

module de biophysique

Département de Médecine dentaire

Faculté de Médecine – Université d'ALGER 1

e-mail : biophysique_facmed-alger@hotmail.com

BIOELECTRICITE

Éléments à retenir

Professeur M. CHEREF

1^{ère} année de médecine dentaire

Introduction à la bioélectricité

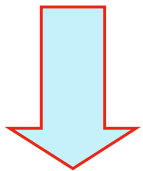
Phénomène de solvatation,

et

I – Introduction : Phénomènes bioélectriques

- └ L'organisme biologique, et notamment humain :
 - Siège de phénomènes électriques intimement liés aux activités vitales

Mise en évidence de ces phénomènes bioélectriques



Capter les signaux bioélectriques : courants ou différences de potentiel
[leurs variations au cours du temps]

II – Phénomène de solvation (1)

➤ Réalité physique (2) : exemples et explicitation

Un ion == charge électrique ===== interaction coulombienne



Dispersion des atomes, des ions ou des molécules du soluté

Interaction avec les molécules de solvant

Phénomène de solvation

=

Mécanisme intervenant lors de la dissolution du soluté dans un solvant

III – Caractérisation de la mobilité ionique (2)

➤ Force ionique

L'état de la solution est fonction de ses propriétés électrostatiques



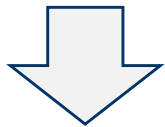
Force ionique d'une solution μ

$$\mu = \frac{1}{2} \sum C_i^I \cdot z_i^2$$

C_i^I : Ionarité de la catégorie d'ion i (mol d'ion/l)
 z_i : la charge de l'ion i

➤ Mobilité ionique

U exprime la vitesse d'un ion dans un champ électrique unité



Mobilité ionique U d'un ion de charge q qui se déplace dans un milieu de viscosité η

$$U = \frac{q}{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r}$$

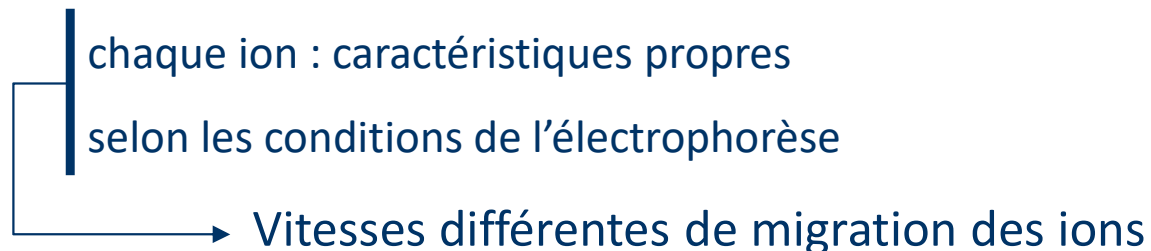
Remarque :

cette équation est basée sur une hypothèse forte. Le comportement de la particule considérée s'exprime à l'aide de la loi de Stokes ($F = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$), et l'ion se caractérise par une vitesse constante.

IV – Autres propriétés électriques (3)

➤ Electrophorèse (2) : explicitation et intérêt

« Technique fondée sur le déplacement d'ions sous l'effet d'un champ électrique »



SEPARATION DES DIFFERENTS PARTICULES IONIQUES

En conclusion, ... :

En instaurant un champ électrique au sein d'un milieu donné (gel colloïde, par exemple), le déplacement des molécules et donc leur séparation se fait en fonction de leurs charges électriques, (et pour des charges identiques) en fonction de leur taille.

