

# INTRODUCTION À LA MÉTROLOGIE ET À LA BIOMÉTRIE

## INTRODUCTION

La métrologie correspond à la mesure physico-chimique des paramètres des individus (dosages des marqueurs, ...).

En médecine, les décisions sont prises à partir de **plusieurs sources d'information** : l'écoute du patient, les constats du médecin (inspection, auscultation, palpation, percussion) et les résultats de mesure et d'analyses biologiques. Le médecin mesure donc différents paramètres.

En médecine, l'examen physique d'un patient comprend plusieurs étapes, et c'est le clinicien et ses 5 sens qui font office **d'outils de mesure**.

## I. DÉFINITIONS

**BIOMETRIE** = mesure des **phénomènes biologiques** pour l'étude quantitative et/ou qualitative des êtres vivants.

Domaines d'application : *agronomie, anthropologie, écologie, médecine.*

*Ex : Claude Bernard et la médecine expérimentale (1ers raisonnements médicaux)*

**MESURER** = **comparer** une **grandeur inconnue** à une référence (de même nature, prise pour unité) dont la traçabilité est établie.

Il faut avoir une **référence**, un **étalon** qui soit fiable.

Il faut assurer la traçabilité avec des **unités de référence** (le Système International, SI).

**GRANDEUR PHYSIQUE** = attribut susceptible d'être **distingué qualitativement** et **déterminé quantitativement** = repérable et mesurable.

*Ex : pression, température, niveau*

Les grandeurs comparables forment des **ensembles** : masses, longueurs, capacités.

**UNITE** = grandeur particulière choisie comme **référence**. Chaque unité est nommée, et un **symbole** lui est attribué (€, Ω...)

**MESURE** = valeur **numérique** accompagnée de son **unité**, placée à droite.

**MESURE = VALEUR \* UNITÉ** ⚠ Une mesure n'a pas de sens sans son unité. ++

**MESURAGE** = ensemble des **opérations** ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur physique.

**ÉTALONNAGE** = 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.

⚠ Ne pas confondre UNITÉ ≠ MESURE ≠ MESURAGE ≠ ÉTALONNAGE

## II. GRANDEURS ET UNITES

### 1. UNITES DE BASE

En 1960, le système international (SI) d'unités s'instaure et remplace tous les systèmes précédents.

Les unités en usage ont été ramenées à des fonctions de **7 unités de base**, qui sont théoriquement **indépendantes** les unes des autres.

| GRANDEUR            | UNITÉ      |
|---------------------|------------|
| Longueur            | Mètre      |
| Masse               | Kilogramme |
| Temps               | Seconde    |
| Courant électrique  | Ampère     |
| Température         | Kelvin     |
| Quantité de matière | Mole       |
| Intensité lumineuse | Candela    |

⚠ Ne pas confondre une **grandeur** (la taille) avec une **unité** (le mètre) ++

## 2. UNITES DERIVEES

C'est la combinaison des unités de base. Les autres unités du SI sont appelées « **unités dérivées** ».

*Ex : Newton, Joule, Watt, ...*

| GRANDEUR              | UNITÉ   | SYMBOLE  | EXPRESION EN FONCTION DES GRANDEURS FONDAMENTALES |
|-----------------------|---------|----------|---|
| Force                 | Newton  | N        | $\text{kg.m/s}^2$                                 |
| Travail et énergie    | Joule   | J        | $\text{kg.m}^2/\text{s}^2$                        |
| Puissance             | Watt    | W        | $\text{kg.m}^2/\text{s}^3$                        |
| Pression              | Pascal  | Pa       | $\text{kg}/(\text{m.s}^{-1})$                     |
| Fréquence             | Hertz   | Hz       | $\text{s}^{-1}$                                   |
| Charge électrique     | Coulomb | C        | A.s   |
| Potentiel électrique  | Volt    | V        | $\text{kg.m}^2/(\text{A.s}^3)$                    |
| Résistance électrique | Ohm     | $\Omega$ | $\text{kg.m}^2/(\text{A}^2.\text{s}^3)$           |
| Capacité              | Farad   | F        | $\text{A}^2.\text{s}^4/(\text{kg.m}^2)$           |
| Champ magnétique      | Tesla   | T        | $\text{kg}/(\text{A.s}^2)$                        |
| Inductance            | Henry   | H        | $\text{kg.m}^2/(\text{s}^2.\text{A}^2)$           |

