

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'informations** : **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

Biométrie : Mesure des **phénomènes biologiques** pour l'étude quantitative et/ou qualitative des êtres vivants.

Domaines d'application : l'agronomie, l'anthropologie, l'écologie, la médecine

Ex : Claude Bernard et la médecine expérimentale : 1^{ers} raisonnements médicaux

Mesurer : **Comparer** une **grandeur inconnue** (celle qu'on observe) à une **référence** (de même nature, prise pour unité) dont la traçabilité est établie

Il faut une référence : un **étalon** (→ 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 font des ensembles : masses, longueurs, capacités...

Unité : Grandeur particulière choisie comme **référence**. Chaque unité est nommée et un **symbole** lui est attribué.

Mesure : valeur **numérique** accompagnée de son unité, placée à droite.

MESURE = VALEUR*UNITE

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

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.

II) Grandeurs et unités

A) Unités de base

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

En 1960, le **système international** 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, en théorie, **indépendantes** les unes des autres.

Attention : ne pas confondre une grandeur (le masse) avec une unité (le kilogramme) .+ + +

B) Unités dérivées

Les autres unités du SI sont appelées les **unités dérivées**

Ex : Newton, Joules, Watt

| Grandeurs | Unités | Symboles | Expression en fonction des grandeurs fondamentales |
|-----------------------|---------|----------|--|
| Force | Newton | N | kg.m/s ² |
| Travail et énergie | Joule | J | kg.m ² /s ² |
| Puissance | Watt | W | kg.m ² /s ³ |
| Pression | Pascal | Pa | kg/(m.s ⁻¹) |
| Fréquence | Hertz | Hz | s ⁻¹ |
| Charge électrique | Coulomb | C | A.s |
| Potentiel électrique | Volt | V | kg.m ² /(A.s ³) |
| Résistance électrique | Ohm | Ω | kg.m ² /(A ² .s ³) |
| Capacité | Farad | F | A ² .s ⁴ /(kg.m ²) |
| Champ magnétique | Tesla | T | kg/(A.s ²) |
| Inductance | Henry | H | kg.m ² /(s ² .A ²) |

C) Préfixes

| 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 | μ |

| | | |
|-------------------|-------|---|
| 10 ⁻⁹ | Nano | n |
| 10 ⁻¹² | Pico | p |
| 10 ⁻¹⁵ | Femto | f |
| 10 ⁻¹⁸ | Atto | a |
| 10 ⁻²¹ | Zepto | z |
| 10 ⁻²⁴ | Yocto | y |

III) Incertitudes et erreurs de mesure

A) Définitions / Rappels

La grandeur physique (X) : Paramètre qui doit être contrôlé lors de l'élaboration d'un produit ou de son transfert.

Ex : pression, température, niveau.

Le mesurage : C'est l'ensemble des opérations ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur physique.

La mesure (x) : C'est l'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 400 grammes, un temps de 6 secondes

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... Cela s'appelle la **variabilité**.

B) Incertitudes

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

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 d'une incertitude.

L'incertitude peut être due à la **mesure** et permet de **quantifier la qualité** du résultat : une petite incertitude garantie un résultat précis. Elle donne la **fiabilité** du résultat. Elle illustre aussi la **variabilité** de la mesure.

- ♥ **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** (%)

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

Ex : Le Tour de France (valeurs fictives)

Concentration maximale de testostérone autorisée : 5 µg/l

Analyse au laboratoire de référence : 6,2 µg/l

Incertitude de la mesure : 20%

Résultat du laboratoire : 6,2 µg/l ± 20%

4,96 ≤ 6,2 ≤ 7,44

Conclusion :

4,96 µg/l est < au seuil fixé à 5µg/l : exclusion du coureur ? On ne sait pas car il y a des chances qu'elle soit en dessous de 5 même si en soit elle est égale à 6,2

Exercice : le test de grossesse

Concentration de βHCG minimale caractérisant la grossesse : 5µg/L

Concentration mesurée chez la patiente : 4,7µg/L

Incertitude de mesure du test : 10%

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

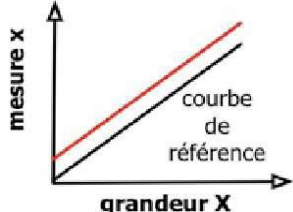
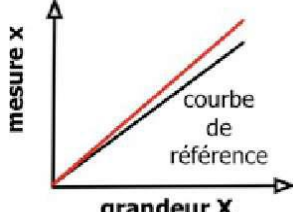
Résolution : 4,7 - (4,7x0,1) < 5 < 4,7 + (4,7x0,1)

