

La biométrie :

I Grandeurs et unités :

A Définitions :

- **Mesurer** : **comparer** une grandeur inconnue à une **référence** dont la traçabilité est établie.
Exemple : peser un aliment pour une recette, c'est comparer sa masse par rapport à l'étalon du kilogramme.

- **Grandeur physique** : tout **attribut** d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance, susceptible d'être distingué qualitativement et déterminé quantitativement : attribut repérable et mesurable.

Exemple : un basketteur mesure 2m. La taille est un attribut d'un corps, susceptible d'être distingué qualitativement : *le basketteur est grand* et déterminé quantitativement : 2m.

- Les grandeurs comparables forment des **ensembles**

Exemple : masses, longueurs, capacités ...

- **Unité** : Dans un ensemble de grandeurs, une **unité** est une **grandeur** particulière choisie comme **référence** à laquelle toutes les autres sont comparées.

Exemple : Dans l'ensemble des longueurs, il y a le système

- pieds, pouces ...
- ares, hectares, ...
- ..., cm, **m**, dm, hm, km ...

Dans le système métrique, le **mètre** est l'**unité de référence** choisie pour exprimer les longueurs.

B Mesure d'une grandeur :

La valeur numérique d'une grandeur n'a de valeur que si elle est accompagnée d'une unité (placée à droite). Ainsi, la définition de la mesure est la suivante :

$$\text{Mesure} = \text{valeur} \times \text{unité}$$

C L'étalonnage :

- **Etalonnage** : ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la **relation** entre la **quantité indiquée par un appareil** ou un système de mesure et la **valeur vraie** de la variable mesurée réalisée par des **étalons**.

Exemple : tarer une balance. lorsqu'aucun poids n'est sur la balance, le poids est équivalent à zéro et lorsqu'un poids connu est ajouté à la balance, la valeur exacte du poids s'affiche

- A noter que le kilogramme est la seule unité encore définie par rapport à un **étalon matériel**. Il est constitué de **90% de platine et 10% d'iridium**. Il en existe 40 copies, et il est réévalué tous les 3 ans.
- Les trois vérifications périodiques (1889, 1946 et 1989) mettent en évidence des **divergences d'évolution** au cours du temps. La **dispersion** de l'évolution relative des étalons de masse sur un siècle est de l'ordre de **5×10⁻⁸**.

D unités historiques :

<i>Ancien régime</i>	<i>SI</i>
Longueur : 1 pied = 12 pouces	0,32483 m
1 pouce = 12 lignes	2,706 cm
1 ligne = 12 points	0,226 cm
1 point	0,188 mm
1 brasses	Longueur de corde entre des bras étendus 7,6 à 5 pieds
1 pas	0,624 m
1 mille marin	1852 m
1 encâblure = 1/10 mille	185,2 m
Capacité : 1 litron	0,79 l
1 pinte = 2 chopines	0,9305 l
1 pot = 1 quade = 2 pintes	1,861 l
Poids: 1 livre	489,5 g
1 grain	53 mg
1 quintal = 100 livres	48,95 kg
Surface : Le journal	Quantité de terre pouvant être travaillée en une journée , variable selon les régions
l'aune	Unité de longueur variable selon les régions

E Le système métrique:

Quelques dates à connaître :

- 7 avril 1795 : institution du système métrique
- 4 juillet 1837 : système métrique rendu obligatoire
- 1875 : création du BIPM. 17 états signent la convention
- 1960 le système métrique est remplacé par le SI

F Unités de base :

Il existe **7 unités de base indépendantes** les unes des autres. *

grandeur	unité
Longueur (L)	Mètre (m)
Masse (M)	Kilogramme (kg)
Temps (t)	Seconde (s)
Courant électrique (i)	Ampère (A)
Température (T)	Degré kelvin (K)
Quantité de matière	Mole (mol)
Intensité lumineuse (I)	Candela (cd)

NB : le point triple de l'eau est le point où les 3 états de l'eau cohabitent (solide, liquide et gazeux) pour une température T (273,16 °K) et une pression P (600 Pa) données.

Aujourd'hui on essaie de limiter au maximum le nombre d'étalons.

