

INTRODUCTION À LA MÉTROLOGIE ET À LA BIOMÉTRIE

INTRODUCTION

Position du sujet

Les problématiques liées à la mesure de phénomènes physico-chimiques ayant un impact sur la santé figurent parmi les plus importantes préoccupations du XX^e siècle. En médecine, de nombreuses décisions thérapeutiques sont prises en se fondant sur différentes sources d'informations :

L'écoute du patient	Les constats / observations du médecin	Le goût	L'odorat	Les résultats de mesure et d'analyse de biologie
---------------------	--	---------	----------	--

L'examen physique d'un patient comprend plusieurs étapes :

L'inspection	La palpation	La percussion	L'auscultation
→ de signes cutanés anormaux → de déformations	→ abdominale → des pouls artériels	→ matité → tympanisme	→ écoute des bruits (du cœur, de la respiration pulmonaire)

Durant cet examen, c'est le clinicien (avec ses 5 sens) qui fait office à la fois de méthode et d'outil de mesure !

Biométrie

Mesure des phénomènes biologiques pour l'étude quantitative et/ou qualitative des êtres vivants. Parmi les principaux domaines d'application de la biométrie, on peut citer l'agronomie, l'anthropologie, l'écologie et la médecine.

GRANDEURS ET UNITES

Définitions

- ◆ **Mesurer** = comparer une grandeur inconnue à une référence dont la traçabilité est établie.

Problématiques

Comment comparer à long terme l'évolution de la santé de la population sans références stables dans le temps ?

Comment comparer des études épidémiologiques, les études cliniques effectuées aux USA et en Europe si les références ne sont pas communes ?

Nécessités

→ disposer de référence, d'étalon... (fiable)

→ assurer la traçabilité métrologique de ces références à des unités, généralement le Système International d'unité (SI)

- ◆ **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.

- ◆ **Unité** = dans un ensemble de grandeurs, une unité est une grandeur particulière choisie comme référence à laquelle toutes les autres sont comparées

Mesure d'une grandeur

La valeur numérique d'une grandeur n'a de sens qu'accompagnée de l'unité à laquelle elle a été comparée pour obtenir cette valeur – l'unité devant toujours être placée à droite.

$$\text{MESURE} = \text{VALEUR} * \text{UNITE}$$

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.

Ex : 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.

NB : Le kilogramme est la seule unité de base du Système International d'unités (SI) qui soit encore définie au moyen d'un étalon matériel : le prototype international du kilogramme.

Unités historiques

Sous l'Ancien Régime, on comptait plus de 700 unités de mesure.

Longueur	Surface	Capacité	Poids
→ La brasse → Le pas → Le mille marin → L'encablure	→ Le journal	→ Le litron → La pinte → Pot ancien de Lyon → Le pot ou quade (cade)	→ La livre → Le grain → Le quintal

Mesures de longueur

Les bases « saines »	Mais des différences régionales
Le pied de Roi (ou pied de France) = 12 pouces Le pouce = 12 lignes La ligne = 12 points	L'aune : elle était utilisée surtout pour mesurer les étoffes. Ex: L'aune de Paris, de Bordeaux, de Troyes

Système métrique

Institué par la loi du 18 Germinal An III (7 avril 1795)

- Mais rendu obligatoire seulement le 4 juillet 1837 sous la monarchie de juillet
- Rendu obligatoire aux Pays-Bas en 1816 et en Espagne en 1849
- 1875 : création en France du Bureau International des Poids et Mesure (BIPM). 17 états signent la convention du mètre, charge de reproduire les étalons de mesure
- 1960, le système international d'unités remplace le système métrique

Unités de base

Dans un effort d'unification, la plupart des unités faisant double emploi ont été éliminées.

- Les unités en usage ont été ramenées à des fonctions de **7 unités de base**.
- Ces 7 unités de base sont (en théorie) **indépendantes les unes des autres**.
- La recherche actuelle vise à limiter le nombre d'étalons auxquels se réfèrent les définitions des unités de base.

NB : Les autres unités du SI sont appelées "unités dérivées".

