Dispositifs Médicaux de Mesure des signaux physiologiques

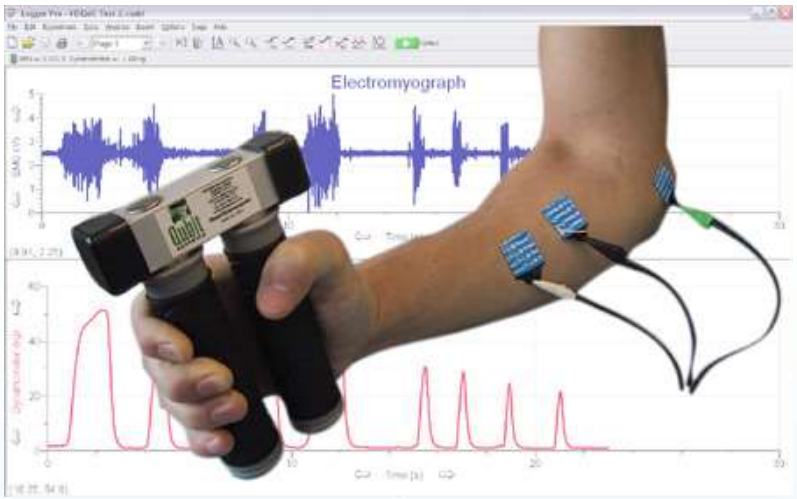
Dr Amalric Montalibet
Pr. Norbert Noury



3
Mesure des biopotentiels

3E- Impédancemétrie

EMG



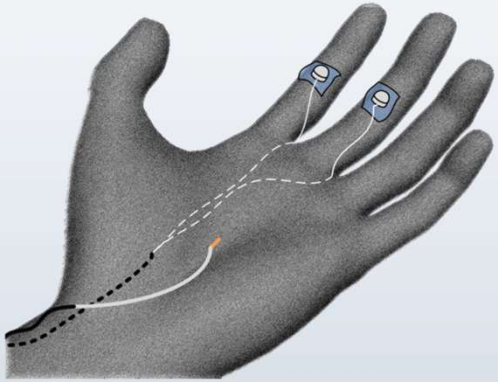
ECG



EEG



GSR



EOG



Impédance

Impédance

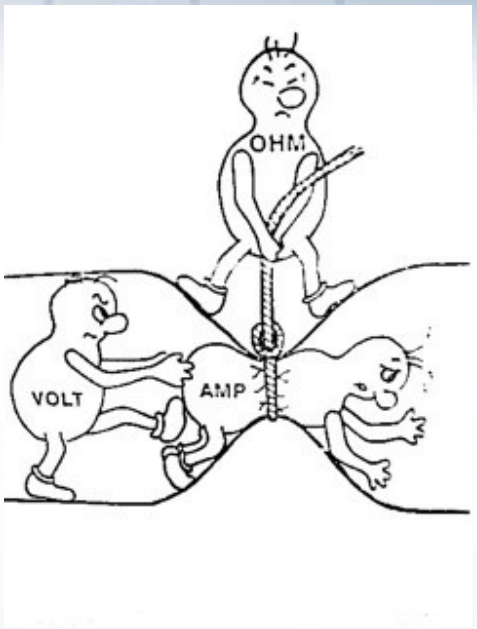
Loi d'Ohm généralisée

$U = Z * I$

U en Volts

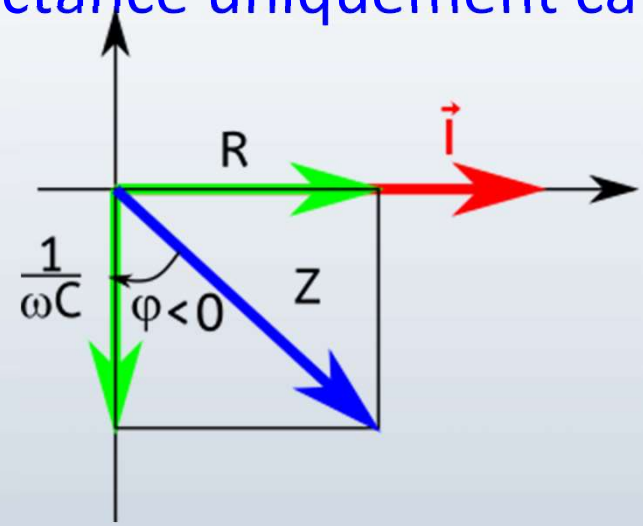
I en Ampères

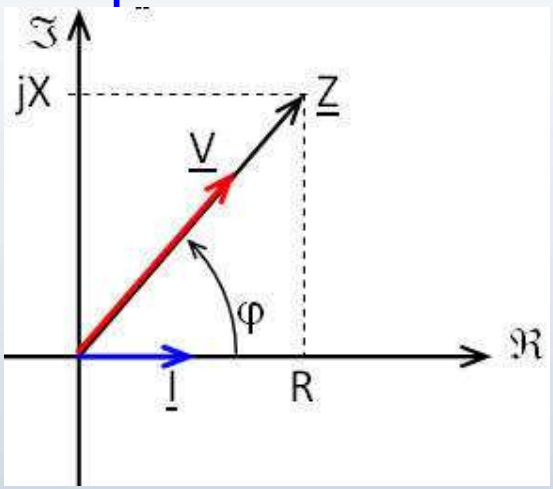
Z en Ohm



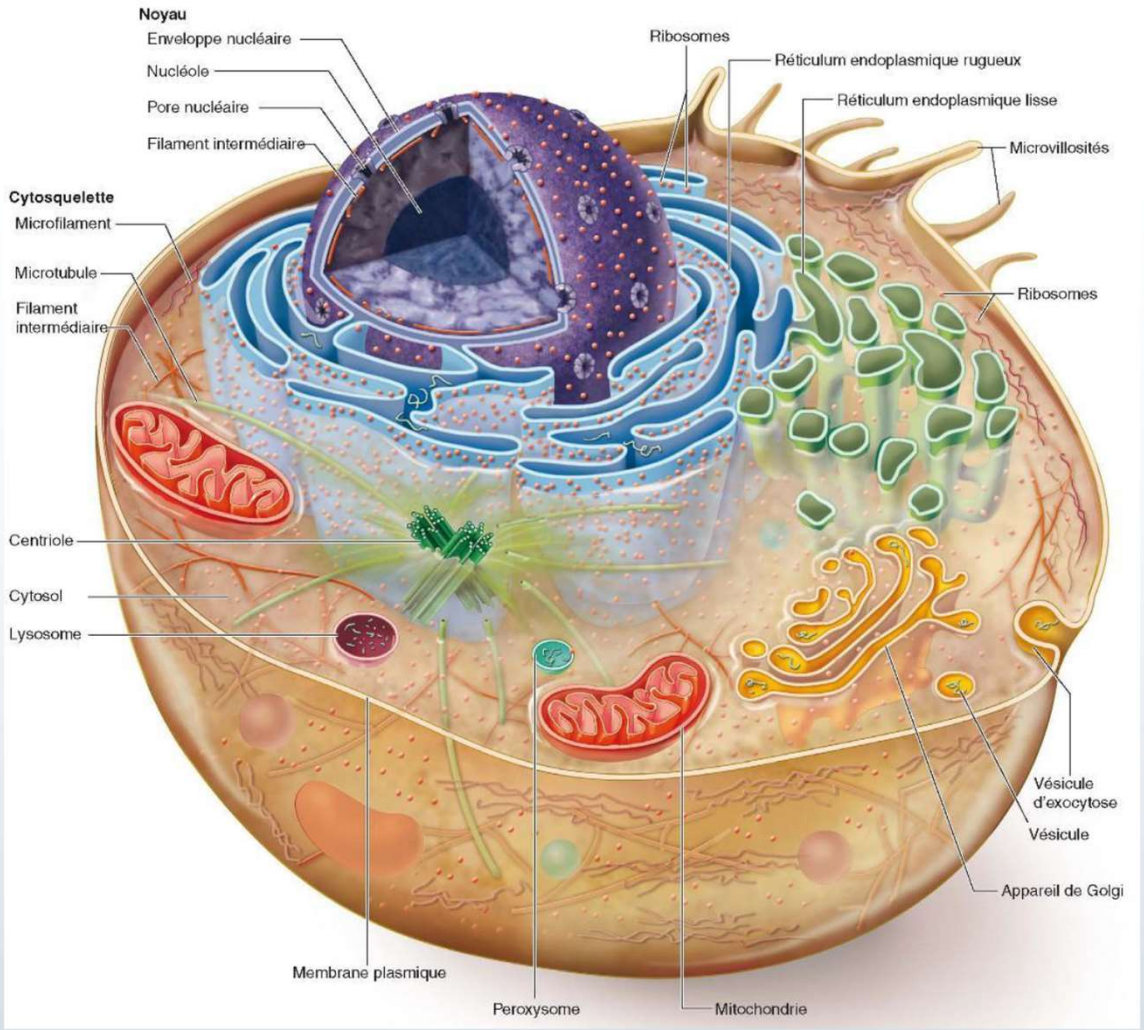
Impédance Z = Résistance + j * Réactance

