

# CAHIER PASS

Biophysique

Aspects physiques des  
membranes

Cours N°4

## Table des matières

|    |                                                       |   |
|----|-------------------------------------------------------|---|
| I. | THÉORIE BIPOLAIRE (suite) .....                       | 1 |
| A. | POTENTIEL CREE PAR UN DIPOLE .....                    | 1 |
| 1. | Cas d'une dérivation unipolaire .....                 | 1 |
| 2. | Cas d'une dérivation bipolaire .....                  | 1 |
| B. | THEORIE DES FEUILLETS .....                           | 2 |
| 1. | Cas d'une dépolarisation .....                        | 2 |
| 2. | Cas d'une repolarisation .....                        | 3 |
| 3. | Application de la théorie des feuillets au cœur ..... | 3 |
| 4. | Signal électrique du cœur .....                       | 4 |

# I. THÉORIE BIPOLAIRE (suite)

## A. POTENTIEL CREE PAR UN DIPOLE

### 1. Cas d'une dérivation unipolaire

Un **dipôle** est formé de **deux charges de même valeur mais de signes opposés +q et -q** situées à une distance fixe l'une de l'autre

✓ **Moment dipolaire**  $\vec{\mu}$  caractéristique du dipôle : vecteur dirigé **de la charge négative vers la charge positive**

$$= q \times d$$

avec

moment dipolaire (C.m)

q charge (C)

d distance entre les 2 charges (m)

✓ **Potentiel créé par le dipôle en un point X**

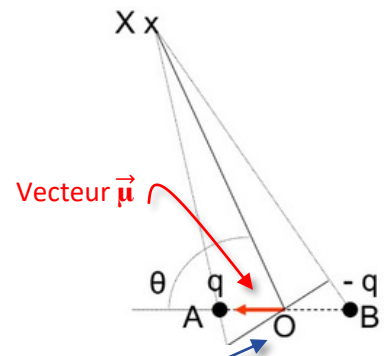
$$V_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_1} q - \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_2} q$$

$V_x$  potentiel (V)

$r_1$  distance de la charge **positive** à X (m)

$r_2$  distance de la charge **négative** à X (m)

$\epsilon_0$  permittivité du vide



o Pour  $r_1 = r_2$ , le potentiel s'annule :  $V_x = 0$  (X équidistant des 2 charges)

o Le plan qui passe par OX a un potentiel nul : **O centre du dipôle**

✓ **Autre écriture du potentiel créé par le dipôle au point X lointain**

$$V_x = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{d \times \cos \theta}{OX^2}$$

□ angle entre la charge **positive**, O et le point X considéré (voir schéma ci-dessus)

OX distance du centre du dipôle au point X considéré (m)

✓  $V_x$  correspond au potentiel mesuré dans le cas d'une dérivation unipolaire

✓ Les courbes de potentiel constant sont appelées **courbes isopotentielle** et caractérisées par  $\frac{\cos \theta}{r^2} = C^e$

### 2. Cas d'une dérivation bipolaire

Dans le cas d'une dérivation bipolaire AB, la **différence de potentiel mesurée** est  $V_B - V_A$

$$V_B - V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \times r^2} \vec{\mu} \cdot \vec{u}$$

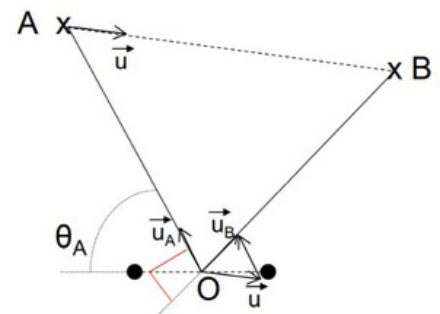
avec  $V_B - V_A$  différence de potentiel mesurée

$\epsilon_0$  permittivité du vide

$r = OA = OB$  (O centre du dipôle)

$\vec{\mu}$  vecteur moment dipolaire

$\vec{u}$  vecteur unitaire :  $\vec{u} = \vec{u}_B - \vec{u}_A$

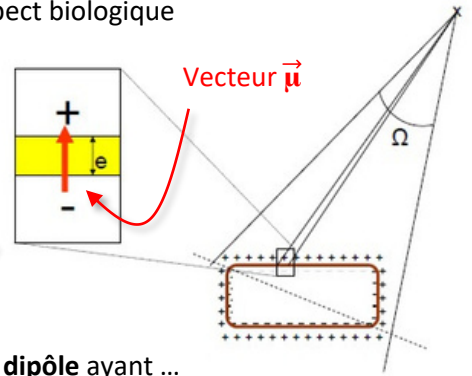


Le potentiel mesuré dépend de la **projection du vecteur moment dipolaire  $\vec{\mu}$  et du vecteur unitaire  $\vec{u}$  suivant AB** (projection maximale si les deux vecteurs sont alignés, projection nulle s'ils sont perpendiculaires)