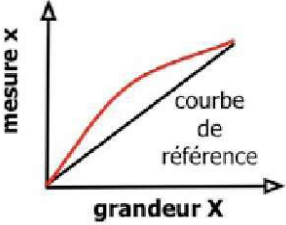
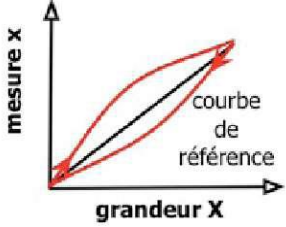
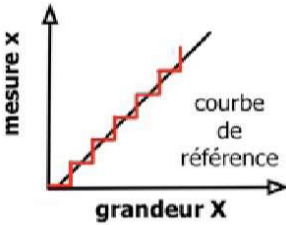
→ 4,23 < 5 < 5,17

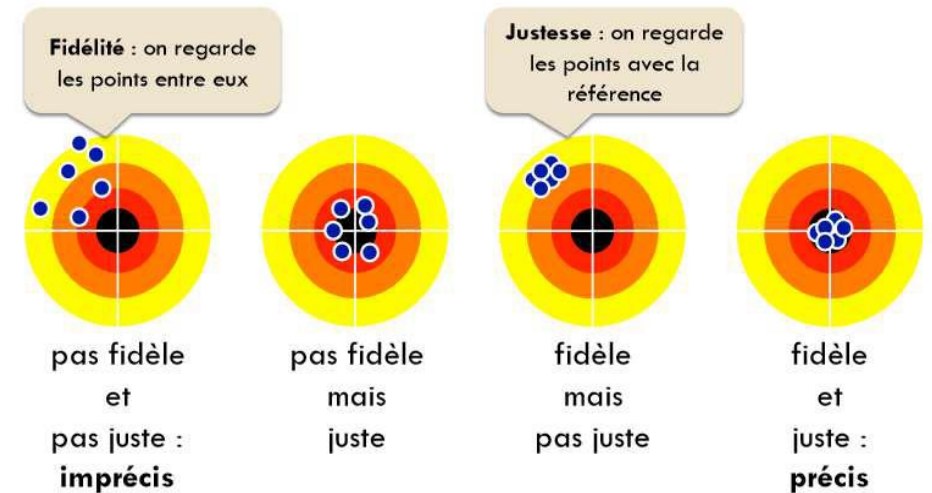
C) Erreurs de mesure

- **Erreurs systématiques ou biais** : Erreurs reproductibles reliées à leur cause par une loi physique. Elles sont susceptibles d'être éliminées : correction par un calcul approprié
Ex : balance mal étalonnée qui rajoute 10mg à chaque mesure → on enlève 10mg à chaque valeur affichée et on trouve la valeur vraie.
- ♥ **Erreurs aléatoires** : Erreurs non reproductibles obéissant à des lois statistiques (hasard).
Ex : Si on fait tomber une goutte de trop lors d'un dosage
- ♥ **Erreurs accidentelles** : Erreurs dues à une fausse manœuvre, un mauvais emploi, un dysfonctionnement de l'appareil. Elles ne sont pas prises en compte dans la détermination de la mesure.

Il existe 5 types d'erreurs accidentelles :

| | | |
|---------------------------------------|---|---|
| <p>Erreur de zéro (offset)</p> |  | <p>Ne dépend pas de la valeur mesurée</p> <p>$x \neq 0$ alors que $X=0$</p> <p><i>Ex : la tare d'une balance</i></p> |
| <p>Erreur d'échelle (gain)</p> |  | <p>Dépend de façon linéaire de la valeur mesurée</p> <p>$dB = 20 \log(x/X)$</p> |

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



IV) Présentation des résultats

A) Notation scientifique

La notation scientifique est la représentation d'un **nombre décimal** sous la forme d'un **produit** de deux 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** (on n'écrit pas $10^{3,5}$)

Ex : $146 = 1,46 \cdot 10^2$

$0,00008934 = 8,934 \cdot 10^{-5}$

La **précision** du résultat est indiquée par le **nombre de chiffres significatifs** de la donnée : + il y en a + c'est précis.