G Relations entre unités :

- $1 \text{ eV} = 1\text{J}/e$ où $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- $E = mc^2$
- $1 \text{ cal} = 4,18\text{J}$
- $1^\circ = \pi / 180 \text{ rad}$

H Les grandeurs dérivées :

Les grandeurs autres que les grandeurs de base sont dites dérivées :

Grandeur	Unité	Symbole	Expression en fonction des grandeurs de base
force	Newton	N	kg.m.s^{-2}
Travail/ Energie	Joule	J	$\text{kg.m}^2.\text{s}^{-2}$
puissance	Watt	W	$\text{kg.m}^2.\text{s}^{-3}$
Pression	Pascal	Pa	$\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}$
Fréquence	Hertz	Hz	s^{-1}
Charge électrique	Coulomb	C	A.s
Potentiel électrique	Volt	V	$\text{kg.m}^2.\text{A}^{-1}.\text{s}^{-3}$
Résistance électrique	ohm	Ω	$\text{kg.m}^2.\text{A}^{-2}.\text{s}^{-3}$
Capacité	Farad	F	$\text{A}^2.\text{s}^4.\text{kg}^{-1}.\text{m}^{-2}$
Champ magnétique	Tesla	T	$\text{kg.A}^{-1}.\text{s}^{-2}$
Inductance	Henry	H	$\text{kg.m}^2.\text{s}^{-2}.\text{A}$

I Multiples et sous multiples :

noms	symboles	Puissance
yotta	Y	10^{24}
zetta	Z	10^{21}
exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	K	10^3
hecto	H	10^2
deca	da	10
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
yocto	y	10^{-24}

- On ne peut pas utiliser ces préfixes avec des unités de temps, d'angle, de surface, de carat métrique et de mm de Hg.
- On ne peut pas cumuler les préfixes
- lors des calculs il faut veiller à ce que tous les préfixes utilisés soient les mêmes pour une même unité.

II Incertitude et erreurs de mesure :

A rappels :

- **mesurage :** ensemble des **opérations** visant à déterminer la **valeur d'une grandeur physique**.

Exemples :

1) les contre poids pour peser des denrées alimentaires sur une balance

- 2) *un mètre pour mesurer une distance*
- 3) *placer un voltmètre en dérivation d'un circuit électrique*

- la **mesure** c'est l'évaluation d'une grandeur par **comparaison** avec une autre grandeur de même nature prise pour unité (étalon). On la note x

exemples :

- 1) *la valeur de la masse des denrées alimentaires*
- 2) *la valeur de la longueur mesurée*
- 3) *la valeur de la tension dans le circuit*

B Incertitude et erreur :

Quelques définitions :

- **incertitude dx** : Une mesure de grandeur est toujours caractérisée au moins par **un couple (mesure, incertitude) = (x, dx) + l'unité de mesure**. Elle provient des erreurs liées à la mesure.
- **Erreur absolue (e)** : c'est le résultat du mesurage (ou mesure x) moins la valeur vraie de la grandeur (X). Elle s'exprime dans l'**unité de la mesure**.

$$e = x - X$$

- **Erreur relative (er)** : c'est le **rapport** de l'erreur absolue à la valeur vraie de la grandeur qui s'exprime en **pourcentage**.

$$Er = e/X$$

Exemple : Un étudiant en PAES achète un nouveau bureau pour bien commencer l'année. L'étiquette indique $L = 1,50m$. Arrivé chez lui, il remesure la longueur et trouve $L = 1,51m$.

- 1) erreur absolue : $e = 1,51 - 1,50 = 0,01 m$
- 2) erreur relative : $Er = e/X = 0,01/1,50 = 0,0067$ (sans unité !!!) $\rightarrow 0,67\%$

- Globalement, l'incertitude permet de statuer sur la **fiabilité** d'une mesure et de tenir compte des **erreurs expérimentales** éventuelles, de **quantifier le doute**.

B Erreurs de mesure:

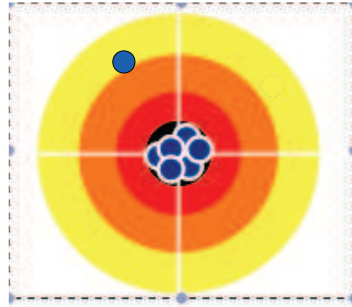
Il existe 3 types d'erreurs de mesure :

1. **erreurs systématiques ou biais** : erreurs **reproductibles** éliminées par des corrections convenables, liées à la loi physique même utilisée

exemple : une balance mal tarée .

