

# 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 ( $\theta$ )	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  $\sigma$ .

### 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  $\sigma_B$  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 ( $\Delta_m$ ) 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 demis-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.