INTRODUCTION À LA MÉTROLOGIE ET À LA BIOMÉTRIE

GRANDEURS DE BASE

Grandeur	Unité	Remarques
Longueur L	Mètre (m)	Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde
Masse M	Kilogramme (kg) [≠ gramme (g)]	Le kilogramme est la masse du prototype international du kilogramme
Temps t	Seconde (s)	La seconde est la durée de 9 182 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 à la température de 0 kelvin
Courant électrique i	Ampère (A)	L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de un mètre l'un de l'autre dans le vide produirait entre ces deux conducteurs une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre de longueur
Température T	Kelvin (K)	Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau
Quantité de matière	Mole (mol)	La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12 . Ce nombre d'entités élémentaires est appelé nombre d'Avogadro.
Intensité lumineuse I	Candela (cd)	Le candela est l'intensité lumineuse dans une direction donnée d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence $540 \cdot 10^{12}$ s ⁻¹ (hertz) et dont l'intensité énergétique dans cette direction est de 1/683 watt par stéradian

GRANDEURS DERIVES

Grandeur	Unité
Force	Newton (N)
Travail et énergie	Joule (J)
Puissance	Watt (W)
Pression	Pascal (Pa)
Fréquence	Hertz (Hz)
Charge électrique	Coulomb (C)
Potentiel électrique	Volt (V)
Résistance électrique	Ohm (Ω)
Capacité	Farad (F)
Champ magnétique	Tesla (T)
Inductance	Henry (H)

Standard prefixes for the SI units of measure

	Name	deca-	hecto-	kilo-	mega-	giga-	tera-	peta-	exa-	zetta-	yotta-
Multiples	Symbol	da	h	k	M	G	T	P	E	Z	Y
	Factor	10^0	10^1	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}
	Name	deci-	centi-	milli-	micro-	nano-	pico-	femto-	atto-	zepto-	yocto-
Fractions	Symbol	d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y
	Factor	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}

Multiples et sous-multiples décimaux

Les nombres supérieurs à 1000 ou inférieurs à 0,01 prennent beaucoup de place et leur lecture est malaisée. Le SI comporte des préfixes pour les multiples et les sous-multiples. Le cumul des préfixes n'est pas autorisé. L'ensemble formé par le symbole d'une unité constitue un nouveau symbole insécable que l'on peut élever à une puissance. **Les préfixes SI ne peuvent pas être utilisés avec : les unités d'angle "°, ' , °" ; les unités de temps min, h, d ; les unités de surface a, ha ; le carat métrique ct ; la dioptrie et le millimètre de mercure.**

Relations entre unités : Font appel à des constantes ...

Soit universelles

- $eV = 1 \text{ J/e}$
- $W = m \text{ c}^2$

Soit historiques

- $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ (La calorie "diététique" est en fait le kcal...)
- $1 \text{ pied} = 0,33 \text{ m}$
- $1 \text{ mn} = 60 \text{ s}$ $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$
- $1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$

INCERTITUDE ET ERREURS DE MESURE

- ♦ **Grandeur physique (X)** : Paramètre qui doit être contrôlé lors de l'élaboration d'un produit ou de son transfert. Exemple : pression, température, niveau.
- ♦ **Mesurage** : C'est l'ensemble des opérations ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur physique.
- ♦ **Mesure (x)** : C'est l'évaluation d'une grandeur par comparaison avec une autre grandeur de même nature prise pour unité.

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

- ◆ **L'incertitude (dx) :** Le résultat de la mesure (x) d'une grandeur (X) n'est pas complètement défini par un seul nombre. Il faut au moins la caractériser par un couple (x, dx) et une unité de mesure. dx est l'incertitude sur x. Les incertitudes proviennent des différentes erreurs liées à la mesure.
Ainsi, on a : $x - dx < X < x + dx$
- ◆ **Erreur absolue (e) :** C'est le résultat d'un mesurage moins la valeur vraie de la grandeur physique. Une erreur absolue s'exprime **dans l'unité de la mesure**.
 $e = x - X$
- ◆ **Erreur relative (er) :** C'est le rapport de l'erreur de mesure à la valeur vraie de la grandeur physique. Une erreur relative s'exprime généralement **en pourcentage** de la grandeur mesurée.
 $er = e/X$

→ Chaque résultat doit être accompagné d'une incertitude
→ L'incertitude quantifie la qualité du résultat, le doute que l'on a sur la valeur annoncée
→ L'incertitude permet à l'utilisateur du résultat d'en apprécier sa fiabilité

Importance du calcul des incertitudes : Interprétation et prise de décision

Erreurs de mesure

Erreurs systématiques (biais)

→ reproductibles
→ reliées à leur cause par une loi physique
→ susceptible d'être éliminées par des corrections convenables.