## 3. PREFIXES

| FACTEURS  | NOMS  | SYMBOLES |
|-----------|-------|----------|
| $10^{24}$ | Yotta | Y        |
| $10^{21}$ | Zetta | Z        |
| $10^{18}$ | Exa   | E        |
| $10^{15}$ | Peta  | P        |
| $10^{12}$ | Téra  | T        |
| $10^9$    | Giga  | G        |
| $10^6$    | Méga  | M        |
| $10^3$    | Kilo  | k        |
| $10^2$    | Hecto | H        |

|            |       |       |
|------------|-------|-------|
| $10^1$     | Déca  | da    |
| $10^{-1}$  | Déci  | d     |
| $10^{-2}$  | Centi | c     |
| $10^{-3}$  | Milli | m     |
| $10^{-6}$  | Micro | $\mu$ |
| $10^{-9}$  | Nano  | n     |
| $10^{-12}$ | Pico  | p     |
| $10^{-15}$ | Femto | f     |
| $10^{-18}$ | Atto  | a     |
| $10^{-21}$ | Zepto | z     |
| $10^{-24}$ | Yocto | y     |

⚠ Ne pas confondre **Déca** (multiple) et **Déci** (sous-multiple)

## III. INCERTITUDES ET ERREURS DE MESURE

### 1. DEFINITIONS ET RAPPELS

**GRANDEUR PHYSIQUE (X)** = Paramètre qui doit être contrôlé lors de l'élaboration d'un produit ou de son transfert. *Ex : pression, température, niveau*

**MESURAGE** = Ensemble des opérations ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur physique.

**MESURE (x)** = Évaluation d'une grandeur par comparaison avec une autre grandeur de même nature prise pour unité. *Ex : Une longueur de 2 mètres, une masse de 200g...*

**Remarque** : On ne peut pas mesurer une masse avec des mètres, ce n'est pas homogène.

Lors d'une mesure, le paramètre va varier au cours du temps. En effet, quand le médecin prend une mesure plusieurs fois à la suite, il ne va pas forcément la prendre à chaque fois de la même façon : c'est ce qu'on appelle la **variabilité** de la mesure.

## 2. INCERTITUDES

$$x - dx < X < x + dx$$

Avec  $X$  = valeur vraie ;  $x$  = valeur lue, mesurée ;  $dx$  = incertitude de  $x$

Le résultat de la mesure d'une grandeur est caractérisé par un **couple** ( $x, dx$ ) et une **unité de mesure**. Chaque résultat doit être accompagné de son incertitude, qui illustre la **variabilité** de la mesure.

L'incertitude peut être due à la **mesure**, elle permet de quantifier la **qualité** d'un résultat (une petite incertitude garantit un résultat précis). Elle certifie la **fiabilité** du résultat.

**ERREUR ABSOLUE** = différence entre le **résultat d'un mesurage** et la **valeur vraie** de la grandeur physique. Elle s'exprime dans l'**unité de la mesure**.

$$e = |x - X|$$

**ERREUR RELATIVE** = rapport entre l'**erreur de mesure** et la **valeur vraie**. Elle s'exprime en **pourcentage**.

$$er = \frac{e}{X}$$

Exemple : Le test de grossesse

Concentration de BHCG minimale caractérisant une grossesse =  $5 \mu\text{g/L}$

Concentration mesurée chez la patiente =  $4,5 \mu\text{g/L}$

Incertitude de la mesure du test = 20%

Le test indique que la patiente est enceinte, est-il fiable ?

$$\text{Résolution : } 4,5 - (4,5 \times 0,2) < 5 < 4,5 + (4,5 \times 0,2) \\ 3,6 < 5 < 5,4$$

Le test n'est pas franchement fiable car nous ne pouvons pas être sûrs que la patiente soit enceinte, compte tenu de l'incertitude de la mesure.

