

CAHIER PASS

Biophysique

Aspects physiques des membranes

Cours n°3

Table des matières

I.	RECUEIL DES SIGNAUX ÉLECTROPHYSIOLOGIQUES	1
A.	LES SIGNAUX RECUEILLIS EN MEDECINE	1
1.	Électrocardiogramme de surface	1
2.	Électrocardiogramme de profondeur	1
3.	Électroencéphalogramme de surface	1
4.	Électroencéphalogramme de profondeur	1
5.	Électromyographie de surface	1
6.	Électromyographie de profondeur	1
7.	Enregistrement des potentiels évoqués	1
8.	Loi d'Ohm.....	2
B.	LA CHAÎNE DE MESURE	2
1.	Amplification des signaux par une chaîne de mesure	2
2.	Rôle des électrodes	2
II.	THÉORIE BIPOLAIRE	3
A.	RAPPELS D'ELECTROSTATIQUE	3
1.	Loi de Coulomb	3
2.	Champ électrostatique	4
3.	Travail	4
4.	Cas d'une distribution continue de charges	5
5.	Expression du champ et du potentiel créés par un plan infini	5
6.	Angle solide	5
7.	Capacité d'un condensateur plan	6

I. RECUEIL DES SIGNAUX ÉLECTROPHYSIOLOGIQUES

A. LES SIGNAUX RECUEILLIS EN MEDECINE

1. Électrocardiogramme de surface

- ✓ **Activité cardiaque** enregistrée en surface grâce à des électrodes posées sur la peau (au niveau du thorax)
- ✓ Amplitude du signal recueilli : **millivolt (entre 0,5 et 1,5 mV)**

2. Électrocardiogramme de profondeur

- ✓ **Activité cardiaque** enregistrée à un niveau inférieur proche du cœur
- ✓ Amplitude du signal recueilli : **millivolt**

3. Électroencéphalogramme de surface

- ✓ Le cerveau est protégé par le liquide crânien qui atténue son signal électrophysiologique
- ✓ Amplitude du signal recueilli : entre **0,002 et 0,2 mV**

4. Électroencéphalogramme de profondeur

- ✓ Amplitude du signal recueilli : entre **0,01 et 1 mV**

5. Électromyographie de surface

- ✓ L'électromyographie (**EMG**) est une technique médicale qui permet recueillir les signaux électrophysiologiques des **muscles**
- ✓ Amplitude du signal recueilli proche de celle du cœur et du cerveau : entre **0,01 et 1 mV**

6. Électromyographie de profondeur

- ✓ Amplitude du signal recueilli : forte amplitude allant **jusqu'à 30 mV**

7. Enregistrement des potentiels évoqués

- ✓ Un potentiel évoqué (PE) désigne la modification du potentiel électrique produite par le système nerveux en réponse à une **stimulation sensorielle** (auditive, visuelle, ...)
- ✓ Potentiels de très faible amplitude : **0,01 mV**
- ✓ **Difficiles à détecter** : noyés dans l'activité cérébrale

8. Loi d'Ohm

Les différents potentiels mesurés sont d'amplitudes très faibles, d'autant plus que le corps humain présente des résistances importantes aux différents signaux électriques : **nécessité d'amplifier les puissances mesurées** pour avoir un signal analysable

$$U = RI$$

avec U différence de potentiel mesurée (V)
 R résistance ()

