Mesures électriques et électroniques

Chapitre 1: Notions fondamentales sur la mesure

1. Définition et but d'une mesure

Faire une mesure, c'est comparer une grandeur physique (ou chimique) inconnue avec une grandeur de même nature prise comme référence à l'aide d'un instrument.

Pour écrire le résultat d'un calcul, d'une mesure on se sert d'un nombre et d'une unité. Si l'un de ces deux éléments est faux, le résultat est faux.

1.1. Système international d'unité

1.1.1. Constitution d'un système d'unité

L'établissement d'un système d'unités repose sur le choix arbitraire d'un certain nombre d'unités, appelées les unités fondamentales ou de base. Il faut qu'elles soient indépendantes, les moins nombreuses possibles et qu'elles puissent avoir une représentation physique facile. A partir d'elles, on définit les autres unités, appelées unités dérivées.

Le système international repose sur sept unités de base: le mètre pour la longueur, le kilogramme pour la masse, la seconde pour le temps, l'ampère pour l'intensité de courant, le kelvin pour la température, la candela pour l'intensité lumineuse, la mole pour la quantité de matière.

Tableau 1: Les unités fondamantales

GRANDEUR	NOTATION	UNITÉ	SYMBOLE
Longueur	x	mètre	m
Masse	m	kilogramme	kg
Intensité électrique	i	ampère	A
Intensité lumineuse	I	candela	cd
Température	θ	kelvin	K
Quantité de matière	n	mole	mol

1.1.2. Les unités dérivées

Deux unités sont ajoutées aux unités fondamentales, ce sont les unités d'angles, le radian et le stéradian.

Les unités dérivées sont exprimées en fonction des unités de base. Certaines ont reçu des noms particuliers, souvent de scientifiques ayant travaillé dans les domaines concernés. Leur symbole est alors une lettre majuscule.

Certaines unités, fréquemment utilisées, ont été maintenues pour des raisons de commodité. Ce sont : La minute, l'heure et le jour pour le temps ; le degré, la minute et la seconde pour l'angle plan ; le litre pour le volume ; la tonne pour la masse ; le bar pour la pression ; le degré Celsius pour la température ; le wattheure pour l'énergie ; la calorie pour l'énergie thermique.

Tableau 3: Les multiples et les sous-multiples d'unitées

MULTIPLES			**SOUS-MULTIPLES**		
Facteur	préfixe	Symbole	facteur	préfixe	symbole
$10 = 10^1$	déca	da	$0,1 = 10^{-1}$	déci	d
$100 = 10^2$	hecto	h	$0,01 = 10^{-2}$	centi	c
$1000 = 10^3$	kilo	k	$0,001 = 10^{-3}$	milli	m
10^6	méga	M	10^{-6}	micro	µ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	téra	T	10^{-12}	pico	p

Tableau 2: les unités dérivées

GRANDEUR	FORMULE	UNITÉ	SYMBOLE
Angle plan	α	radian	rad
Angle solide	Ω	stéradian	sr
Surface	S = x2	mètre carré	m^2
Volume	V = x3	mètre cube	m^3
Masse volumique	$\rho = m/V$		$kg.m^{-3}$
Vitesse	v = x/t		$m.s^{-1}$
Accélération	a = v/t		$m.s^{-2}$
Force	F = m.a	newton	N
Travail Énergie	W = F.x	joule	J
Puissance	P = W/t	watt	W
Pression	p = F/S	pascal	Pa
Fréquence	f = 1/T	hertz	Hz
Moment d'une force	Mt = F.x		N.m
Tension	u	volt	V
Résistance	r = u/i	ohm	Ω
Quantité d'électricité	q = i.t	coulomb	C
Capacité électrique	C = q/u	farad	F
Induction magnétique	B = F/(i.x)	tesla	T
Flux magnétique	$\Phi = B.S$	weber	Wb
Inductance électrique	$L = \Phi /i$	henry	H
Flux lumineux	$\varphi = I.\Omega$	lumen	lm
Éclairement	$E = \varphi /S$	lux	lx