## 3. ERREURS DE MESURE

L'incertitude est nourrie par différents types d'erreurs de mesure :

☞ **Erreurs systématiques (ou biais)** = erreurs **reproductibles**, reliées à leur cause par une **loi physique**, susceptibles d'être **éliminées** (correction par un calcul approprié)

Ex : Balance mal étalonnée qui rajoute 10mg à chaque mesure. Si on enlève 10mg à chaque valeur affichée, on trouve la valeur vraie.

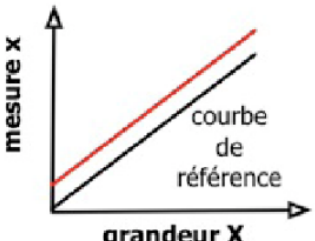
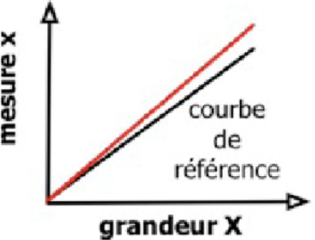
☞ **Erreurs aléatoires** = erreurs **non reproductibles**, qui obéissent à des **lois statistiques** (hasard).

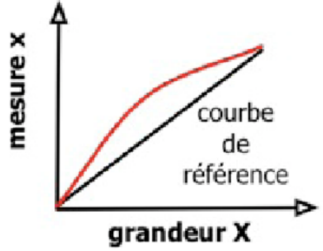
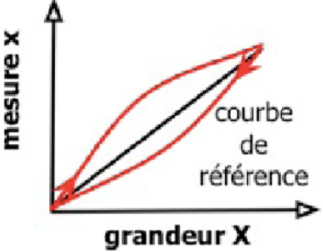
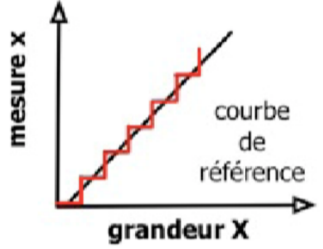
Ex : Manipulateur qui fait parfois tomber une goutte de trop lors d'un titrage.

☞ **Erreurs accidentelles** = erreurs dues à une fausse manœuvre, à un mauvais emploi ou à un dysfonctionnement de l'appareil. Elles ne sont **pas prises en compte** lors de la détermination de la mesure.

Ex : Manipulateur qui oublie de tarer la balance avant de l'utiliser.

Il existe 5 erreurs accidentelles :

|                         |   |   |
|-------------------------|---|---|
| Erreur de zéro (offset) |   | Ne dépend pas de la valeur mesurée.<br>$x \neq 0$ alors que $X = 0$<br><u>Ex</u> : Tare d'une balance |
| Erreur d'échelle (gain) |  | Dépend de façon linéaire de la valeur mesurée.  |

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| Erreur de linéarité                  |  | La caractéristique n'est pas une droite.   |
| Erreur due au phénomène d'hystérésis |  | Le résultat de la mesure dépend de la mesure précédente.<br><i>Ex : La viscosité</i> |
| Erreur de mobilité                   |  | La caractéristique est en escalier.<br>Souvent due à une numérisation du signal.     |

#### 4. CARACTERISTIQUES LORS D'UNE SERIE DE MESURES

On distingue 2 caractéristiques qui permettent de déterminer les erreurs lors d'une mesure :

**FIDÉLITÉ** = étroitesse entre une **série de mesures** et la **moyenne des valeurs**.

Donne une indication sur les **erreurs aléatoires**.