## B. THEORIE DES FEUILLETS

La théorie des feuillets relie l'aspect théorique du calcul de potentiel à l'aspect biologique

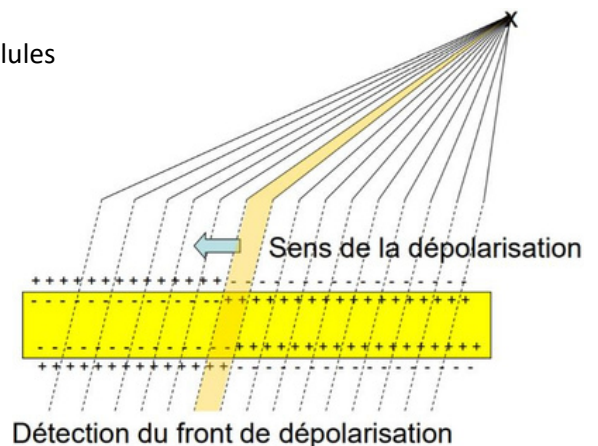
- ✓ La représentation rectangulaire ci-contre représente une **membrane cellulaire**
  - o A l'état de repos, le potentiel de la face interne de la membrane est négatif tandis que celui de la face externe est positif
  - o Création d'un **dipôle électrique** entre la face interne et la face externe de la membrane
- ✓ Un petit élément de cellule (**un feuillet**) est zoomé : il représente un **dipôle** ayant ...
  - o ... une densité surfacique de charge constante et donc la même différence de potentiel en tout point de la membrane
  - o ... un moment dipolaire  $d\mu = \sigma \times dS \times e$  ( $e$  = épaisseur de la membrane)
  - o ... un **potentiel total**  $V_x = \sigma \times e \times \frac{\Omega}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
- ✓ Au repos, la résultante des potentiels de tous les petits éléments de cellule est nulle : **compensation des potentiels** (les vecteurs  $\mu$  de part et d'autre de la membrane s'annulent)



### 1. Cas d'une dépolarisation

La résultante des potentiels n'est pas nulle en présence d'un stimulus, lors de la dépolarisation d'un axone d'une fibre nerveuse : la membrane n'est plus au repos

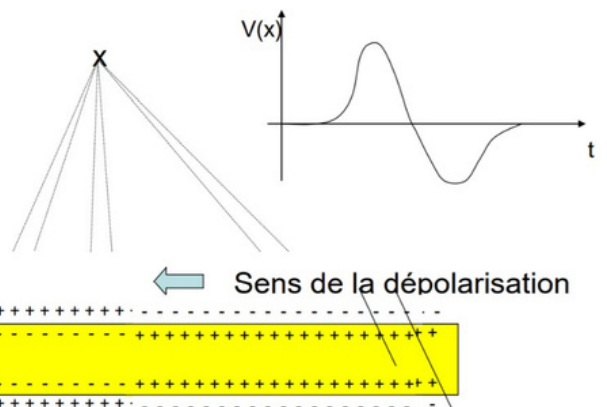
- ✓ Lors de la dépolarisation, le sodium  $\text{Na}^+$  rentre dans les cellules
  - o **Inversion de la polarité de la membrane**
  - o La face interne de la membrane devient chargée positivement par rapport à la face extérieure : **propagation de la dépolarisation**
- ✓ La compensation des potentiels n'est pas totale
  - o Sur l'un des feuillets, les potentiels ne se compensent pas : **les deux dipôles sont dans le même sens et s'additionnent**
  - o Cette zone est un **front de dépolarisation**
  - o Potentiel du front de dépolarisation :  $dV_x = \frac{2 d\mu \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}$   
(le potentiel n'est plus nul)



Lors de la propagation du front de dépolarisation



- ✓ Le potentiel mesuré par une électrode **en avant** du front de dépolarisation est **positif**  
( $\theta < 90^\circ \rightarrow \cos \theta > 0$ )
- ✓ Le potentiel mesuré par une électrode **en arrière** du front de dépolarisation est **négatif**  
( $\theta > 90^\circ \rightarrow \cos \theta < 0$ )
- ✓ Le potentiel mesuré par une électrode **au niveau** du front de dépolarisation est **nul** ( $\theta = 90^\circ \rightarrow \cos \theta = 0$ )