1.2. Les étalons de mesures

Un étalon est une matérialisation d'une grandeur donnée dont on connaît la valeur avec une grande exactitude. Un étalon sert à étalonner d'autres étalons ou des équipements qui mesurent la même grandeur. Il existe donc pour chaque grandeur physique un étalon. Les étalons sont hiérarchisés afin que chacun puisse effectuer un étalonnage avec un étalon qui corresponde à son besoin d'exactitude. Il existe par exemple des étalons internationaux et des étalons nationaux :

1.2.1. Les étalons internationaux

Un étalon international est un “étalon reconnu par les signataires d'un accord international pour une utilisation mondiale”. Par exemple le prototype international du kilogramme. C'est un étalon reconnu au niveau international et à partir duquel toutes les mesures effectuées de par le monde découlent

2. Les erreurs de mesures

Si on désire mesurer une certaine grandeur A. Le nombre trouvé est x, mais ce n'est en général pas la véritable valeur X. x est une valeur approchée de X.

L'erreur associée à une mesure est la différence entre la valeur mesurée et la vraie valeur. On la note habituellement par Δ, suivi du symbole représentant la grandeur mesurée : Δx pour une longueur x, ΔT pour une température T, etc. $\Delta x = x_{mesuré} - x_{vrai}$ On parle ici d'erreur absolue.

Les erreurs de mesures sont divisées en deux catégories :

- Les erreurs systématiques : Une erreur est systématique lorsqu'elle contribue à toujours surévaluer (ou toujours sous-évaluer) la valeur mesurée.

Un exemple d'erreur systématique est celui où l'on utiliserait une règle dont il manque le premier centimètre : toutes les mesures seraient surévaluées. Si une balance indique déjà quelques grammes lorsque le plateau n'est pas chargé, toutes les mesures fourniront une valeur trop élevée.

- Les erreurs aléatoires : Une erreur est aléatoire lorsque, d'une mesure à l'autre, la valeur obtenue peut être surévaluée ou sous-évaluée par rapport à la valeur réelle.

Un exemple d'erreur aléatoire est la mesure du temps avec un chronomètre. L'erreur vient du temps de réaction de l'expérimentateur au démarrage et à l'arrêt du chronomètre. Comme ce temps de réaction n'est pas toujours le même, la valeur mesurée peut être surévaluée ou sous-évaluée. On comprend qu'une répétition des mesures puisse atténuer l'erreur aléatoire.

2.1. Les incertitudes

La valeur maximale de l'erreur que l'on peut faire dans la mesure est Δx, appelée incertitude absolue. Cette incertitude est due à la qualité des instruments, à leur réglage (zéro), au soin apporté à la lecture par l'opérateur, etc. On peut donc écrire: $X = x \pm \Delta x$ ou $x - \Delta x \leq X \leq x + \Delta x$

Exemple : on mesure une longueur avec une règle graduée en mm. On trouve 29,7 cm ou 297 mm. On peut écrire $l = 297 \pm 1$ mm. Il est absurde d'écrire $297,2 \pm 1$ mm. Si on mesure une deuxième longueur avec la même règle : $l' = 23 \pm 1$ mm. On appelle incertitude relative le rapport $\Delta x/x$. C'est un nombre sans dimension puisque c'est le rapport entre deux grandeurs identiques.

2.1.1. Calcul d'incertitude

Soit x une quantité obtenue expérimentalement. On va supporter que meilleure estimation de x est une valeur située entre deux bornes.

$$x_{\min} \leq \bar{x} \leq x_{\max}$$

Ou la meilleure estimation x est calculée comme suite:

$$\bar{x} = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \quad \text{et} \quad \Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$$

Exemple: calculer le volume d'un cylindre de hauteur h = 29,7 mm et de diamètre d = 25,2 mm. Vmin = 14,646337 mm ; Vmax = 14,98122 mm ; V = 14,81315 mm.