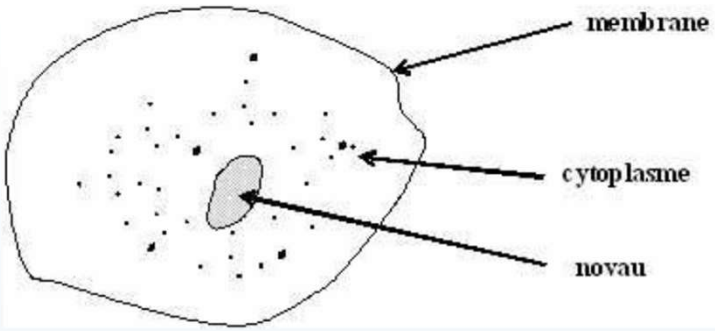
Rq: réactance uniquement capacitive sur le corps humain





La cellule vivante





70 à 95% d'eau+ sels

Compositions en Eau des tissus

Water Content Values for Various Tissues and Organs

TISSUE	WEIGHT % WATER CONTENT	TISSUE	WEIGHT % WATER CONTENT
Bone	44–45	Lung	80–83
Bone Marrow	8–16	Muscle	73–78
Bowel	60–82	Ocular Tissues	
Brain		Choroid	78
White matter	68–73	Cornea	75
Grey matter	82–85	Iris	77
Fat	5–20	Lens	65
Kidney	78–79	Retina	89
Liver	73–77	Skin	60–76
		Spleen	76–81

Composition ionique des tissus

Concentration of electrolytes in body liquids

	cations (meq/L)			anions (meq/L)	
	extracellular	intracellular		extracellular	intracellular
Na^+	142	10	Cl^-	103	4
K^+	4	140	HCO_3^-	24	10
Ca^{2+}	5	10^{-4}	protein-	16	36
Mg^{2+}	2	30	HPO_4^{2-} + SO_4^{2-}	10	130
H^+	4×10^{-5}	4×10^{-5}	+ organic acids		
Sum	153	180	Sum	153	180

mEq = mmol* valence

Impédance du corps humain ?

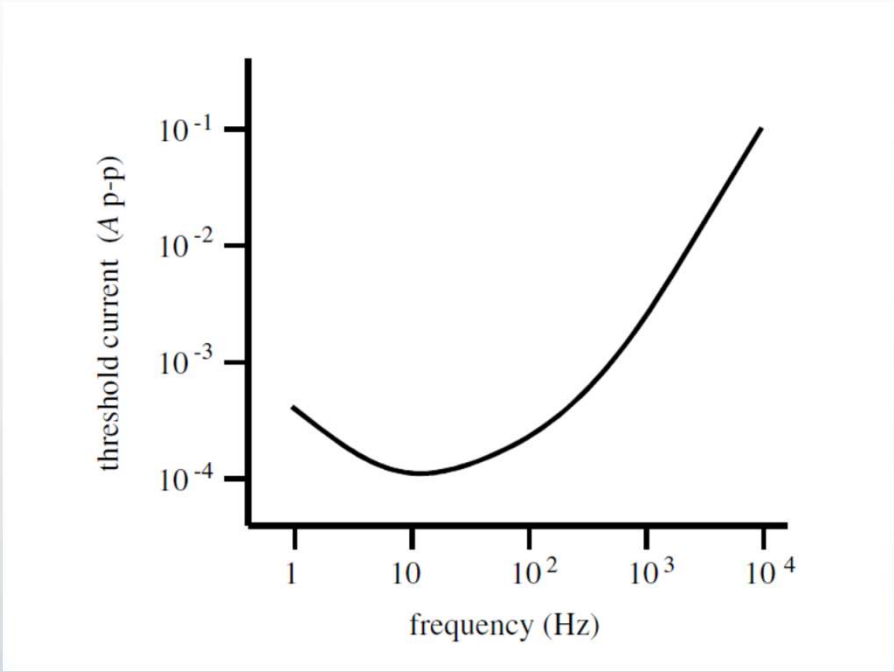
Composition du corps humain :

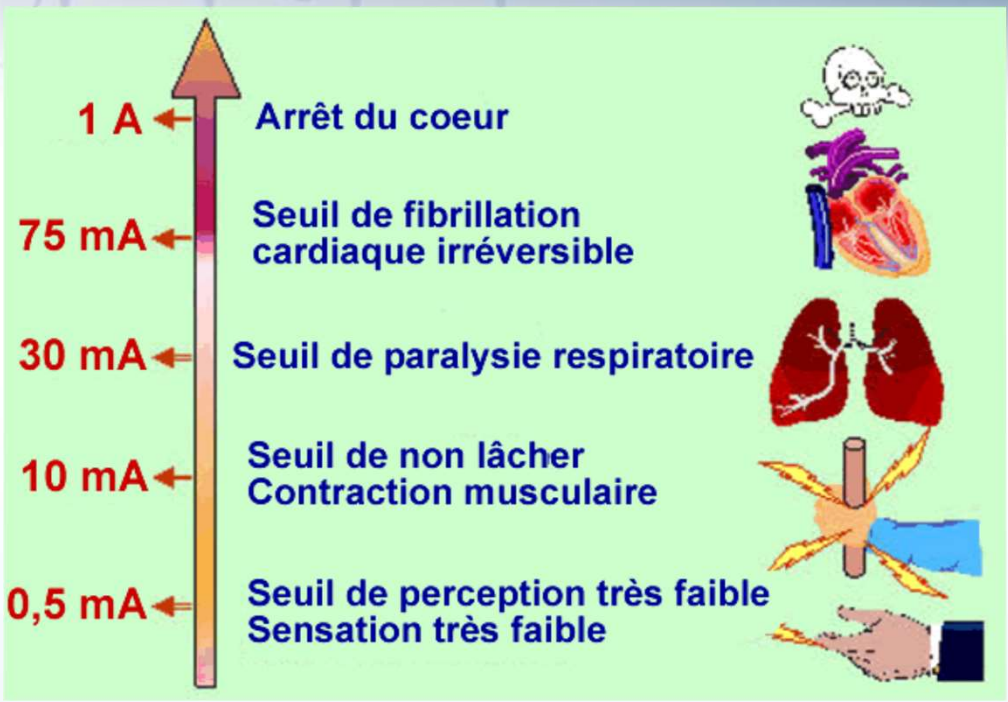
- Milieux conducteurs (de l'électricité) :
  - Nombreux électrolytes : Na+, K+, Ca+, Cl-…
  - En milieu aqueux : sang, lymphe, milieu interstitiel, milieu intracellulaire…
- Milieux isolants (de l'électricité) :
  - Membranes cellulaires (couches bi-lipidiques)
  - Adipocytes (cellule réservoir de triglycérides)
  - Matière minérale
  - Air
  - Couche cornée (stratum corneum)