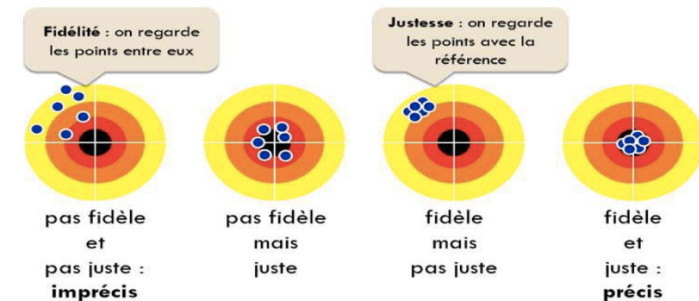
*Ex : Si 2 élèves passent un contrôle, on a 2 cas :*

- L'un obtient 18, et l'autre 2 : moyenne 10/20, très peu fidèle
- L'un obtient 11, et l'autre 9 : moyenne 10/20, fidèle

**JUSTESSE** = étroitesse entre la **valeur trouvée** et la **valeur de référence**.

Donne une indication sur les **erreurs systématiques**.

*Ex : Si une balance est faussée, toutes les valeurs seront loin de la valeur vraie.*



## IV. PRESENTATION DES RESULTATS

### 1. NOTATION SCIENTIFIQUE

La notation scientifique est la représentation d'un **nombre décimal** sous la forme d'un **produit de 2 facteurs** :

- Un seul chiffre non nul à gauche de la virgule, avec un nombre variable de décimales après la virgule, qui dépend de la précision
- Une puissance entière de 10 (*ex : on n'écrit pas  $10^{2,5}$* )

La **précision** du résultat est indiquée par le **nombre de chiffres significatifs** de la donnée. Plus il y en a, et plus c'est précis.

**Chiffres significatifs (CS)** : Les 0 à la fin du nombre sont significatifs, mais pas ceux en amont. Tous les chiffres autres que 0 sont significatifs.

$0,12 = 2 \text{ CS}$  mais  $1,20 = 3 \text{ CS}$

## 2. ARRONDIS

☞ **Arrondis par excès** = on augmente le chiffre d'une unité si le chiffre suivant est supérieur à 5. Ex : 3,7 → 4

☞ **Arrondis par défaut** = on conserve le chiffre d'une unité si le chiffre suivant est strictement inférieur à 5. Ex : 2,3 → 2

☞ **Addition ou soustraction** = le résultat ne doit pas avoir plus de **décimales** que la donnée qui en contient le moins. Ex : 1,12 + 1,4 = 2,5

☞ **Multiplication ou division** = le résultat ne doit pas avoir plus de **chiffres significatifs** que la donnée qui en contient le moins. Ex : 25,42 x 72,5 = 1,84.10<sup>3</sup>

☞ **Logarithme** = on conserve autant de **chiffres décimaux** qu'il y a de **chiffres significatifs** dans le nombre de départ. Ex :  $\log(139) = 2,143$

☞ **Exponentielle** = on conserve autant de **chiffres significatifs** qu'il y a de **décimales** dans ce nombre. Ex :  $10^{-3,972} = 1,06.10^{-4}$

## V. ÉLÉMENTS DE BIOMETRIE

### 1. TYPES DE CARACTÈRES

| MORPHOLOGIQUES<br>Forme des individus   | PHYSIOLOGIQUES<br>Fonctionnement des individus   |
|---|--|
| <b>Métriques</b><br>Mesurable par rapport à une unité déterminée<br><u>Ex</u> : taille, longueur du corps, poids en grammes, température, ... | <b>Métriques</b><br>Mesurable par rapport à une unité déterminée<br><u>Ex</u> : dosages sanguins, pression artérielle, spirométrie ... |
| <b>Numériques</b><br>Dénombrable<br><u>Ex</u> : nombre de dents   | <b>Appréciation qualitative</b><br>Unité arbitraire<br><u>Ex</u> : adiposité, calvitie, ...  |