## 2. Cas d'une repolarisation

Lors de la repolarisation, le phénomène inverse est observé

- ✓ Le potentiel mesuré par une électrode dans le milieu **en avant** du front de repolarisation est **négatif**
- ✓ Le potentiel mesuré par une électrode dans le milieu **en arrière** du front de repolarisation est **positif**
- ✓ Le potentiel mesuré par une électrode **au niveau** du front de repolarisation est **nul**

## 3. Application de la théorie des feuillets au cœur

L'étude effectuée sur une cellule (un dipôle) est extrapolée à une multitude de cellules d'un organe : le cœur

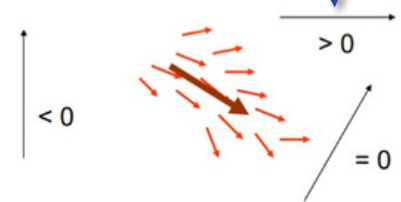
- ✓ Tous les dipôles s'additionnent : il en résulte un dipôle global  $M(t)$
- ✓ La mesure du signal électrophysiologique du cœur traduit les variations du moment dipolaire aux bornes d'une dérivation (par projection de  $M(t)$  sur l'axe de dérivation)

Exemple La projection du vecteur potentiel sur l'axe horizontal ci-dessous donne un signal **positif**

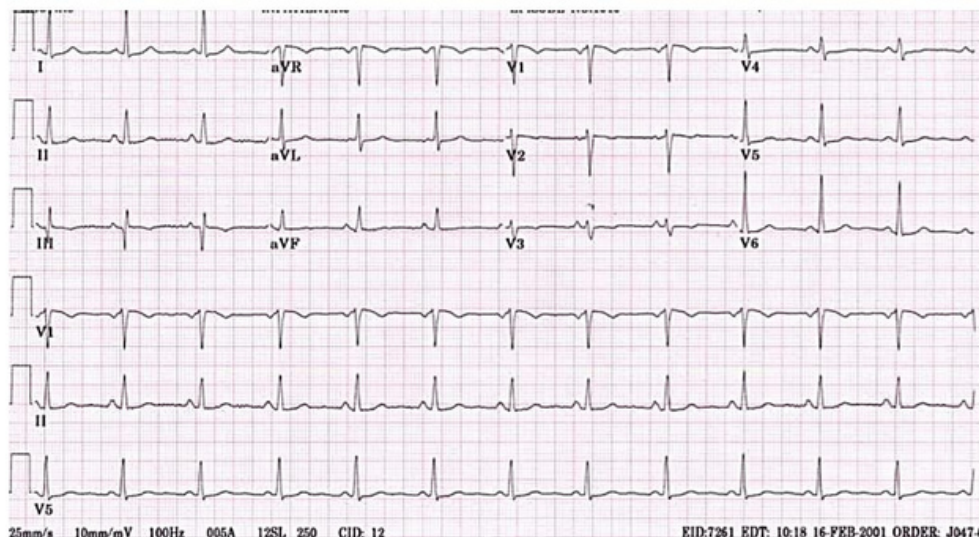
### a. Exemple d'une dérivation oblique

L'exemple ci-contre représente une **dérivation oblique projetée sur l'axe horizontal et vertical**

- ✓ La composante horizontale (positive) est égale à la composante verticale (négative)
- ✓ Les deux composantes s'annulent : le vecteur est perpendiculaire, aucun signal enregistré



### b. Exemple d'application : axe électrique du cœur d'un sujet



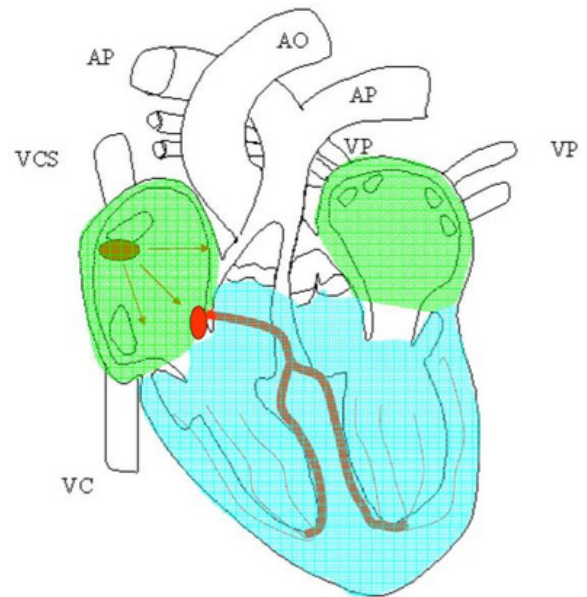
- ✓ L'ECG montre les amplitudes des différentes dérivations DI, DII et DIII (de l'ordre 1 mV, ce qui correspond bien au cœur)
- ✓ Exemple en **DIII**
  - o Autant d'amplitude positive que négative
  - o L'axe électrique du cœur est perpendiculaire à la déviation DIII