Electrisation des tissus biologiques

Effets sur le corps humain du passage du courant alternatif (50 ou 60Hz) :

- de la simple sensation
- jusqu'à l'électrisation
- puis l'électrocution

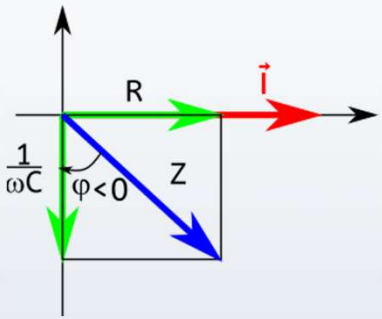




Seuil de sensation en fonction de f pour un courant appliqué entre des électrodes anneau de 5mm de large entourant 2 doigts adjacents (sujet sain)

Impédancemétrie

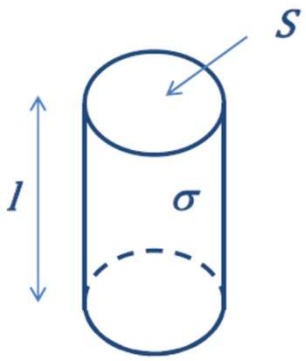
- Courant I imposé sinusoïdal $I = |I| e^{j(\omega t + \Phi_I)}$
- Tension V mesurée sinusoïdale $V = |V| e^{j(\omega t + \Phi_V)}$
- Impédance $Z = \frac{V}{I}$
- Module Impédance $|Z| = \frac{|V|}{|I|}$
- Phase Impédance $\Phi_V = \Phi_I + \theta$



- Résistance Z_R= R indépendante de la fréquence, $\phi = 0$
- Condensateur Zc=1/j.C.ω, diminue avec la fréquence, $\phi = -90°$

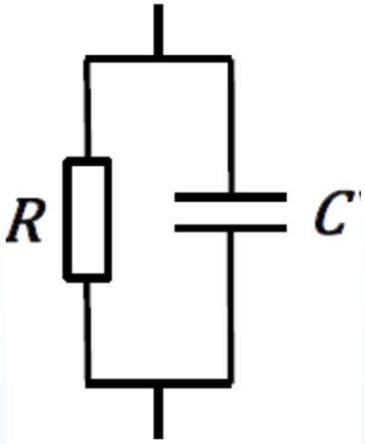
Propriétés électriques des tissus biologiques

- σ : **conductivité** (= $1/\rho$)

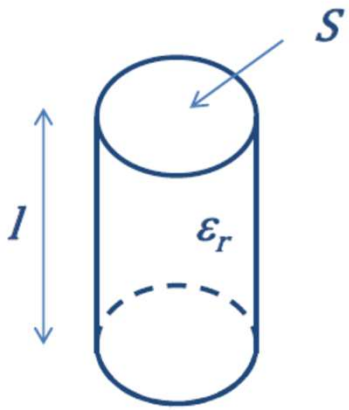


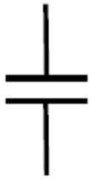


$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma\, S}$$



- ε_r : permittivité **diélectrique** relative



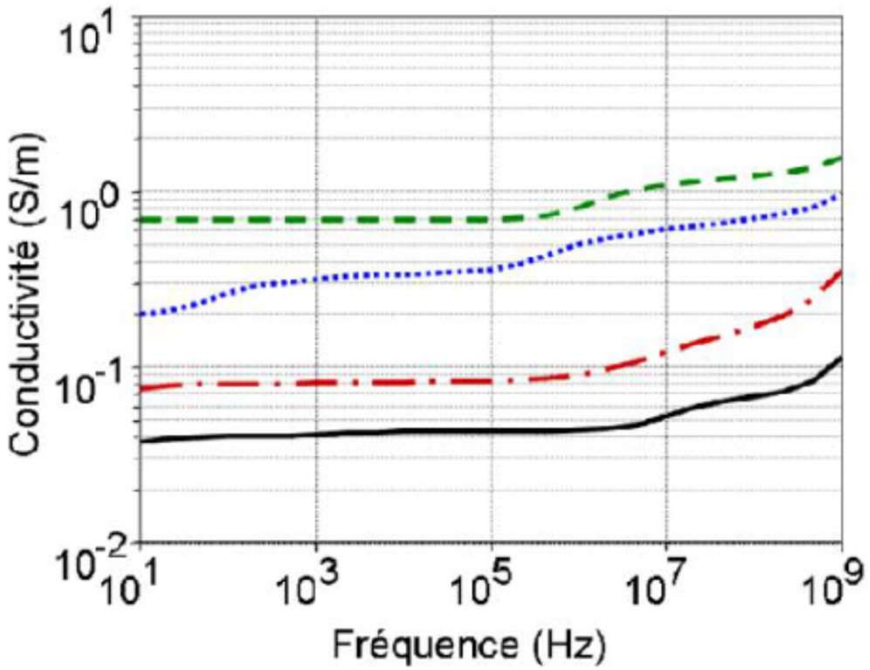


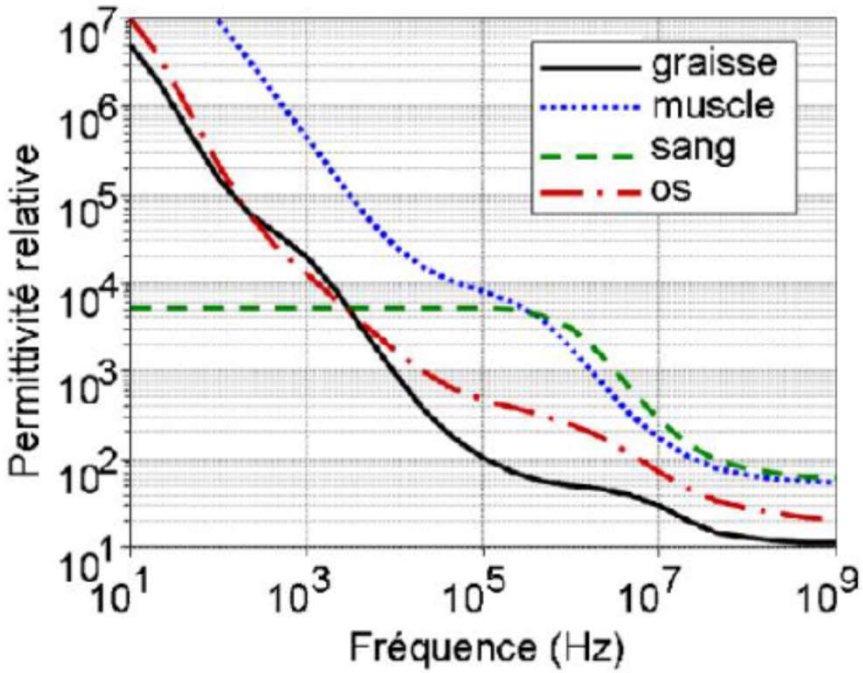
$$C = \frac{S}{l} \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + jC\omega$$

$$= \frac{S}{l}(\sigma + j\omega\varepsilon_0\varepsilon_r)$$

Propriétés électriques des tissus biologiques





Gabriel et al. 1996

⇨et lorsqu'un courant électrique va traverser tout cela ?!