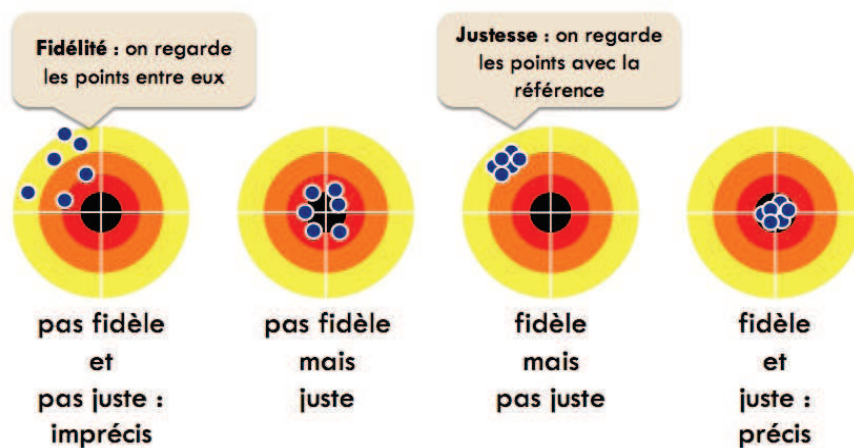
2. erreurs aléatoires, non reproductibles, liées aux lois statistiques

3. erreurs accidentelles (mauvaise manoeuvre par exemple), non prise en compte dans la détermination de la mesure.

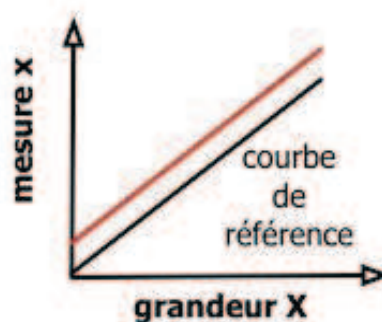


On utilise **2 indicateurs** pour statuer sur les erreurs de mesure :

1. **fidélité** : comparaison d'une série de mesure à la valeur moyenne (on regarde les points d'une courbe entre eux). Elle est utile pour éliminer les erreurs dues au hasard.
2. **Justesse** : comparaison d'une mesure à une valeur de référence. Elle est utile pour éliminer les erreurs systématiques.



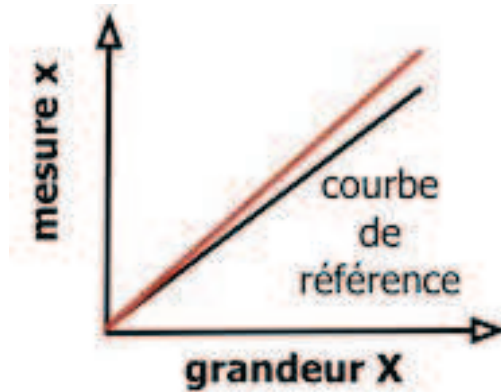
Les divers types d'erreurs :



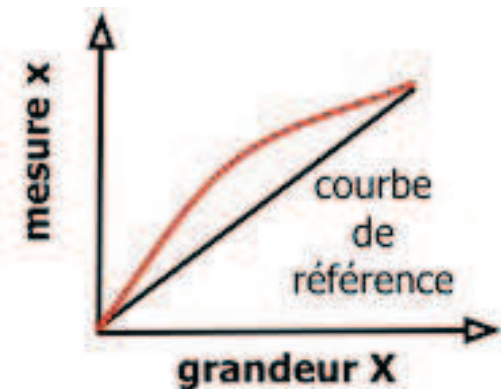
1. les erreurs de 0 ou offset x a une valeur quand X vaut 0. Le type de courbe associé est :
Exemple : balance mal tarée

2. erreur d'échelle ou de gain : Elle dépend de manière linéaire de la valeur de X. erreur quantifiée en échelle log

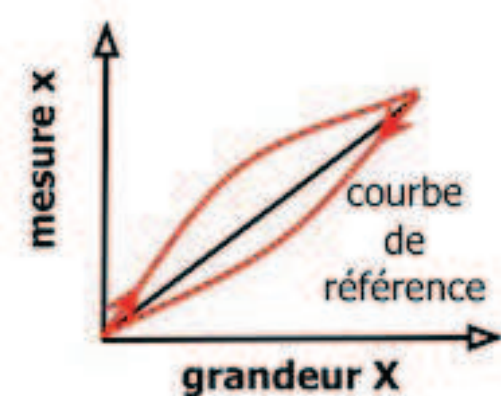
$$dB = 20 \log(x/X)$$



3. erreur de linéarité : la caractéristique n'est pas une droite



4. erreur d'hystérésis : le résultats de la mesure dépend de la mesure précédente . La courbe croissante va donc être différente de la courbe décroissante et on obtient un **cycle** car les variations ne sont pas les mêmes en partie ascendante et descendante.