$$P = UI$$

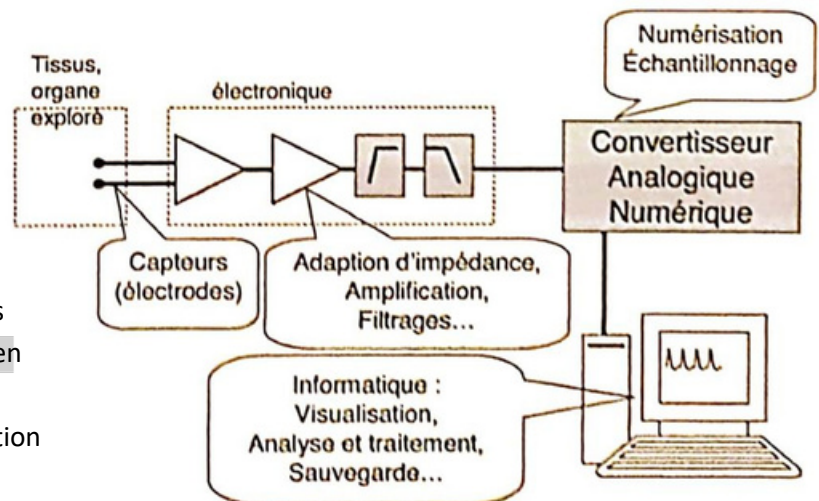
avec I intensité (A) → **très faible dans le corps humain**
 P puissance mesurée (W) → **extrêmement faible**

B. LA CHAÎNE DE MESURE

1. Amplification des signaux par une chaîne de mesure

Composition de la chaîne électronique de mesure utilisée pour amplifier le signal,

- ✓ **Capteurs** (ou électrodes) qui mesurent un potentiel au niveau de l'organe à explorer
- ✓ **Adaptateur d'impédance** (préamplificateur) qui **amplifie** et filtre le signal
- ✓ **Convertisseur analogique numérique** qui **numérise** l'échantillon de valeurs (transformation d'un signal continu en un signal discret)
- ✓ **Outils Informatiques** pour la visualisation et l'analyse des résultats



2. Rôle des électrodes

Les électrodes sont des matériaux conducteurs qui mesurent le potentiel du milieu dans lequel elles sont placées

- ✓ Les électrodes doivent être **impolarisables**, c'est à dire **protégées par un gel** (électrodes en contact avec la peau) ou par une **pastille** (électrodes du cerveau) le temps de la mesure afin de ne pas influencer la chaîne de détection
- ✓ Utilisation de **deux électrodes en dérivation** pour mesurer une **différence de potentiel**, avec deux types de dérivation possibles
 - o Si les deux électrodes sont actives : **la dérivation est bipolaire**
 - o Si une électrode est active et l'autre indifférente (électrode de référence) : **la dérivation est unipolaire**

II. THÉORIE BIPOLAIRE

Le but est de détecter extérieurement (et donc de recueillir) les signaux issus des variations des potentiels de membrane : cas de l'électrocardiogramme

A. RAPPELS D'ELECTROSTATIQUE

L'état électrique est caractérisé par sa **charge**

$$q = z \times e$$

avec

q charge (C)

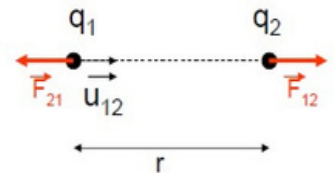
z nombre de charges

e charge élémentaire de l'électron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C)

- ✓ Deux charges de même signe se repoussent, deux charges de signes opposés s'attirent
- ✓ Principe de **conservation de la charge** : la charge d'un système isolé reste constante
- ✓ Principe d'**invariance** : la charge d'un système a la même valeur dans tout référentiel
- ✓ Matériaux **conducteurs** ou **isolants** (= diélectriques)

1. Loi de Coulomb

Deux **charges ponctuelles** q_1 et q_2 , situées à une **distance** r l'une de l'autre, s'attirent ou se repoussent entre elles selon la force électrostatique, décrite par la **loi de Coulomb**



- ✓ Dans le vide ou dans l'air

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \times q_2}{4\pi \times \epsilon_0} \times \frac{\vec{r}_{12}}{r^2}$$

avec

F force électrostatique (N)

q_1 et q_2 charges (C)

r distance entre les 2 charges (m)

ϵ_0 permittivité du vide (permittivité de l'air)

- ✓ Dans un milieu matériel

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \times q_2}{4\pi \times \epsilon_0 \times \epsilon_r} \times \frac{\vec{r}_{12}}{r^2}$$