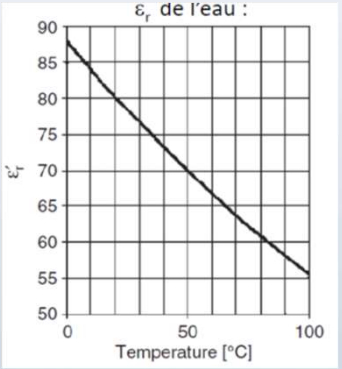
- tissus : lieu, géométrie, proportions, orientations relatives (anisotropie)…
- fréquence du courant
- électrodes : matériau, rugosité, surface, écartement, agencement …

Propriétés électriques des tissus biologiques

Tissue	σ [S/m] 1 Hz to 10 kHz	σ [S/m] ~1 MHz	φ_{max} at <10 MHz	Anisotropy
Human skin, dry	10^{-7}	10^{-4}	80°	?
Human skin, wet	10^{-5}	10^{-4}	30°	?
Bone	0.005–0.06		20°	Strong
Fat	0.02–0.05	0.02–0.05	3°	Small
Lung	0.05–0.4	0.1–0.6	15°	Local
Brain (gray matter)	0.03–0.4	0.15	15°	Small
Brain (white matter)	0.03–0.3			Strong
Liver	0.2	0.3	5°	?
Muscle	0.05–0.4	0.6	30°	Strong
Whole blood	0.7	0.7	20°	Flow dependent
Urine	0.5–2.6	0.5–2.6	0°	0
Cerebrospinal fluid (CSF)	1.6	1.6	0°	0
Saline, 0.9%, 20 °C	1.3	1.3	0°	0
Saline, 0.9%, 37 °C	2	2	0°	0
Seawater	5	5	0°	0

Paramètres physiologiques influençant la conductivité et la permittivité:

- État physiologique
- Taux d'hydratation
- Température
- âge

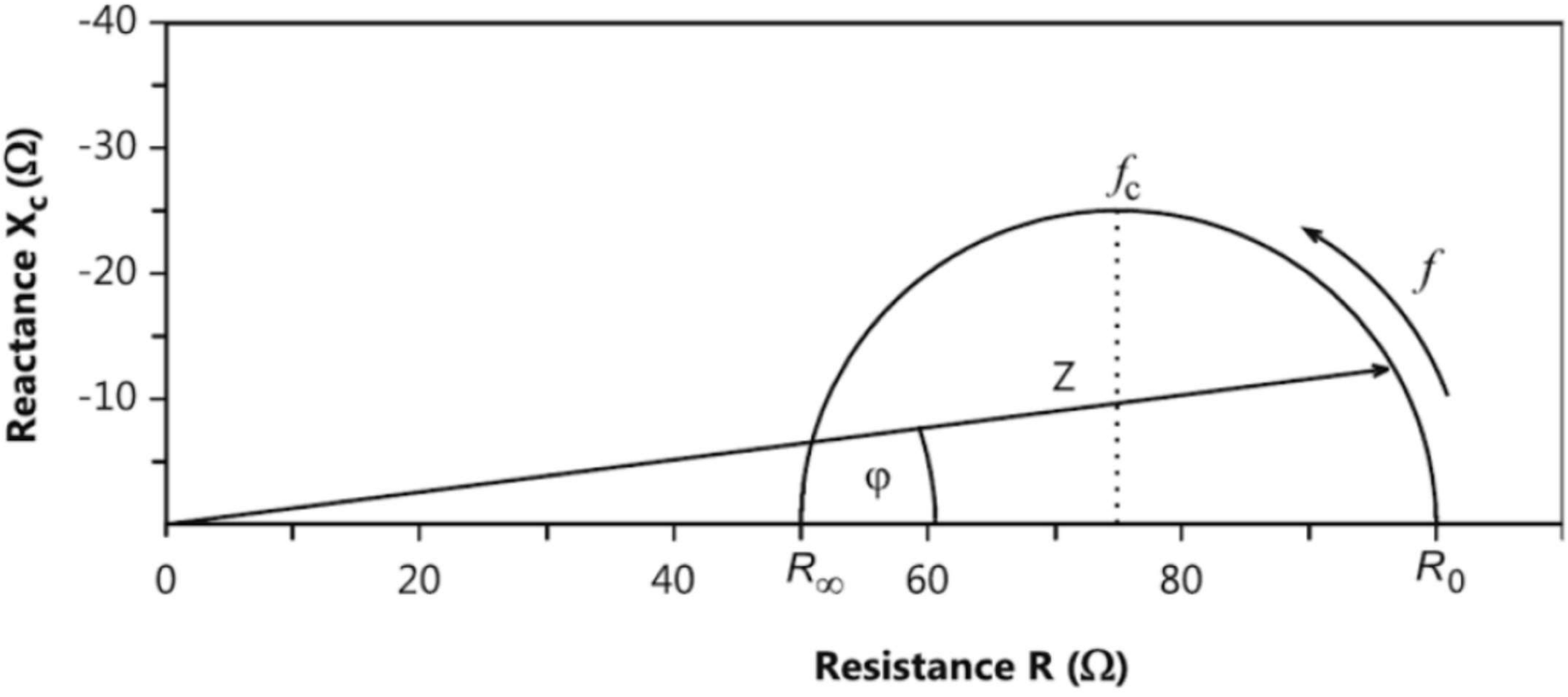


Représentation graphique de l'impédance

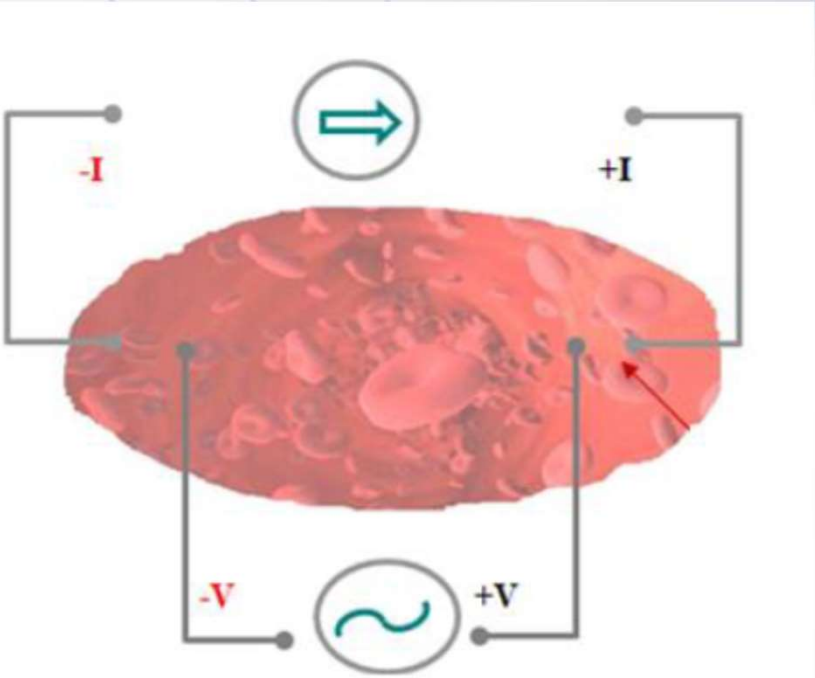
Notation Cartésienne <-> polaire

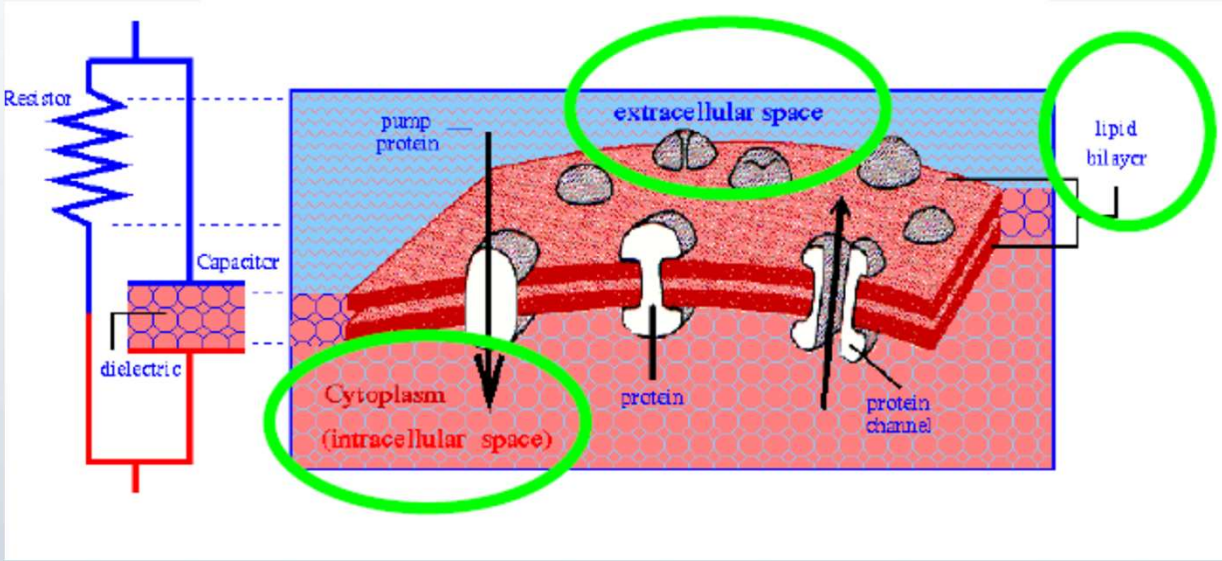
$$Z = R + jX$$

$$Z = |Z| e^{j \arg(Z)}$$



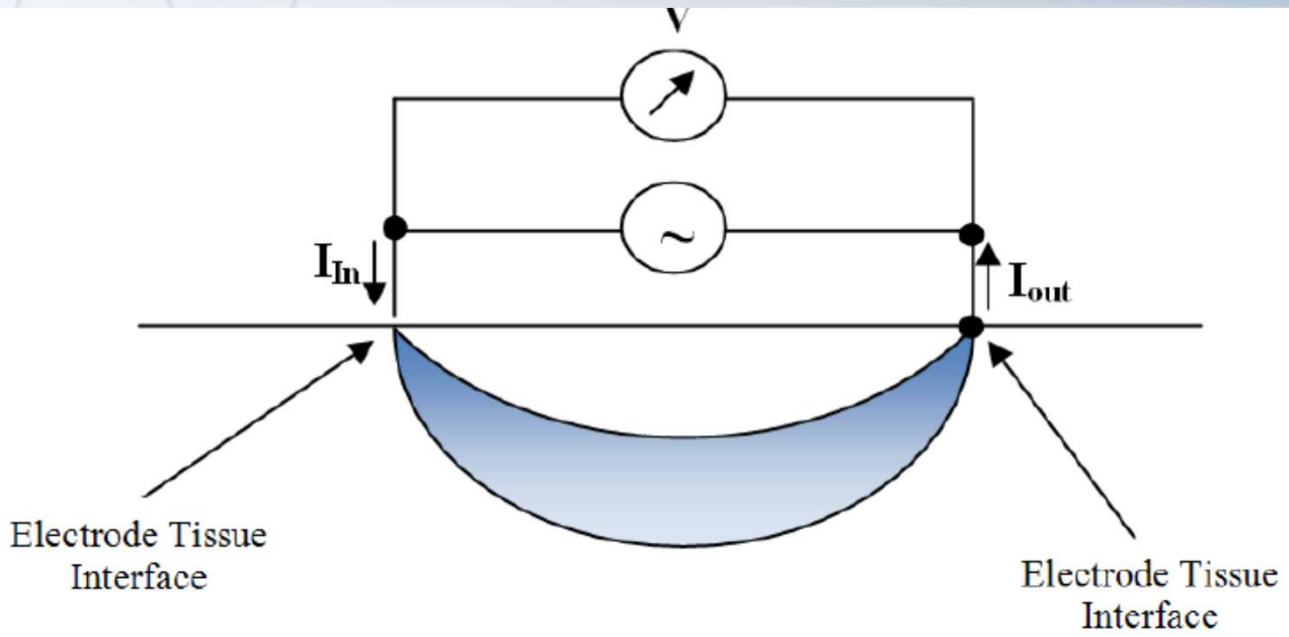
Mesure de la Bioimpédance



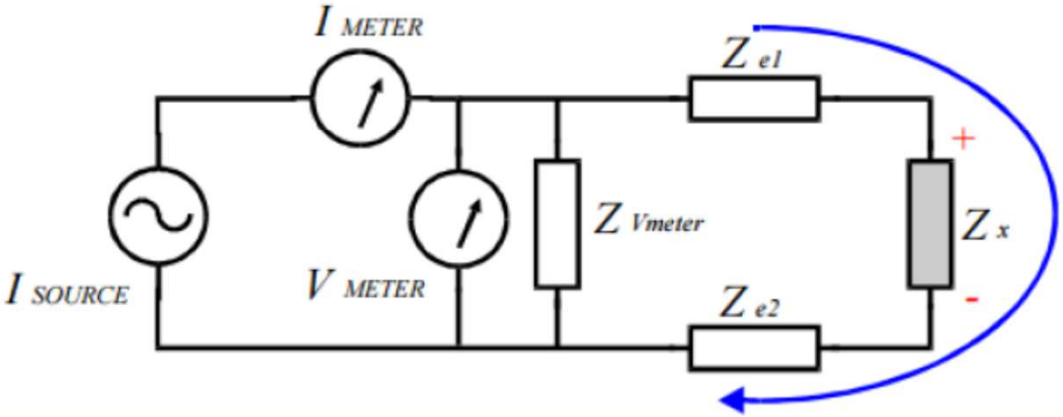


Mesure à 2 électrodes

- À 2 électrodes :
  - I appliqué
  - V mesuré



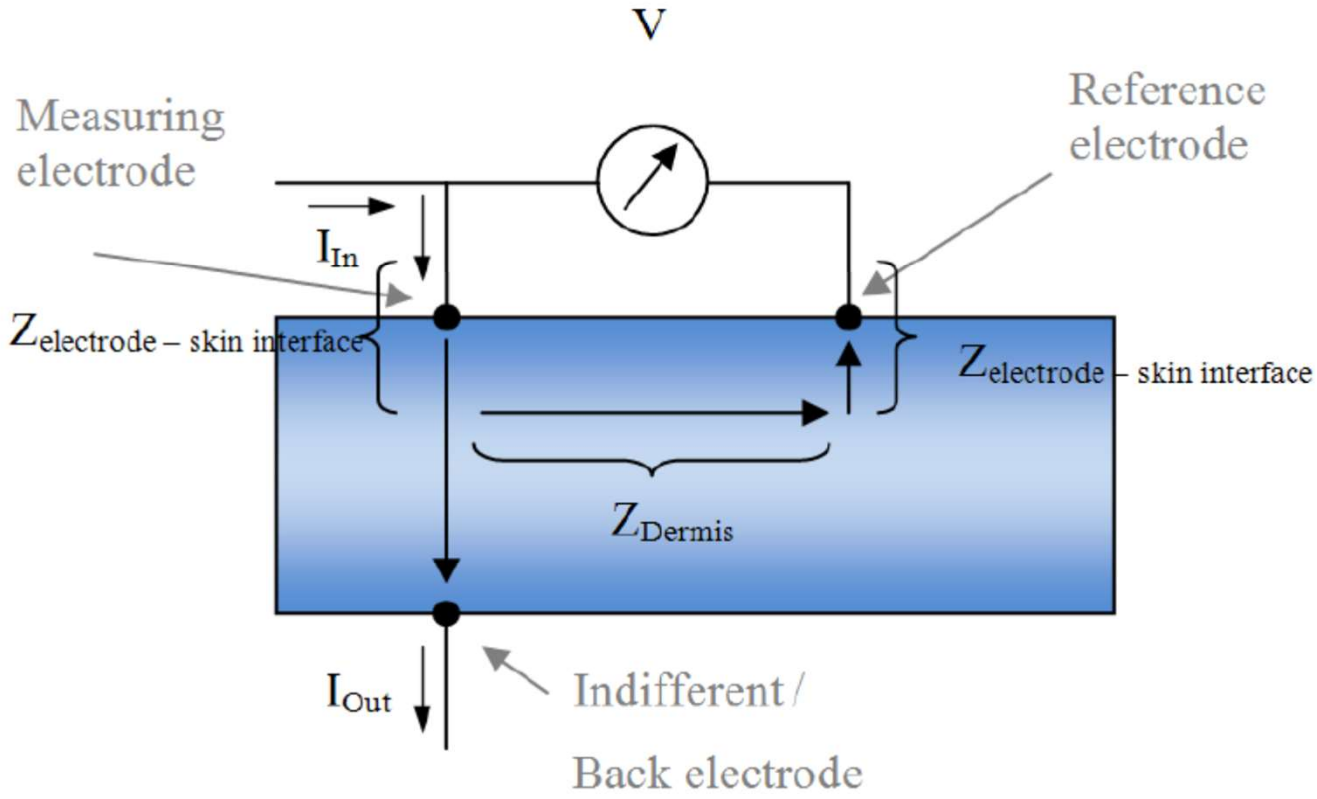
2 ELECTRODES