Erreurs aléatoires

→ non reproductibles
→ obéissent à des lois statistiques.

Erreurs accidentelles

→ fausse manœuvre, d'un mauvais emploi ou de dysfonctionnement de l'appareil.
→ généralement non prises en compte dans la détermination de la mesure.

Justesse

Traduit l'écart entre la valeur trouvée **et la valeur de référence**.
Fournit une indication sur les erreurs systématiques (biais).

Fidélité

Traduit l'écart entre une série de mesures **et la moyenne des valeurs trouvées**.
Fournit une indication sur les erreurs dues au hasard.

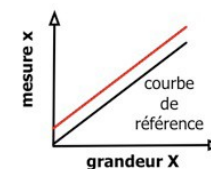
- Imprécis : Ni juste ni fidèle
- Précis : Juste et Fidèle

!! On peut être juste sans être fidèle ou encore fidèle sans être juste !!

Erreur de zéro (offset)

Ne dépend pas de la valeur de la grandeur mesurée

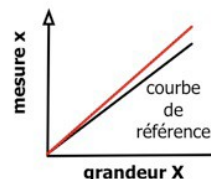
Erreur de zéro = valeur de x quand X=0



Erreur d'échelle (gain)

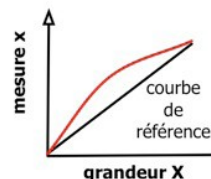
Dépend de façon linéaire de la valeur de la grandeur mesurée

Erreur de gain (dB) = $20 \log(x/X)$



Erreur de linéarité

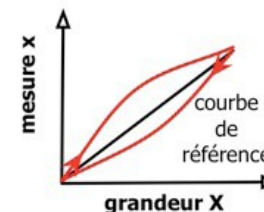
La caractéristique n'est pas une droite



Erreur due au phénomène d'hystérésis

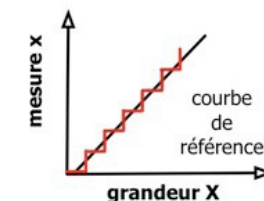
Il y a un phénomène d'hystérésis lorsque le résultat de la mesure dépend de la précédente mesure

Par exemple : effet de viscosité



Erreur de mobilité

La caractéristique est en escalier. Cette erreur est souvent due à une numérisation du signal (discrétisation d'une valeur continue en classes)



PRESENTATION DES RESULTATS

Notation scientifique

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

Le premier facteur	Le second facteur
Nombre décimal dont la valeur absolue de la partie entière est comprise entre 1 et 9 (/! non entre 0 et 9 /!) , c'est-à-dire qu'il n'y a qu'un seul chiffre (non nul) à gauche de la virgule, puis un nombre variable de décimales (nombres après la virgule), qui dépend de la précision	Puissance entière de 10 Ex : $2,1 * 10^3 \rightarrow OK$ $2,1 * 10^{3,5} \rightarrow FAUX$, ici la puissance n'est pas entière.

- La notation scientifique permet de connaître **immédiatement l'ordre de grandeur** du nombre puisqu'il s'agit de la valeur de l'exposant.
- Elle permet également de **simplifier la multiplication et la division**, en procédant aux produits des mantisses d'une part, et à la somme des exposants d'autre part.

Chiffres significatifs et précision

Dans un nombre, les chiffres autres que zéro sont significatifs. Les zéros placés en tête du nombre ne sont pas significatifs.

7,56 → 3 chiffres significatifs 8500 → 4 chiffres significatifs 0,56 → 2 chiffres significatifs

→ **Si on ne dispose pas d'information concernant la manière dont les nombres sont obtenus**, le nombre de chiffres significatifs indique la précision. Par convention, on considérera que le dernier chiffre significatif est connu à $\pm 0,5$.