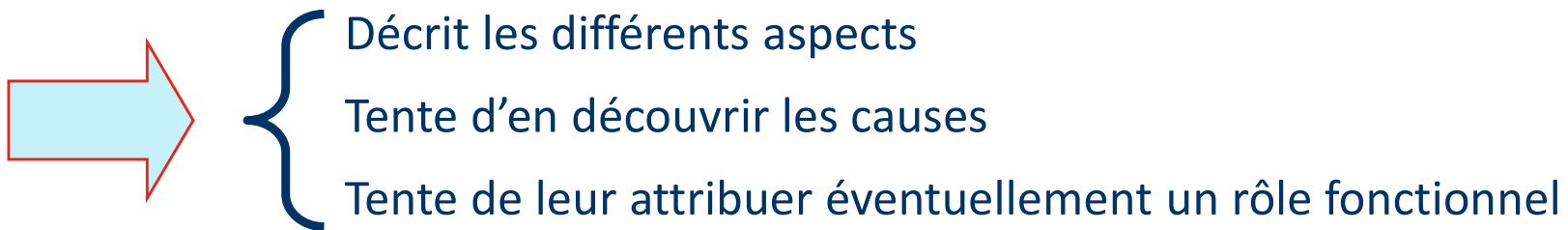
Electrophysiology

*Définitions, caractérisation, et
applications ...*

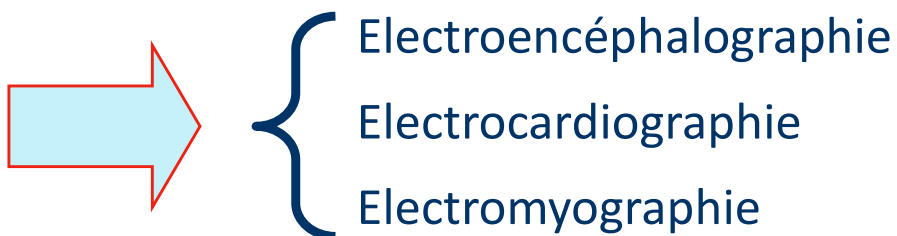
I – Introduction à l'électrophysiologie (2)

➤ Définitions, explicitation, intérêt, et mise en œuvre (2)

- L'Electrophysiologie a pour objet l'étude des phénomènes électriques liés au fonctionnement des structures biologiques ou organes de l'individu.



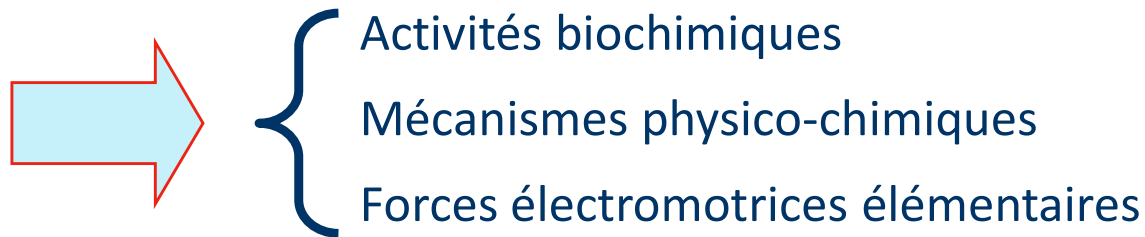
- L'étude de ces signaux bioélectriques permet d'acquérir des enseignements sur le fonctionnement normal ou pathologique de l'organe qui leur donne naissance.



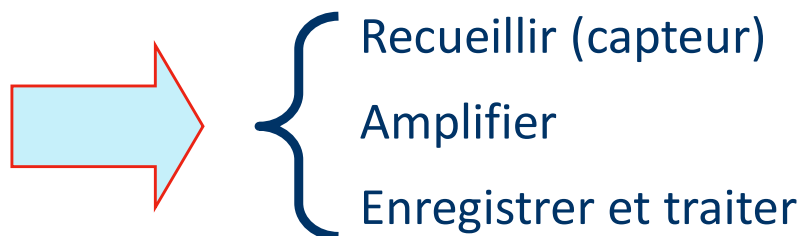
I – Introduction à l'électrophysiologie (3)

➤ Définitions, explicitation, intérêt, et mise en œuvre (3)

- L'origine des manifestations bioélectriques : explicitation du métabolisme.



- Chaîne de mesure des signaux physiologiques :
Un fait : les signaux bioélectriques sont souvent de faible amplitude.



II – Techniques de l'électrophysiologie (2)

- Signal émis, recueilli, « bruité », et traitement du signal

$$x(t) = s(t) + b(t)$$

$\left\{ \begin{array}{l} x(t) : \text{signal recueilli} \\ s(t) : \text{signal émis} \\ b(t) : \text{bruit} \end{array} \right.$