## 4. Signalélectrique du cœur



- ✓ Le **nœud sinusal** est le **point de départ du signal électrique** du cœur : déclencheur de l'activité électrique, à chaque contraction cardiaque, par suite d'une stimulation des cellules
- ✓ La propagation entraîne la contraction cardiaque des **oreillettes** qui poussent le sang vers les **ventricules**
- ✓ Le **nœud auriculo-ventriculaire** transmet l'impulsion de contraction cardiaque entre les oreillettes et les ventricules via le **faisceau de His** et le **réseau de Purkinje** ce qui permet une contraction **des ventricules** synchrone

Remarque Parfois le Pr Huglo parle d'atrium au lieu d'oreillette, c'est juste une différence de nomenclature

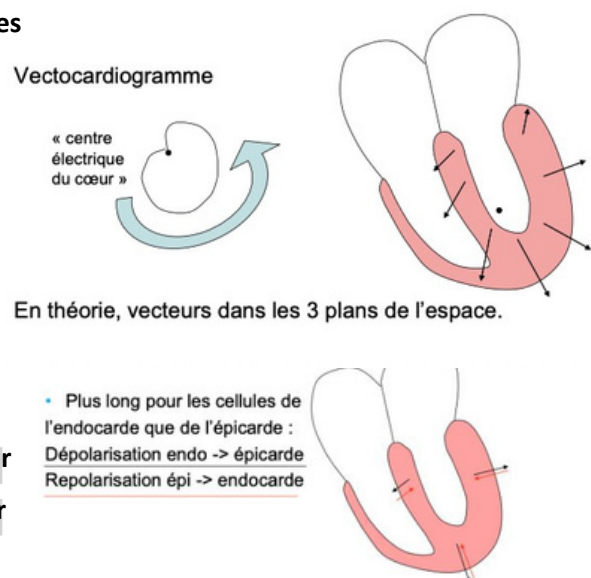


Sur le plan électrique, le signal se traduit par **4 phases**

- ✓ **Dépolarisation auriculaire** (des oreillettes)
- ✓ **Repolarisation auriculaire**
- ✓ **Dépolarisation des ventricules**
- ✓ **Repolarisation des ventricules**

Remarque Même s'il y a 4 phases, il n'y a qu'un **seul dipôle global** de l'organe se traduisant par **un seul signal** (représenté par un vectocardiogramme)

- ✓ La **durée du potentiel d'action des cellules myocardiques est variable** : plus longue pour les cellules de la base que de la pointe
- ✓ La **dépolarisation ventriculaire** se fait par un vecteur moment dipolaire qui se propage **de la paroi latérale (base) vers la pointe**
- ✓ La **repolarisation auriculaire** se fait **de la pointe vers la base** (dans le sens inverse) et est plus longue pour les cellules de l'endocarde (partie interne du myocarde) que de l'épicarde (partie externe du myocarde)
- ✓ La **dépolarisation se fait de l'intérieur vers l'extérieur**
- ✓ La **repolarisation se fait de l'extérieur vers l'intérieur**



Conséquence de l'inversion de sens entre la dépolarisation et la repolarisation : **dans les 2 cas, le potentiel mesuré est d'abord positif, puis négatif** (alors que normalement, lors de la repolarisation, le potentiel mesuré devrait d'abord être négatif puis positif)

Ces phénomènes se font en boucle et les conséquences sont visibles lors de l'enregistrement de l'ECG



- ✓ L'onde P correspond à la **dépolarisation auriculaire**
- ✓ L'onde (ou complexe) QRS correspond à la **dépolarisation ventriculaire** très importante, qui survient en même temps que la **repolarisation auriculaire** : la **dépolarisation ventriculaire** masque la **repolarisation auriculaire**
- ✓ L'onde T correspond à la **repolarisation ventriculaire**