Ex : Soit le nombre $x = 4523,875\mathbf{2}$
 → Pas d'information supplémentaire sur la façon dont x a été obtenu
 → Le dernier chiffre significatif est **2**, qui par convention est connu à $\pm 0,5$
 → $4523,87515 < x < 4523,87525$

→ Attention : lors de conversions d'unités ou de passage d'unités à leurs multiples ou sous multiples, il faut veiller à la conservation du nombre de chiffres significatifs :

Ex : $M = 11,6 \text{ kg} = 11,6 * 10^3 \text{ g} \neq 11600 \text{ g}$

Présentation du résultat d'un calcul

REGLE GENERALE : Il faut arrondir le résultat obtenu par un calcul afin d'exprimer le résultat avec une précision égale à celle de **la donnée utilisée la moins précise**.

REGLE ADDITION / SOUSTRACTION : le résultat ne doit pas avoir plus de décimales que la donnée qui en a le moins.

Ex : $25,42 + 72,5 = 97,9$

REGLE MULTIPLICATION / DIVISION : Pour une multiplication ou une division, le résultat ne doit pas avoir plus de chiffres significatifs que la donnée qui en a le moins.

Ex : $25,42 \times 72,5 = 1,84 * 10^3$

Arrondi arithmétique

Choisir le dernier chiffre à droite à conserver

Arrondissage par défaut

Conserver ce chiffre si le suivant est strictement inférieur à 5 (soit 0, 1, 2, 3 et 4)
 → on passe à la valeur inférieure
 Ex : $5,95\mathbf{8}3 \leftrightarrow 5,95\mathbf{8}$ (au millième)

Arrondissage par excès

Augmenter ce chiffre d'une unité si le chiffre suivant vaut au moins 5 (soit 5, 6, 7, 8 et 9)
 → on passe à la valeur supérieure
 Ex : $5,95\mathbf{8}7 \leftrightarrow 5,95\mathbf{9}$ (au millième)

Cette méthode limite l'accumulation d'erreurs lors de calculs successifs.

Arrondi avec un logarithme

Le logarithme en base 10 d'un nombre conserve autant de chiffres dans la mantisse (partie à droite de la virgule) qu'il y a de chiffres significatifs dans le nombre de départ

Ex : $x = 1,613 \rightarrow 4 \text{ chiffres significatifs}$
 $\log(x) = 1,2076 \rightarrow 4 \text{ chiffres après la virgule}$

La valeur de l'exponentielle en base 10 d'un nombre comporte autant de chiffres significatifs qu'il y a de décimales dans ce nombre

Ex : $x = -4,122 \rightarrow 3 \text{ décimales}$
 $10^{-4,122} = 7,55.10^{-5} \rightarrow 3 \text{ chiffres significatifs}$

ELEMENTS DE BIOMETRIE

Caractères morphologiques (ont trait à la forme des individus)

Caractères métriques
 Pouvant être **mesurés** par rapport à une unité déterminée: taille, longueur ; poids, température

Caractères numériques
 Basés sur **l'énumération et le décompte** de différentes parties : nombre de ...

Caractères physiologiques (ont trait au fonctionnement de l'organisme)

Appréciant l'état physiologique de l'individu à un moment déterminé de son existence en se basant soit sur une **métrique** soit sur une **unité arbitrairement choisie**.

Métriques
 dosages sanguins, pression artérielle, spirométrie

Appréciation qualitative (unité arbitraire)
 adiposité, calvitie, ...