Amplification de l'information



$$X(t) = G \cdot S(t)$$

Traitement et enregistrement de l'information

OBJECTIFS

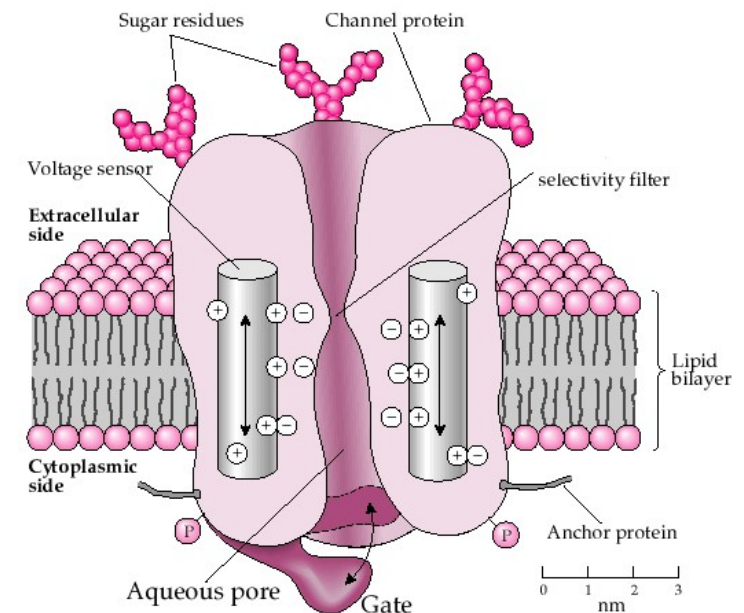
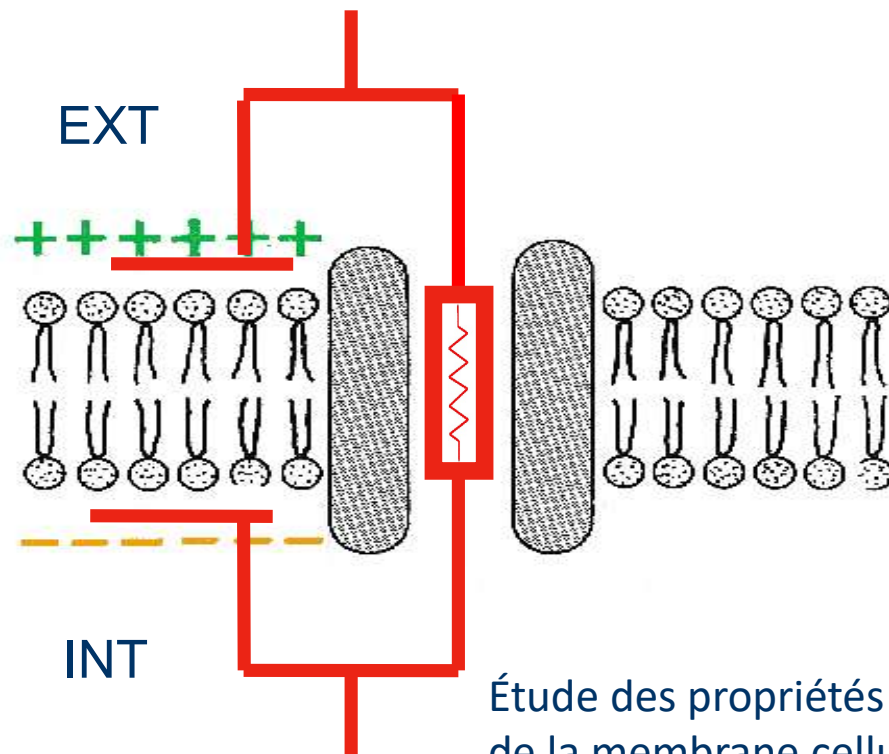
Augmenter le Rapport Signal / Bruit

+

Traduire l'information en une grandeur directement utilisable

III – Electrophysiologie cellulaire (1)

➤ Définition



Basic Model of a Voltage Gated Ion Channel

Étude des propriétés électriques des cellules, liées aux caractéristiques de la membrane cellulaire (aux propriétés ultra-structurales de la membrane cellulaire), responsables de l'existence d'une différence de potentiel entre le milieu intracellulaire et extracellulaire.