Donc ΔV = 0,167 mm^3.

incertitude relative ΔV/ΔV = 0,01127376

2.2. Valeur d'une grandeur d'après une série de mesure

2.2.1 Valeur probable

On appelle moyenne $\bar{x}$, où valeur probable, d'une grandeur la moyenne arithmétique de toutes les mesures effectuées, c'est-à-dire la somme de toutes les mesures divisée par le nombre de mesures.

$$\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n}$$

Cette valeur sera d'autant plus proche de la vraie valeur X que n, le nombre de mesures, sera grand. Pour n = ∞ , on a X = $\bar{x}$. Exemples: Pour le volume du cylindre, on a trouvé : 15,0 ; 14,7 ; 14,5 ; 14,9 ; 14,8 ; 14,8 ; 14,6 ; 14,8 ; 14,7 ; 14,9 ; 17,1.

17,1 est écartée car manifestement fausse. V = $\bar{x}$ = 14,78 cm^3.
Pour trouver l'incertitude absolue on prendra l'écart entre cette moyenne et les valeurs extrêmes. C'est-à-dire ici 0,2 cm^3 car on a 15 et 14,6 qui encadre 14,8 cm3. V = 14,8 ± 0,2 cm^3

2.2.2. Répartition des valeurs

Pour nous renseigner sur la qualité des mesures, on se sert de ce qu'on appelle la variance que l'on note σ2.

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}$$

La racine carrée de σ s'appelle l'écart type ou écart quadratique moyen est :

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \overline{x})^2}{n}}$$

Si n est plus petit que 30, ce qui est souvent le cas en physique, il faut alors estimer l'écart-type par une grandeur s ou σ n-1 qui vaut : $S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \overline{x})^2}{n-1}}$

La quantité $\frac{\sigma}{\overline{x}}$ jouant le rôle de l'incertitude relative.

3. Qualité métrologique des appareils de mesure

La qualité métrologique d'un instrument de mesure ou d'un capteur est l'ensemble des données qui caractérisent la qualité de la mesure effectuée par le dispositif considéré. Les principales caractéristiques des instruments de mesure (ou propriétés métrologiques des dispositifs de mesure) sont définies dans le cadre du vocabulaire international de métrologie et comprennent, entre autres : l'étendue de mesure; la résolution; la sensibilité; l'exactitude; la justesse; la fidélité.

3.1. Étendue de mesure

C'est le domaine de variation possible de la grandeur à mesurer. Elle est définie par une valeur minimale et une valeur maximale. Ces deux valeurs extrêmes s'appellent la portée minimale et la portée maximale. Par exemple, un voltmètre pourrait avoir une étendue de mesure comprise entre 1 volt et 10 volts.

3.2. Résolution

La résolution d'un appareil est la plus petite variation de la grandeur mesurée qui produit une variation perceptible de l'indication délivrée par l'instrument. Elle peut être exprimée en points, qui sont alors le nombre de valeurs différentes que l'instrument peut afficher. Par exemple un multimètre de 2000 points pour une étendue de 2 V peut afficher toutes les valeurs comprises entre 0,000 V et 1,999 V, sa résolution est donc de 1 mV.

3.3. Sensibilité

La sensibilité est un paramètre exprimant la variation du signal de sortie d'un appareil de mesure en fonction de la variation du signal d'entrée. Un appareil est d'autant plus sensible qu'une petite variation de la grandeur G à mesurer provoquera un changement plus grand de l'indication donnée par l'appareil de mesure. Si la valeur d'entrée est de même nature que la valeur de sortie, la sensibilité est appelée gain. La sensibilité au voisinage d'une valeur donnée de la grandeur G à mesurer s'exprime de la manière suivante :

$$S = \frac{dI}{dG}$$

I: Indication donnée par l'essai
G: Quantité de grandeur à mesurer
On considère généralement qu'il s'agit de la pente de la courbe de graduation sur un intervalle : la sensibilité moyenne. On peut écrire alors :