Classification des variables

Variable = Caractéristique **mesurée** ou **observée** chez un individu

INTRODUCTION À LA MÉTROLOGIE ET À LA BIOMÉTRIE

Variables quantitatives		Variables qualitatives	
Caractère <u>mesuré</u> ou <u>dénombré</u>		Ne peut être mesurée mais est susceptible de classement <ul style="list-style-type: none"> binaire (2 modalités) : Oui/Non – Homme/Femme multiple (plusieurs modalités) 	
Par intervalle Possède une valeur nulle arbitraire → La distance qui sépare deux données ou deux catégories est connue <i>Échelle de degrés Celsius pour mesurer la température</i> ↔ Même écart entre 5 et 10°C qu'entre 20 et 25°C. Mais le 0°C n'est pas la température nulle absolue. <i>Les données sur une échelle circulaire comme l'heure, la date</i>	Relative L'égalité d'intervalles et de rapports peut être déterminée → Sur cette échelle, le zéro n'est pas arbitraire et signifie effectivement l'absence ou la nullité. <i>Température mesurée en Kelvin</i> ↔ 0 K = Température nulle absolue. <i>Mesures de longueur, de surface, de capacité, de pression.</i>	Nominale/Catégorielle Les valeurs (ou catégories) sont : Collectivement exhaustives (tous les individus doivent pouvoir être décrits / classés) Mutuellement exclusives (chaque individu ne peut être classé que dans une seule catégorie) → L'ordre des catégories et les distances existant entre elles sont ignorés → Chaque valeur / catégorie doit être bien définie <i>Statut social : seul, en couple ...</i> <i>Statut marital : vie maritale, pacs, marié, veuf, divorcé ...</i> <i>Les 8 groupes socio-professionnels</i>	Ordinale Les valeurs possibles sont classées en rang ou ordonnées selon un critère connu (via une échelle visuelle analogique / d'évaluation numérique / d'évaluation verbale) → La distance existant entre deux catégories adjacentes n'est pas connue et peut varier d'une paire de catégories adjacentes à l'autre <i>Degré de satisfaction</i> <i>Classification des adénocarcinomes du rectum</i> <i>Score d'Apgar (évaluer l'état initial du nouveau-né)</i>

Valeurs discrètes ou continues

- Une variable quantitative est discrète (discontinue) si elle ne peut prendre que des valeurs isolées, généralement entières, appartenant à un certain intervalle. **Valeurs issues d'un dénombrement**. Ex : Nombre d'enfants ; Age civil d'un individu (convention...)
- Une variable quantitative est continue si elle est susceptible de prendre toute valeur dans un certain intervalle. **Valeurs issues d'une mesure**. Ex : Poids, taille, distance, âge réel, etc.

!! La mesure d'une variable continue est toujours une approximation discrète !!
(ex : poids d'un nouveau-né : 3335g)

Codage numérique

Variable nominale → Codage numérique

↔ Ex :
0 = Statut marital non spécifié
1 = Marié
2 = Divorcé
3 = Veuf

!! Ce codage ne modifie en rien la nature qualitative de la variable. !!

Variable ordinale → Codage numérique

- Il est courant de désigner les modalités d'une variable ordinale par un nombre (ou score).
- Ce nombre désigne non pas une quantité objectivable (mesurable) mais un rang, un degré, un niveau sur une échelle de graduation donnée.
- Ce nombre est moins arbitraire que dans le cas précédent, car il représente un rang dans une progression (croissante ou décroissante).
- En général, l'absence de la caractéristique ou bien le niveau le plus bas est codé par un 0

Variable continue → Discretisation

↔ découper en classes, partitionner

- Discretiser c'est regrouper en classes, de manière pas trop arbitraire, des données quantitatives
- Il n'y a pas de règles universelles, que des solutions empiriques et pragmatiques. L'objectif est de conserver à la distribution sa forme générale.

Découpage trop fin
(trop grand nombre de classes) où l'effectif par classe risque d'être trop faible et sa répartition aléatoire (car fonction du découpage)

Découpage trop grossier (trop petit nombre de classes) avec une perte d'information et une schématisation extrême

Biométrie clinique (Examen clinique)

Ex : Poids ; Taille ; Périmètre crânien ; Périmètre abdominal ; Pli cutané tricipital ; Fréquence cardiaque (battements par minute) ; Fréquence respiratoire (mouvements par minute) ; Tension artérielle (sons de « Korotkoff ») ; Tension oculaire ; Audiométrie ; Spirométrie

Biométrie biologique

Ex : Analyses de biologie médicale ; Liquides biologiques ; Hématologie ; Chimie analytique ; Troubles lipidiques ; Diabète ; Insuffisance rénale ; Marqueur cardiaque ; Marqueurs tumoraux ; Processus inflammatoire ; Techniques de biologie moléculaire

Biométrie composite

Indices cliniques

Indice de masse corporelle (IMC) ;
Indice de Karnofsky (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)