Attention : Les zéros à la fin du nombre sont significatifs mais pas ceux au début.

Ex : $0,24 = 2$ CS mais $2,40 = 3$ CS

D) Caractéristiques lors d'une série de mesures

Il y a 2 caractéristiques permettant de déterminer les erreurs lors d'une mesure :

- ♥ **Fidélité** : **Étroitesse** entre une **série** de mesure et la **moyenne** des valeurs. Elle donne une indication sur les **erreurs aléatoires**.
Ex : Les notes de 2 élèves à un contrôle :
 - Un obtient 16 et l'autre 4 : moyenne = 10/20 : peu fidèle
 - Un obtient 11 et l'autre 9 : moyenne = 10/20 : fidèle
- ♥ **Justesse** : **Étroitesse** entre la valeur **trouvée** et la valeur de **référence**. Elle donne une indication sur les **erreurs systématiques**.
Ex : Si une balance est faussée, toutes les valeurs seront loin de la valeur vraie

B) Arrondis

- ♥ **Arrondis par excès** : on augmente le chiffre d'une unité si le chiffre suivant est supérieur à 5
- ♥ **Arrondis par défaut** : on conserve le chiffre si le chiffre suivant est strictement inférieur à 5
- ♥ **Addition ou soustraction** : le résultat ne doit pas avoir plus de décimales que la donnée qui en a le moins
Ex : 34,51 + 21,3 = 55,8
- ♥ **Multiplication ou division** : le résultat ne doit pas avoir plus de chiffres significatifs que la donnée qui en a le moins
Ex : 34,51 x 21,3 = 7,35.10²
- ♥ **Logarithme** : on conserve autant de chiffres décimaux qu'il y a de chiffres significatifs dans le nombre de départ
Ex : log(546) = 2,737
- ♥ **Exponentielle** : on conserve autant de chiffres significatifs qu'il y a de décimales dans ce nombre
Ex : 10^{-5,432} = 3,69.10⁻⁶

V) Eléments de biométrie

A) Types de caractères

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

B) Classification des variables

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

C) Variables quantitatives

- ♥ **Discrète** (discontinue): Ne prend que des **valeurs isolées**, généralement **entières**, appartenant à un certain intervalle. Les valeurs sont issues d'un **dénombrement**.
Ex : nombre d'enfant, âge civil
- ♥ **Continue** : susceptible de prendre **toute valeur** dans un certain intervalle. Les valeurs sont issues d'une **mesure**.
Ex : poids, taille, distance, âge réel

D) Codage numérique

- ♥ **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 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 classe → la répartition est trop aléatoire
- ♥ **Variable nominale** : le codage permet de **faciliter le TTT** informatique des données. 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**, non pas une quantité objectivable → ce nombre est **moins arbitraire** car il montre une **progression**.
En général, l'absence de caractéristique ou bien le niveau le plus bas est codé par un 0.
Ex : satisfaction : 0 = non satisfait ; 1 = satisfait ; 2 = très satisfait

Attention : la numérisation d'une variable qualitative ne la transforme pas en variable quantitative

VI) Biométrie

A) 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 » 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 de 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

B) La 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
- ♥ Diabète
- ♥ Insuffisance rénale : Créatininémie
- ♥ Marqueur cardiaque
- ♥ Marqueurs tumoraux
- ♥ Processus inflammatoire
- ♥ Techniques de biologie moléculaire (PCR)

C) La biométrie composite

| Indices cliniques | Indices biologiques |
|--|---|
| <p>IMC (Indice de masse corporelle) = Poids (kg) / taille (cm²)</p> <p>Indice de Karnofsky : échelle pour évaluer la dépendance</p> | <p>Temps de Quick : temps nécessaire à la coagulation du plasma traité dans certaines conditions</p> <p>INR (International Normalized Ratio) : rapport entre le temps du malade sur celui du témoin = rapport entre 2 temps de Quick différents</p> <p><i>On utilise ce dosage pour surveiller les patients traités par anti-vitamine K (anticoagulant)</i></p> |