$$Z_{MEAS} = \frac{V_{MEAS}}{I_{MEAS}} = Z_x + Z_{e1} + Z_{e2} \approx \left| \begin{array}{l} Z_{e1} + Z_{e2} \\ Z_e >> Z_x \\ Z_{VMETER} >> 2 \cdot Z_e \end{array} \right.$$

Mesure à 3 électrodes

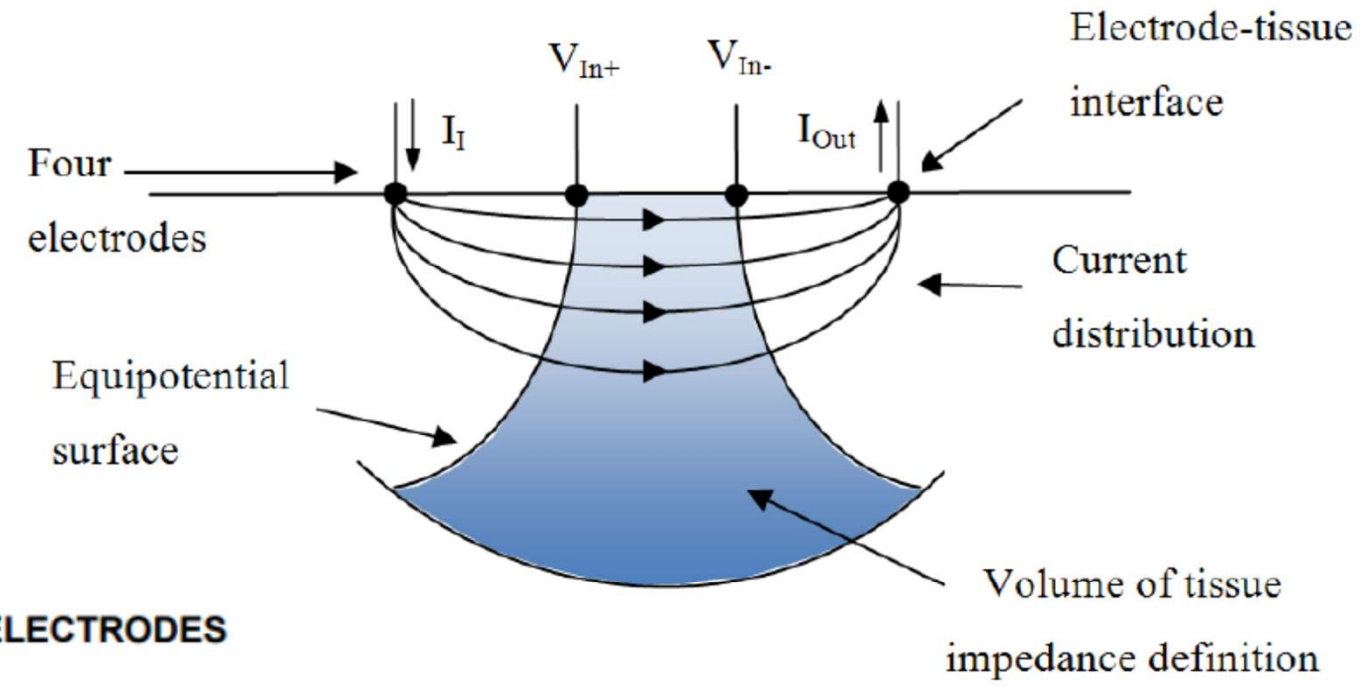
- À 3 électrodes :

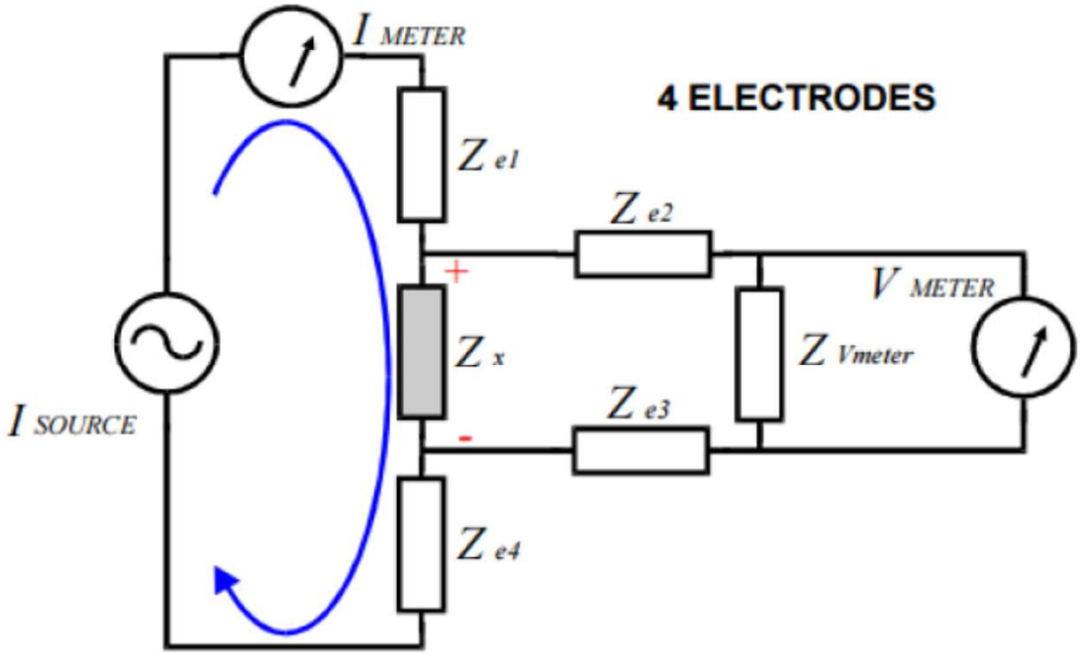


- Courant appliqué par 2 électrodes (measuring et back electrode)
- Une 3ème électrode est utilisée pour mesurer la tension résultante (ref)
- L'impédance mesurée est celle de l'électrode de mesure seule (et ses proches alentours) : mesure localisée.