## 2. CLASSIFICATION DES VARIABLES

| VARIABLE QUANTITATIVE   |  | VARIABLE QUALITATIVE  |  |
|---|--|---|--|
| <b>Mesurée ou dénombrée</b><br><u>Ex</u> : taille, poids, nombre de cigarettes fumées par jour, ... |  | Ne peut être mesurée, mais susceptible de <b>classement</b><br><b>Binaire</b> (oui/non) ou <b>Multiple</b><br><b>Non ordonnée</b> ( <u>ex</u> : statut marital) ou <b>ordonnée</b> ( <u>ex</u> : gravité d'une maladie) |  |
| INTERVALLE  | RELATIVE   | NOMINALE<br>(catégorielle)  | ORDINALE   |
| Il existe une <b>valeur nulle arbitraire</b> .  | Le zéro n'est <b>pas arbitraire</b> et signifie l' <b>absence</b> ou la <b>nullité</b> . | Les valeurs sont <b>collectivement exhaustives</b> et <b>mutuellement exclusives</b> ( <u>tout le monde peut être classé, mais dans 1 seule catégorie</u> ).  | Les valeurs sont <b>classées</b> en rang ou <b>ordonnées</b> selon un critère connu.   |
| La <u>distance</u> qui sépare 2 catégories est <b>connue</b> .                                      | Il existe une <b>égalité</b> d'intervalles et de rapports.                               | L' <u>ordre</u> des catégories et les <u>distances</u> existant entre elles sont <b>ignorés</b> , et chaque valeur doit être bien définie.  | La <u>distance</u> existant entre 2 catégories adjacentes n'est <b>pas connue</b> et peut <b>varier</b> d'une paire de catégories à l'autre. |
| <u>Ex</u> : température mesurée en °C   | <u>Ex</u> : température mesurée en Kelvin  | <u>Ex</u> : homme / femme   | <u>Ex</u> : degré de douleur (pas mal / mal / très mal), score d'Apgar (= état initial d'un nouveau-né)                                      |

### 3. VARIABLES QUANTITATIVES

**DISCRÈTE (discontinue)** = ne prend que des **valeurs isolées**, généralement **entières**, appartenant à un certain intervalle. Valeurs issues d'un **dénombrement**. Ex : nombre d'enfants, âge civil

**CONTINUE** = susceptible de prendre **toute valeur** dans un certain intervalle. Valeurs issues d'une **mesure**. Ex : poids, taille, distance, âge réel

### 4. CODAGE NUMERIQUE

☞ **Variable continue** → on peut **discrétiser** une variable continue en la **regroupant en classes**, de manière non arbitraire. L'objectif est de conserver à la distribution sa forme générale : le découpage ne doit pas être ni trop fin ni trop large.

- S'il est trop grossier (faible nombre de classes) → perte d'information et schématisation extrême.
- S'il est trop fin (grand nombre de classes) → l'effectif de chaque classe et la répartition est trop aléatoire.

Ex : discrétisation de l'âge des individus : 1) 0-2ans ; 2) 2-6ans ; ...

☞ **Variable nominale** → le codage permet de faciliter le traitement informatique des données, mais il **ne modifie pas la nature qualitative de la variable**. +++

Ex : 0 = homme ; 1 = femme

☞ **Variable ordinale** → le codage permet de **désigner la variable par un nombre ou un score**, qui définit un **rang/degré/niveau**, et non pas une quantité objectivable. Ce nombre est **moins arbitraire**, car il montre une **progression**.

En général, l'absence de caractéristique ou le niveau le plus bas est codé par un 0.