ϵ_r permittivité relative du milieu par rapport à celle du vide

$\epsilon_r = 80$ pour l'eau (force 80 fois plus faible dans l'eau que dans l'air)

Remarque Rigoureusement, dans tous les milieux matériels il faudrait utiliser ϵ_r dans les formules. Pour simplifier les calculs, les milieux étudiés seront supposés analogues au vide : **utilisation uniquement de ϵ_0**

2. Champ électrostatique

Une charge ponctuelle q_1 crée un **champ électrostatique** en un point P, situé à une distance r de la charge

$$\vec{E}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1}{r^2} \vec{u} \quad \text{avec} \quad E \text{ champ électrostatique (V.m}^{-1}\text{)}$$

✓ Relation entre la force électrostatique **subie par la charge q** dans un champ électrostatique $\vec{E}$

$$\vec{F} = q \times \vec{E} \quad \text{avec} \quad q \text{ charge (C)}$$

✓ Dans le cas de **plusieurs charges en présence**, il y a **additivité** pour chaque charge

o Addition vectorielle de tous les champs électrostatiques : $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$

o Addition vectorielle de toutes les forces électrostatiques

3. Travail

Le **travail** nécessaire pour déplacer une charge q_2 , de sa position initiale A à sa position finale B, dans une zone où règne un champ électrique créé par une charge q_1 , **est égal à la variation de l'énergie potentielle** de A à B

$$W_{AB} = E_p(A) - E_p(B) \quad \text{avec} \quad W_{AB} \text{ travail (J)}$$

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1 \times q_2}{r} + \text{constante} \quad E_p \text{ énergie potentielle (J)}$$

a. Lien entre énergie potentielle et potentiel électrique

$$E_p = q_1 \times V_2 = q_2 \times V_1 \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} E_p \text{ énergie potentielle (J)} \\ q \text{ charge (C)} \\ V \text{ potentiel (V)} \end{array}$$

✓ V_1 est le potentiel créé par la charge q_2 sur la charge q_1 à une distance r

✓ V_2 est le potentiel créé par la charge q_1 sur la charge q_2 à une distance r

b. Expression générale du potentiel

$$V_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r} + \text{constante} \quad \text{Potentiel créé par la charge } q \text{ à la distance } r$$

✓ Le potentiel diminue linéairement avec la distance (distance multipliée par 2 → potentiel divisé par 2)

✓ Dans le cas de **plusieurs charges en présence**, il y a **additivité des potentiels** pour chaque charge

✓ Concrètement, une **différence de potentiel est toujours mesurée** et non un potentiel (afin d'éliminer la constante d'intégration)

✓ Les **surfaces équipotentielles d'une charge ponctuelle sont des sphères** centrées sur la charge : les lignes de champ sont perpendiculaires aux équipotentielles



4. Cas d'une distribution continue de charges

Dans le cas d'une distribution continue de charges, les charges ne sont pas ponctuelles mais réparties dans l'espace et décrites par leur densité

✓ **Densité linéique** de charges : charges (dq) réparties sur une **ligne** (dl)

$$\lambda = \frac{dq}{dl}$$

avec densité **linéique** de charges ($C.m^{-1}$)

✓ **Densité surfacique** de charges : charges (dq) réparties sur une **surface** (dS)

$$\sigma = \frac{dq}{dS}$$

avec densité **surfacique** de charges ($C.m^{-2}$)

✓ **Densité volumique** de charges : charges (dq) réparties sur un **volume** (dV)

$$\rho = \frac{dq}{dV}$$

avec densité **volumique** de charges ($C.m^{-3}$)

5. Expression du champ et du potentiel créés par un plan infini

Expression du **champ électrostatique** et du **potentiel** créés par un plan infini de densité surfacique constante à une distance x de la surface du plan