III – Electrophysiologie cellulaire (2)

➤ Potentiel de repos

- Une différence de potentiel (ddp) strictement localisée à la membrane (la face interne étant toujours négative par rapport à l'extérieur)
- Une inégalité de répartition ionique
 - K⁺ intracellulaire (Principalement)
 - Na⁺ extracellulaire (Essentiellement)

ddp différentes suivant la nature de la cellule

ddp électrique



$$V_{\text{int}} < V_{\text{ext}}$$

Hypothèse de Boyle et Conway

La membrane joue le rôle d'une membrane semi perméable idéale

- Perméable à tous les ions K⁺ et Cl⁻
- Strictement imperméable aux ions Na⁺

III – Electrophysiologie cellulaire (4)

➤ Théories explicatives (2)

- Théorie de Hodgkin et Huxley

(expérience avec du sodium radioactif)

Il n'existe pas d'état d'équilibre (hypothèse de Boyle et Conway), mais un régime permanent qui consomme de l'Énergie :

(Flux permanent d'ions K^+ et Na^+ à travers la Membrane)

Pompe Na^+/K^+ (réaction d'hydrolyse de l'ATP)



- Equation de Goldmann-Hodgkin-Katz

[Généralisation de l'équation de Nernst dans le cas d'une membrane renfermant plusieurs types de conductances]

III – Electrophysiologie cellulaire (5)

➤ Application : Loi de Nernst

- La différence de potentiel ($V_i - V_e$) qui équilibre pour un ion donné la force de diffusion due au gradient de concentration est donnée par l'équation suivante :

$$z \cdot F \cdot (V_i - V_e) = -R \cdot T \cdot \ln \left(\frac{[\text{ions}(i)]}{[\text{ions}(e)]} \right)$$

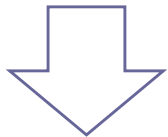
z : nombre de charges (électrons) mis en jeu

R : constante des gaz parfaits ($R = 8,32$ SI)

T : température absolue (en Kelvin)

F : constante de Faraday

[$F = 96500$ C/mol, plus précisément $F = 96485$ C/mol]



$$V_{\text{repos}} = V_i - V_e = -\frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \left(\frac{[\text{ions}(i)]}{[\text{ions}(e)]} \right)$$

III – Electrophysiologie cellulaire (7)

➤ Potentiel d'action

La Polarisation s'inverse ($V_{\text{int}} > V_{\text{ext}}$)
« dépolarisation membranaire »

- Existence du Potentiel d'action (PA) : Caractérisation d'une cellule excitable
- Une Variation rapide de la ddp transmembranaire au cours du temps
(Consécutive à une excitation supraliminale)
- Le PA traduit une brutale augmentation de la perméabilité membranaire au Na^+
(en particulier)
- Loi du TOUT ou RIEN :

Activation du PA : Stimulation supérieure à une stimulation SEUIL

[Excitation infraliminale = Pas d'activation du PA]

-
- Propagation du potentiel d'action :

Ce mécanisme diffère selon que la fibre soit myélinisée ou non

Gaine de Myéline : Résistance très grande entre deux « nœuds de Ranvier ».

- Les courants locaux ne peuvent traverser la membrane qu'entre ceux-ci.
- La propagation du PA est alors dite « SALTATOIRE » (Vitesses de propagation ~ dizaines de mètres/seconde)

IV – Applications

➤ Fibre nerveuse et nerf – Rhéobase et chronaxie)

- Fibre nerveuse et « nerf (ensemble de fibres) » : réponse à un stimulus supraliminaire

Pour une fibre nerveuse, la réponse à un stimulus supraliminaire garde une amplitude constante quelle que soit l'intensité appliquée ;

Pour un « nerf », la réponse à un stimulus supraliminaire croît en amplitude en fonction de l'intensité du courant (compte tenu du nombre et de la variété des fibres nerveuses qui le constituent).

- RHEOBASE : Elle définit l'intensité minimale de courant excitant qui permet de déclencher un potentiel d'action dans une optique d'application théoriquement infinie

$$I_s = \frac{Q_0}{D} + I_0$$

Intensité I_s = intensité seuil
Quantité d'électricité seuil Q_0
Intensité I_0 = intensité minimum déclenchant un stimulus
Durée D = durée de passage d'un courant en créneau

##Loi de Weiss##

- CHRONAXIE : Elle caractérise le temps de passage nécessaire correspondant à : $I_s = 2 \cdot I_0$

Il est classiquement considéré que la chronaxie correspond à la durée minimale de l'onde rectangulaire dont la hauteur est double de la rhéobase (choix arbitraire de Lapicque).

[Expression entachée d'erreur compte tenu de l'imprécision de la mesure (la chronaxie peut varier du simple au triple)]

Autre expression mathématique permettant de lier Chronaxie et Rhéobase :

$$Q_0 = I_0 \cdot Chr$$

Q_0 = quantité d'électricité liminaire
 I_0 = rhéobase
Chr = Chronaxie