5. Erreur de mobilité : caractéristique en **escalier**, erreur due à une **numérisation** du signal .



III Présentation des résultats:

A la notation scientifique :

- la **notation scientifique** comporte 2 parties :
- 1. **Un nombre décimal** : à gauche de la virgule un **chiffre** de **valeur absolue comprise entre 1 et 9** et à droite de la virgule un nombre indéterminé de décimales
- 2. Une **puissance entière de 10**. cette puissance donne **l'ordre de grandeur**

exemple :

- 1) 12,31 n'est pas une notation scientifique
- 2) $1,231 \cdot 10^1$ est une notation scientifique

B Les chiffres significatifs :

- quelques règles sur les **chiffres significatifs** :
- 1. les chiffres autres que 0 sont tous significatifs
- 2. les zéro à la fin du nombre sont significatifs mais pas ceux en amont
- 3. **Ce nombre de chiffres significatifs est à conserver même lorsqu'on change d'unité !**

Exemple :

- 1) $0,12 \rightarrow 2$ chiffres significatifs
- 2) $1,20 \rightarrow 3$ chiffres significatifs

On distingue 2 cas pour présenter un résultat en fonction des chiffres significatifs en fonction de l'opération réalisée :

1. Les multiplications et divisions : autant de chiffres significatifs que la donnée qui en a le moins
2. les soustractions et les additions : autant de décimales que la donnée qui en a le moins.

Exemple :

- 1) $3,5 \times 7,52 \times 26,32 \rightarrow \approx 26$ car 2 chiffres significatifs
- 2) $7,52 - 3,5 = 4,02 \rightarrow \approx 4,0$ car 1 chiffre après la virgule au plus

C Les arrondis :

• L'arrondi arithmétique :

1. Arrondi par défaut : pour les **5 premiers chiffres** (0,1,2,3,4) on passe à la valeur **inférieure**.
2. Arrondi par excès : pour les **5 derniers chiffres** (5,6,7,8,9) on passe à la valeur **supérieure**.

Exemple :

- 1) $3,53 \approx 3,5$
- 2) $3,57 \approx 3,6$

• l'arrondi logarithmique :

1. il y a autant de chiffres dans la mantisse (chiffres après la virgule) du logarithme que de chiffres significatifs dans le nombre.

Exemple :

- 1) $x = 1,613 \cdot 10^1 \rightarrow 4$ chiffres significatifs
- 2) $\log(x) = 1,207634 \approx 1,2076 \rightarrow 4$ chiffres après la virgule

2. Inversement, la valeur de l'exponentielle en base 10 d'un nombre possède autant de chiffres significatifs qu'il y a de décimales dans ce nombre.

Exemple :

- 1) $x = -4,122 \rightarrow 3$ chiffres après la virgule
- 2) $10x = 7,550922 \cdot 10^{-5} \approx 7,55 \cdot 10^{-5} \rightarrow 3$ chiffres significatifs

IV Elements de biométrie :

A les divers types de caractères :

	spécificité	métriques	numériques	Unité arbitraire
Caractères morphologiques	Forme des patients (taille, silhouette)	Unité déterminée (poids taille)	Décompte énumération	/
Caractères physiologiques	Fonctionnement du corps	Pression, dosage sanguin, Fc, TA ...	/	adiposité, pilosité ...

B Classification des variables :

Les variables **qualitatives** ne peuvent pas être mesurées mais elles sont **susceptibles de classement**. (binaires, multiples ordonnées ou non ordonnées)

Les variables **quantitatives** sont **mesurées**.

Échelle de variation	Nominale catégorielle	ordinaire	Par intervalle	relative
Type de variable	qualitative	qualitative	Quantitative	quantitative
Catégorie	1. Bien définie 2. <i>collectivement exhaustive</i> 3. <i>mutuellement exclusive</i>	Ordonnées selon un <i>critère connu</i> ou classées en rang	valeur nulle arbitraire	Zéro non arbitraire signifie l'absence, la nullité
Ordre et distance	Pas d'ordre et de distance entre mariés et non mariés ou médecins, cadres et enseignants	Satisfaction (S) : 1) ordre : TS > S > NS 2) pas de frontière précise entre les catégories	Distance entre données et catégories connue mettre ex diapo 58	L'égalité de rapports et d'intervalles peut être déterminé
exemples	Statut social, marital, les groupes socio-pro ...	Degré de satisfaction, adénocarcinome du rectum, score apgar	Échelle des °C, heure, date (échelle circulaire) ...	T en °K (0 absolu) longueur, surface ...