Mesure à 4 électrodes

- À 4 électrodes :
  - 1 paire injecte I
  - 1 paire mesure V





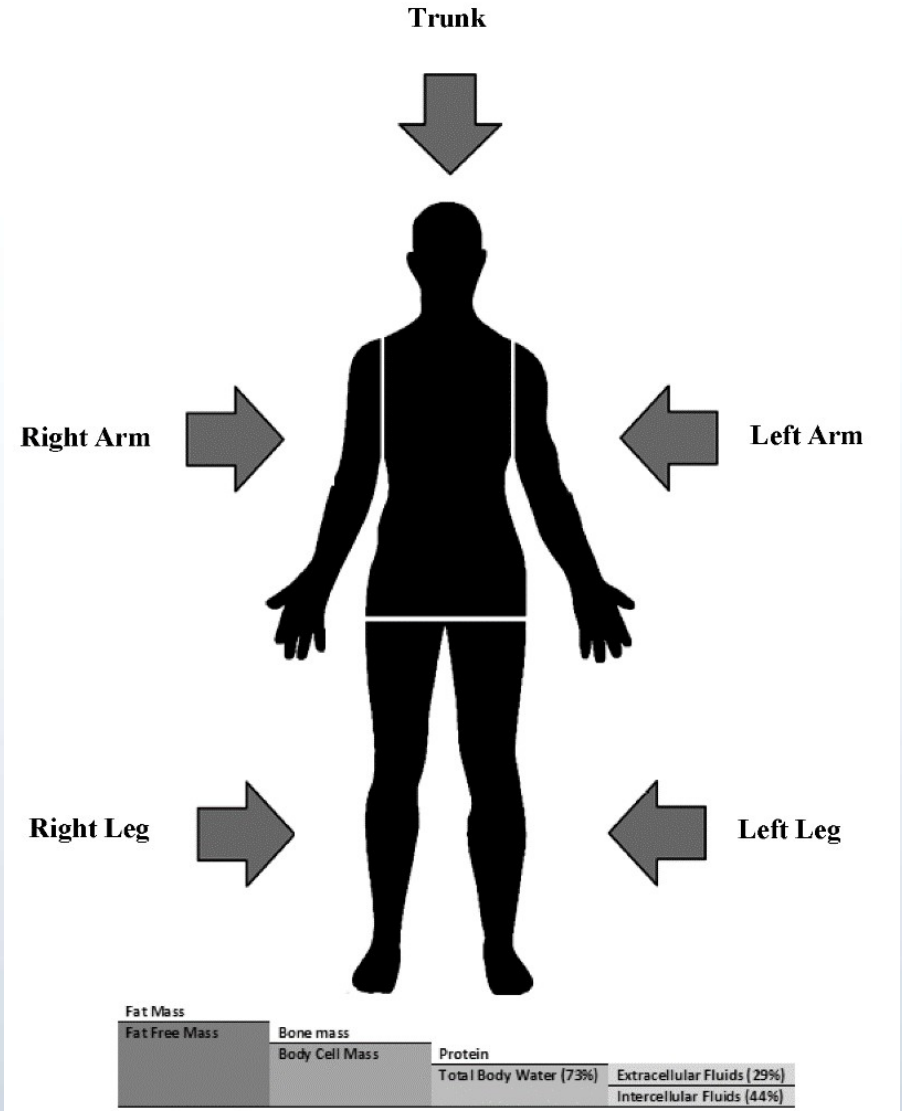
$$Z_{MEAS} = \frac{V_{MEAS}}{I_{MEAS}} = Z_x \quad \text{si } Z_{VMETER} >> Z_e$$

SFBIA, MFBIA, BIS

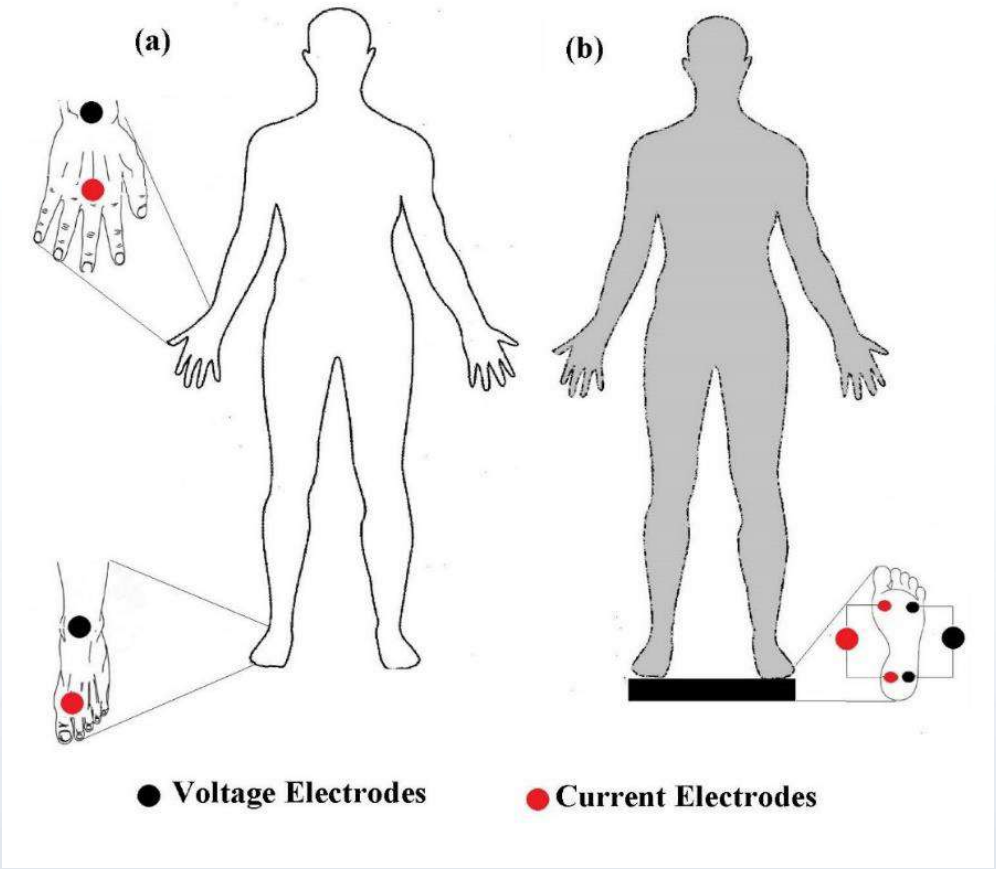
- Bioimpedance Fréquence unique (SFBIA)
  - Analysis of bioimpedance information obtained at 50 KHz electric current is known as single-frequency bioimpedance analysis.
  - SFBIA is the most used and is one of the earliest proposed methods for the estimation of body compartments, it is based on the inverse proportion between assessed impedance and TBW, that represents the conductive path of the electric current
  - SFBIA predicts the volume of TBW that is composed of fluctuating percentages of ECF which is almost equal to 75% of TBW, and ICF that represent the rest
- Bioimpédance Fréquence Multiple (MFBIA)
  - Analysis of bioimpedance that is obtained at more than two frequencies is known as multiple-frequency bioimpedance analysis.
  - MFBIA is based on the finding that the ECF and TBW can be assessed by exposing it to low and high frequency electric currents, respectively
- Spectrométrie de Bioimpédance (BIS)