Ex : satisfaction : 0=non satisfait, 1=satisfait, 2=très satisfait

⚠ **La numérisation d'une variable qualitative ne la transforme pas en variable quantitative ! +++**

## VI. BIOMÉTRIE

### 1. BIOMÉTRIE CLINIQUE

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

☞ **Examen clinique** = poids, taille, périmètre crânien, périmètre abdominal, fréquence cardiaque, ...

☞ **Tension artérielle** = La pression du sang dans les artères est mesurée en millimètres de mercure (mmHg) et convertie en cmHg. On utilise la méthode auscultatoire, dite méthode des bruits de Korotkoff, qui devient une automesure avec la numérisation.

☞ **Tension oculaire** = Mesurée avec un tonomètre à flux d'air. C'est un bon indicateur pour la détection de glaucomes mais il existe des problèmes d'étalonnage des tonomètres.

☞ **Audiométrie** = L'audiomètre est un générateur qui envoie par l'intermédiaire d'un casque des sons de différentes fréquences, et de différents niveaux. Le patient signale le moment où il ne perçoit plus le son. L'instrument nécessite un étalonnage à l'aide d'une oreille artificielle.

☞ **Spirométrie** = Mesure des volumes pulmonaires et des débits ventilatoires au cours des mouvements respiratoires

La reproductibilité dépend de la normalité des paramètres ventilatoires, des appareils utilisés, des compétences de l'opérateur et de la participation active et volontaire du patient.

## 2. BIOMÉTRIE BIOLOGIQUE

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

- ☞ Analyses de biologie médicale
- ☞ Liquides biologiques : sang, urines, fèces
- ☞ Hématologie
- ☞ Chimie analytique : Natrémie (sodium), Kaliémie (potassium)
- ☞ Troubles lipidiques
- ☞ Diabètes
- ☞ Insuffisance rénale : Créatininémie
- ☞ Marqueurs cardiaques
- ☞ Marqueurs tumoraux
- ☞ Processus inflammatoire
- ☞ Techniques de biologie moléculaire (PCR)

## 3. BIOMÉTRIE COMPOSITE

### ☞ Indices cliniques :

- IMC (Indice de masse corporelle) =  $\text{poids (kg)} / \text{taille (cm}^2\text{)}$
- Indice de Karnofsky = échelle pour évaluer la dépendance

### ☞ Indices biologiques :

- Temps de Quick = temps nécessaire à la coagulation du plasma traité dans certaines conditions
- INR (International Normalized Ratio) = rapport entre le temps du malade sur celui du témoin = rapport entre 2 temps de Quick différents  
On utilise ce dosage pour surveiller les patients traités par anti-vitamine K (anticoagulant).

*Et voilà ! C'est (déjà) la fin de ce premier cours de Biostat qui est plutôt facile et cool à bosser. Cette fiche-là est complète donc vous pouvez bosser dessus sans souci. Les parties les plus importantes sont celles sur les incertitudes et erreurs de mesure, et sur la classification des variables +++ Comprenez bien ces notions et vous les retiendrez d'autant mieux ! Bien sûr, si vous avez une question, direction le forum ;)*

*Courage à tous pour cette année, c'est difficile mais ça en vaut la peine ! Faites tout pour ne rien regretter.*

*C'est l'heure des DÉDIS :*

- à Léa, Théo et Charles, mes vieux d'amour
- à mes merveilleux co-tuts : mamie Sarah la daronne de la biostat, Carl que j'adore même si je dois rattraper toutes ses boulettes, Ric (j'attends ta crémaillère) et Simon (on attend une soirée chez toi aussi, tiens)
- à Yanis, à son poppers et aux soirées Biostat mémorables mais oubliées
- à Blanblan le S et Laura qui m'ont supportée en p1 (et qui vont continuer encore longtemps de me supporter d'ailleurs <3)
- à Maria et Oumi, les piliers de l'histo
- à mes fillots : Cléo, Lucas, Alice, Esteban, Lucille et Mathieu qui vont tout niquer cette année parce qu'ils ont les meilleures marraines 😊