NB:

- **collectivement exhaustives** : tous les individus sont décrits. Classés
- **mutuellement exclusives** : un individu ne peut être classé que dans une seule catégorie
- Une variable **quantitative** peut être **discrète** (valeurs précises) ou **continue** (n'importe quelle valeur d'un intervalle).

Exemple :

- 1) **discrète** : le résultat d'un lancer de dé est de 1,2,3,4,5 ou 6
- 2) **continue** : la valeur normale de la glycémie est comprise entre 0,8 et 1,2g/L

C Le codage numérique et discrétisation :

- Pour faciliter les études on peut associer un **code numérique** à une **variable qualitative** sans jamais en modifier la modalité qualitative. On associera donc un état à un **chiffre** qui désigne un **rang**, une **graduation**.

Exemple de codage numérique : On distribue à la sortie de l'hôpital un questionnaire aux patients concernant leur séjour. On distingue 3 modalités :

- 1) très satisfait
- 2) satisfait
- 3) non satisfait

On associe ensuite un score à l'appréciation des patients :

- 1) 2 pour très satisfait
- 2) 1 pour satisfait
- 3) 0 pour non satisfait

- Ce type de codage est **courant** pour une variable **ordinaire** et le choix du chiffre est **moins arbitraire** que pour une variable nominale car il existe une *progression* dans la variable ordinaire.
- Le niveau le plus bas est représenté par un 0.
- **Discrétiser** une variable **continue** c'est la **découper en classes**, c'est **partitionner** de manière peu arbitraire des données **quantitatives**. Le but est de conserver la forme générale de la distribution.

Exemple de discrétisation : On s'intéresse à la distribution de la taille des individus. On peut choisir de séparer cette population en 3 catégories en fonction des tailles les plus fréquemment retrouvées :

- 1) $< 1,60\text{ m} \rightarrow$ personne de petite taille
- 2) $\text{entre } 1,60\text{ m et } 1,80\text{ m} \rightarrow$ personne de taille moyenne
- 3) $> 1,80\text{ m} \rightarrow$ personne de grande taille

D La biométrie :

1 La biométrie clinique :

La biométrie clinique se rapporte à l'**échelle de l'individu**.

- **examen clinique** : poids, taille, périmètre crânien ...
- **tension artérielle** : **pression** du sang dans les artères mesurée en mm de Hg et convertie en cm Hg, méthode des bruits de **Korotkoff**
 1. chiffre le plus **élevé**: pression **systolique**, **contraction** ventriculaire
 2. chiffre le plus **bas** : pression **diastolique**, **relaxation** ventriculaire

Le réglage se fait à l'aide d'un **manomètre étalon**. Il existe un problème de **manque de résolution**. C'est pourquoi, aujourd'hui, les tensiomètres électriques ont une résolution d'affichage en mm Hg grâce à la **méthode oscillométrique**.

- **Tension oculaire**, mesurée avec un **tonomètre**. Elle permet de repérer les **glaucomes**, mais il existe des problèmes dus à l'étalonnage des instruments.
- **Audiométrie** : l'étalonnage se fait à l'aide d'une **oreille artificielle**
- **Spirométrie** : C'est la Mesure des **volumes pulmonaires** et des **débits ventilatoires** au cours de mouvements respiratoires. Il existe 2 types de spirométries :
 1. **lente** : CV, courbe volume/temps
 2. **rapide** : VESM, courbe volume/débit

La **reproductibilité** dépend de la **normalité** des paramètres ventilatoires, des **compétences**, des **appareils** ...

2 La biométrie biologique :

La biométrie biologique se rapporte à une **échelle plus petite** (cellule, molécules ...)

- analyses de biologie médicale
- liquides biologiques
- hématologie
- chimie analytique
- troubles lipidiques
- diabète
- insuffisance rénale
- marqueur cardiaque
- processus inflammatoire
- biologie moléculaire (technique du PCR)

3 La biométrie composite

- indices cliniques : **IMC** (rapport poids/Taille²), indice de **Karnofsky** (dépendance)
- indices biologiques : **INR** ou temps de Quick

NB : le temps de Quick est le temps nécessaire à la **coagulation** du plasma **traîné dans certaines conditions.**

L'INR est le **rapport** entre le temps du malade et celui d'un témoin → rapport entre 2 temps de Quick.

On utilise ce dosage pour surveiller les patients soumis à un traitement par anti vitamine K.