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta G}$$

3.4. Exactitude de mesure

Un instrument de mesure est d'autant plus exact que les résultats de mesure qu'il indique coïncident avec la valeur vraie (par définition théorique) que l'on cherche à mesurer. L'exactitude est plus aisée à définir par l'erreur de mesure. Elle s'exprime en unité de grandeur (erreur absolue) ou en pourcentage (erreur relative). En dehors des conditions opératoires, l'exactitude d'un appareil est essentiellement liée à deux types de caractéristiques : la justesse et la fidélité. Un appareil est exact s'il est à la fois juste et fidèle. L'exactitude d'un appareil de mesure peut également être entachée par des causes extérieures : erreur opératoire, erreur provoquée par les grandeurs d'influences (température, pression etc.), erreur de référence ou d'étalonnage, erreur d'hystérésis, erreur de finesse etc.

3.5. Fidélité

Elle définit la qualité d'un appareil à délivrer une mesure répétitive sans erreurs. L'erreur de fidélité correspond à l'écart type obtenu sur une série de mesures correspondant à un mesurande constant.

3.6. Justesse

C'est l'aptitude d'un appareil de mesure à délivrer une réponse proche de la valeur vraie et ceci indépendamment de la notion de fidélité. Elle est liée à la valeur moyenne obtenue sur un grand nombre de mesures par rapport à la valeur réelle.

4. Méthodes de mesure des grandeurs électriques

Nous allons au cours de ce chapitre expliquer les différentes méthodes de mesures qui se divisent en trois catégories, à savoir:

- Méthodes à déviation,
- Méthodes des ponts,
- Méthodes de résonance.

4.1. Méthodes à déviation

4.1.1. Méthode directe

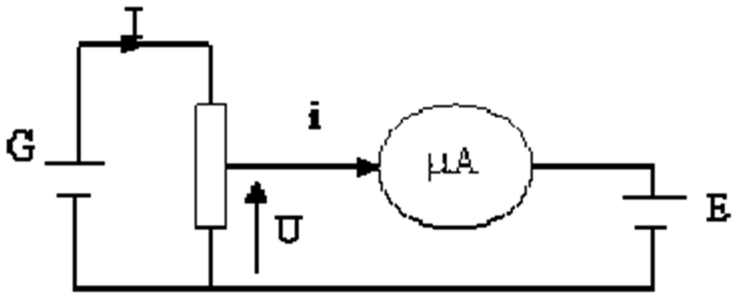
La méthode directe consiste à lire directement sur l'appareil de mesure la valeur de la grandeur à mesurer. (Exemples : La lecture d'une tension sur un voltmètre, d'une puissance sur un wattmètre, d'une résistance sur un ohmmètre).

4.1.2. Méthode indirecte

Cette méthode consiste à utiliser plusieurs appareils pour mesurer une grandeur, et ce en utilisant une ou plusieurs relations entre les différentes grandeurs mesurées. (Exemples : pour mesurer une puissance P on utilise un voltmètre pour mesurer la tension U et un ampèremètre pour mesurer le courant I, la puissance est déduite de la relation P=UxI)

4.1.3. Méthode de substitution

La grandeur inconnue est remplacée par une grandeur étalon. L'égalité des indications d'un appareil de mesure (généralement un micro-ampèremètre) dans les deux cas permet de déterminer la valeur inconnue.



E : f.é.m. à mesurer

R : résistance totale du potentiomètre.

G : générateur de tension continue.

Afin de mesurer la fém. E, nous ajustons le potentiomètre jusqu'à avoir un courant i nul. On aura donc E=U = R'I…. (1)

On substitue la fem E par une fém. E0 connue, et on agit sur le potentiomètre afin d'avoir de nouveau un courant nul. Et là encore Eo=R''I…….(2)

D'après les relations (1) et (2) nous déduisons que E= $\frac{R'}{R''}$ E0