Impédancemétrie Corps entier

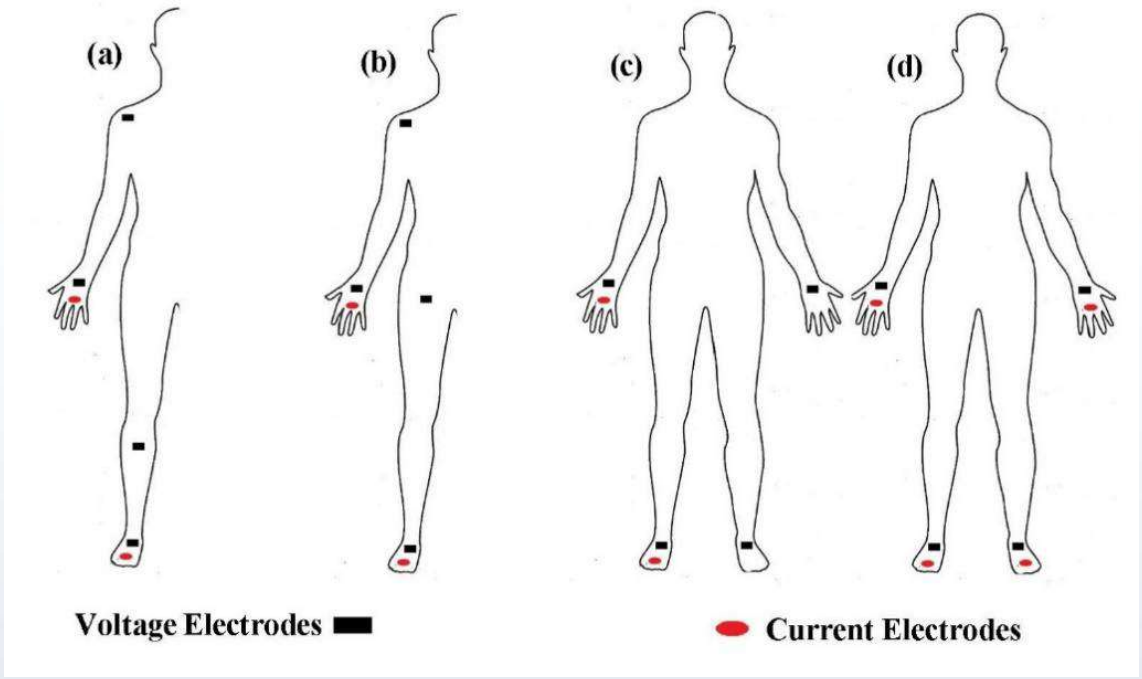
Principaux segments corporels



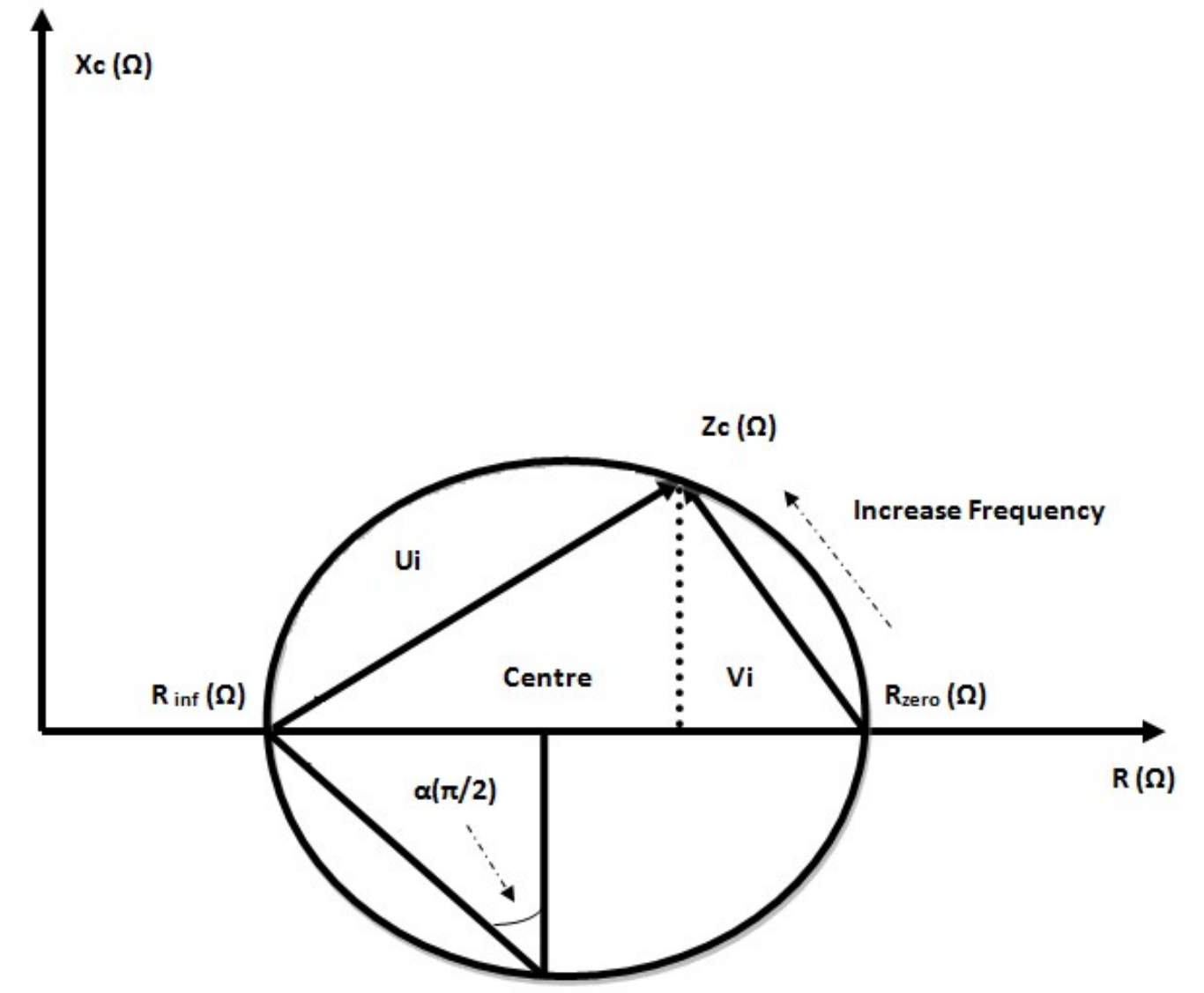
Impédancemétrie corps entier



(a): Hand to Foot. (b): Foot to Foot


(a)
(b)
(c)
(d)
Voltage Electrodes
Current Electrodes

Sectrométrie de Bioimpédance (BIS)



MFIA_front_0.png.webp

Analyseur d'impédance pour la recherche



Caractéristiques principales

- 1 mHz à 500 kHz, 1 mΩ à 1 TΩ
- 0,05% de précision de base
- Compensation des parasites et indicateur de confiance
- API de LabOne pour Python, C, MATLAB® et LabVIEW™

- analyse de l'impédance des tissus,
- croissance cellulaire,
- recherche sur les aliments



