essentiel

Dimension et unité de base du système international

Grandeur/dimension	Unité SI
Longueur (L)	mètre (m)
Masse (M)	kilogramme (kg)
Temps (T)	seconde (s)
Intensité du courant (I)	ampère (A)
Température (θ)	kelvin (K)
Quantité de matière (N)	mole (mol)
Intensité lumineuse (J)	candela (cd)

TABLE 1 – Grandeurs et unités de base du système international

Trouver la dimension d'une grandeur qui n'est pas "de base"

On cherche une formule de la physique qui relie cette grandeur à des grandeurs de base.

Exemple

Pour obtenir la dimension d'une force qui s'exprime en Newton (N), on utilise le principe fondamental de la dynamique :

$$\vec{F} = m \vec{a} \implies [F] = M.L.T^{-2}$$

Notion d'erreur et d'incertitude

- l'erreur aléatoire varie à chaque mesure, mais on ne sait pas comment : on traite celle-ci de façon statistique afin **d'estimer cette erreur aléatoire : le résultat de cette estimation est l'incertitude.**
- l'erreur systématique est la même à chaque mesure. Un zéro mal réglé introduit par exemple une erreur systématique. L'existence de ce type d'erreur peut être révélée lors d'une comparaison théorie-expérience.

Deux types d'incertitude

- l'incertitude de type A est évaluée statistiquement lorsque l'on **répète n fois de la même mesure.**
- l'incertitude de type B est évaluée lors d'une mesure : à partir des réflexions de l'expérimentateur, de l'appareil de mesure ou de sa notice.

Ces deux types d'incertitudes conduisent à un écart-type noté σ .

Incertitude de type B

- si une indication (appelée tolérance) est fournie par le constructeur, on utilise la formule :

$$\sigma_B = \frac{\text{tolérance}}{\sqrt{3}}$$

- si on évalue l'incertitude à partir de la plus petite graduation d'un appareil :

$$\sigma_B = \frac{\text{une graduation}}{\sqrt{12}}$$

- si on l'évalue à partir d'une plage de valeurs considérées comme acceptable :

$$\sigma_B = \frac{\text{plage de valeurs acceptables}}{\sqrt{12}}$$

Elargissement de l'incertitude

Le σ_B obtenu précédemment définit un intervalle dans lequel doit se situer l'ensemble des valeurs mesurées pour une expérience. En considérant un intervalle de \pm un écart-type, on a 68% de chance qu'une valeur mesurée soit comprise dans cet intervalle.

Ce niveau de confiance n'étant pas suffisant, on l'élargit à 95% : l'intervalle sera alors de \pm deux écarts-types.

On définit l'incertitude élargie par :

$$\Delta = 2\sigma$$

Incertitude de type A

On ne fait pas souvent 100 mesures identiques, on utilisera donc la méthode de Student qui **coefficente le résultat de l'étude statistique** en fonction du petit nombre de mesures.

L'étude statistique consiste à calculer :

$$\sigma_A = t \times \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \quad \text{où} \quad \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Avec les coefficients de Student t donnés pour un niveau de confiance donné :

Nombres de mesures n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Coefficient t (68%)	1,84	1,32	1,20	1,14	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06
Coefficient t (95%)	12,7	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26

Propagation des incertitudes

Si une grandeur x est calculée à partir de deux grandeurs mesurables p_1 et p_2 , alors :

$$x = p_1^a p_2^b \implies \frac{\sigma_x}{x} = \sqrt{\left(\frac{a \sigma_{p_1}}{p_1}\right)^2 + \left(\frac{b \sigma_{p_2}}{p_2}\right)^2}$$

Remarque

Cette formule peut être utilisée lorsqu'il n'y a qu'un paramètre, comme lorsqu'il y en a plus de deux.

Ecriture du résultat d'une mesure

$$\text{valeur mesurée} = (x \pm \Delta x) \times 10^n \quad \text{unité}$$

L'incertitude sera donnée avec **un seul chiffre significatif**, la valeur mesurée sera accordée avec ce chiffre.

Etude d'un système mécanique

Il faut être capable :

- de modéliser et justifier son choix : par exemple si on néglige les frottements, être capable de calculer l'ordre de grandeur de la force de frottement et de la comparer à une autre force caractéristique du système ;
- de schématiser le modèle, schéma qui permet de repérer ses organes essentiels ;
- de bien définir le référentiel d'étude, le système ;
- d'effectuer un bilan de forces ;
- de choisir la grandeur du système dont il est pertinent de suivre l'évolution ;
- de choisir la bonne loi de la physique à appliquer ;
- de choisir une base de projection judicieuse ;
- de projeter les forces sur la base choisie ;
- d'utiliser les simplifications du modèle pour faire des approximations ;
- d'obtenir l'équation différentielle faisant intervenir la grandeur choisie ;

Critique d'une formule : utilisation de l'analyse dimensionnelle

Une formule de physique doit être homogène : les grandeurs situées de chaque côté du signe égal doivent avoir la **même dimension** : une analyse dimensionnelle permet de vérifier cela.

Confrontation d'une mesure avec un valeur tabulée

Le résultat d'une mesure et l'incertitude (Δ_m) à 95% correspondant au niveau de confiance choisi définissent un intervalle :

$$\boxed{\text{valeur mesurée} - \Delta_m < \text{valeur mesurée} < \text{valeur mesurée} + \Delta_m}$$

Si la valeur tabulée appartient à cet intervalle, la mesure est validée ; sinon, une erreur systématique s'est glissée dans le protocole de mesure.

Vérification d'une loi

Pour vérifier une loi à partir de mesures, le plus simple est de la linéariser : c'est à dire faire en sorte qu'en traçant une grandeur mesurée en fonction d'une autre on obtienne une **fonction affine ou linéaire**.

L'utilisation d'un logiciel qui permet d'afficher les ellipses d'incertitude est alors conseillée : les points de mesures sont entourées d'ellipses dont les demi-axes sont définis par les incertitudes sur les grandeurs en abscisse et en ordonnée.

Un logiciel de ce type offre un outil de modélisation : il cherche la droite d'équation $y = ax$ ou $y = ax + b$ qui s'adapte le mieux au point de mesures, aux incertitudes près. Alors :

- si la droite modélisée passe par les points de mesures aux ellipses d'incertitudes près, on peut alors validée la loi ; le logiciel fournira la pente de la droite modélisée et son ordonnée à l'origine qui pourront être utilisées pour une confrontation théorique ;
- si ce n'est pas le cas, soit la loi n'est pas vérifiée, soit les incertitudes ont été sous-estimées.