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0}$$

avec E champ électrostatique ($V.m^{-1}$)
densité **surfacique** de charges ($C.m^{-2}$)
 ϵ_0 permittivité du vide

$$V(x) = \frac{|\sigma| \times |x|}{2\epsilon_0} + \text{constante}$$

$V(x)$ potentiel (V)
 x distance du plan au point considéré (m)

6. Angle solide

L'**angle solide** s'exprime en **stéradian (sr)** : 1 stéradian représente l'angle solide découpant une surface de $1 m^2$ sur une sphère de $1 m$ de rayon

✓ **Surface totale d'une sphère**

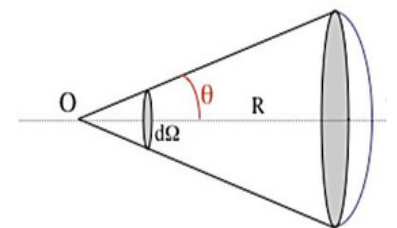
$$S = 4 R^2$$

avec S surface de la sphère (m^2)
 R rayon de la sphère (m)

✓ **Angle solide** : angle à 3 dimensions

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

avec Ω angle solide (sr)



✓ **Valeur maximale de l'angle solide** : **4 sr** (un point lumineux éclaire l'espace sous un angle de $4 sr$)

✓ Une lampe fixée sur un mur éclaire une pièce sous un angle solide de $2 sr$

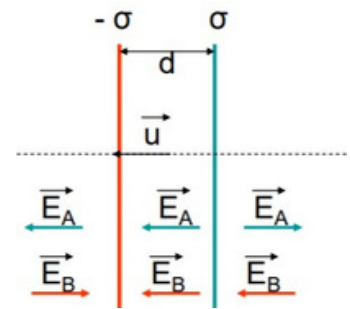
7. Capacité d'un condensateur plan

Soit un condensateur plan avec une répartition de charges opposées sur deux plaques parallèles : + (charge Q) et - (charge $-Q$)

- ✓ Champ électrostatique nul à l'extérieur du condensateur
- ✓ **Champ électrostatique à l'intérieur du condensateur**, orienté de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement
- ✓ Expression de la **charge du condensateur**

$$Q = C \times U$$

avec Q charge du condensateur (C)
 U tension aux bornes du condensateur (V)
 C capacité du condensateur (F – Farad)



Capacité dans l'air

$$C = \frac{S \times \epsilon_0}{d}$$

Capacité dans une membrane

$$C = \frac{S \times \epsilon_0 \epsilon_r}{d}$$

S : surface des plaques et d : distance entre les plaques
 ϵ_r : permittivité relative de la membrane

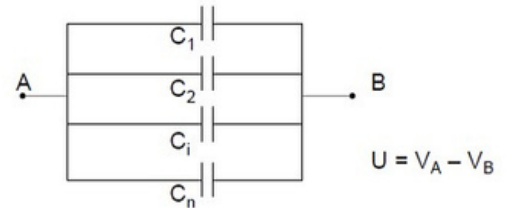
- ✓ Expression de l'énergie stockée par le condensateur

$$E_s = \frac{1}{2C} \frac{Q^2}{2} = \frac{Q \times U}{2} = \frac{C \times U^2}{2}$$

E_s énergie stockée (J)

a. Groupement de condensateurs en parallèle

- ✓ Pour chaque condensateur: $q_i = C_i \times U$
- ✓ Charge totale: $Q = CU$

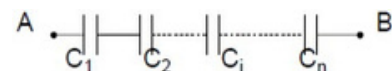


$$C = C_i$$

avec C capacité du groupement de condensateurs (F)
 C_i capacité de chaque condensateur (F)

b. Groupement de condensateurs en série

- ✓ Pour chaque condensateur: $q_i = C_i \times U$
- ✓ Tension aux bornes du groupement de condensateurs: $U = \sum \frac{Q}{C_i}$



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_i}$$

avec C capacité du groupement de condensateurs (F)
 C_i capacité de chaque condensateur (F)

