

# ACTIVITE ELECTRIQUE DU CŒUR

## I) INTRODUCTION :

- Le cœur est un organe qui génère par lui-même une activité électrique
- La stimulation électrique périodique permet la contraction du myocarde et la circulation du sang
- L'activité électrique est mesurée à distance (surface du corps): électrocardiogramme
- L'étude de l'électrocardiogramme permet :
  - de diagnostiquer des pathologies cardiaques, si un désordre de l'activité électrique est détecté.
  - de suivre l'évolution de la pathologie détectée et d'évaluer l'efficacité d'un éventuel traitement prescrit.

## II) RAPPELS ANATOMIQUES

Constitué de deux types de tissus de natures histologiques et de fonctions physiologiques différentes:

### • Tissu myocardique :

Fait de cellules musculaire cardiaques

**Rôle:** contraction pour faire circuler le sang

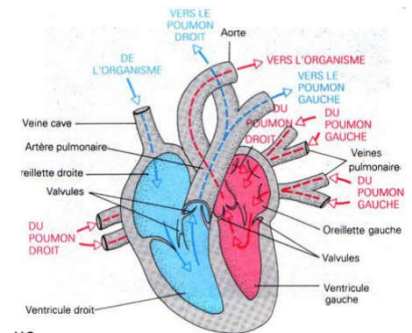
### • Tissu nodal :

nœud sinusal, nœud A-V, tronc et branches du faisceau de His, réseau de Purkinje

Cellules spécialisées et peu nombreuses

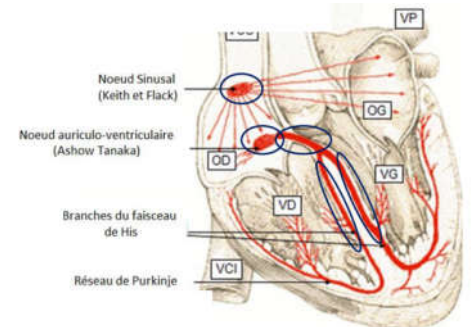
Peu contractiles

**Rôle:** générer, conduire et réguler l'activité électrique



## III) NAISSANCE ET PROPAGATION DE L'INFLUX :

- 1- L'impulsion électrique (automatique) naît, périodiquement dans le nœud sinusal
- 2- dépolarisation auriculaire droite et gauche (ils se contractent)
- 3- Le stimulus atteint le nœud auriculo-ventriculaire avec un décalage de 0.15 sec: Ralentissement du NAV temps nécessaire pour remplir les ventricules
- 4- Le stimulus se transmet au tronc du faisceau de His qui traverse la jonction Auriculo-Ventriculaire
- 5- il passe le long du septum via les branches D et G du faisceau de His
- 6- la stimulation arrive au réseau de Purkinje dont les ramifications atteignent les cellules du myocarde ventriculaire (contraction).



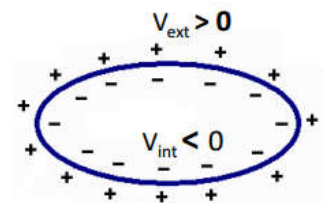
## IV) ÉLECTROPHYSIOLOGIE NORMALE DE LA CELLULE CARDIAQUE :

### 1- GÉNÉRALITÉS:

**Le Potentiel de repos d'une cellule:**

Il se rencontre dans toutes les cellules

- à l'intérieur de la cellule:
  - Ions  $\ominus$  et  $\oplus$  essentiellement  $K^+$
  - Mais charge globale très légèrement négative.
  - Répartition de charges négatives en excès sur la **face interne de la membrane**



- Potentiel de membrane  $V_{int}$  est négatif et uniforme

- à l'extérieur de la cellule:

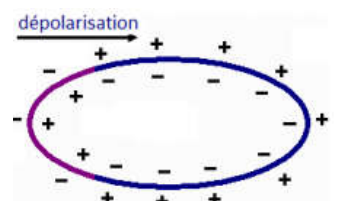
- Ions  $\oplus$  et  $\ominus$  essentiellement du  $Na^+$
- Répartition d'ions  $\oplus$  sur la **face externe de la membrane**, par effet électrostatique
- Potentiel de membrane  $V_{ext}$  est positif et uniforme

-différence de charge entre les deux faces de la membrane  $\rightarrow$  la membrane est dite polarisée

-entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule une **ddp de membrane** :  $V_{int} - V_{ext}$  toujours  $< 0$

### ⊖ Potentiel d'action d'une cellule (PA):

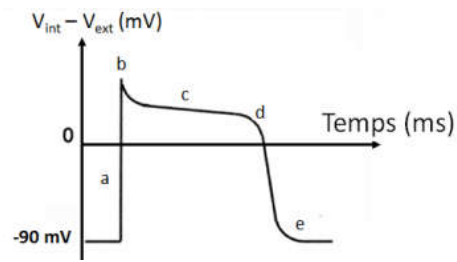
Concerne les cellules excitables (nerveuses et cardiaques)



Ce sont les **changements que subit le potentiel de base** suite à une variation brusque de la répartition ionique de part et d'autre de la membrane cellulaire.

- Excitation suffisante → Variation **brutale** de la répartition des ions
- Entrées et sorties de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , et  $\text{Ca}^{2+}$ .
- Inversion de la polarité de la membrane = dépolarisation de la membrane
- Cette dépolarisation se propage et se transmet le long de la membrane

La cellule se comporte alors comme un dipôle ou un feuillet électrique représenté à chaque instant par un moment du dipôle  $\vec{m}$



## 2- Potentiel de repos / potentiel d'action d'une cellule du myocarde :

-Spécificités de la cellule cardiaque:

- potentiel de repos: -90 mV
- Potentiel d'action comporte un plateau

-Mouvement des ions:

- a : dépolarisation rapide: ouverture des canaux  $\text{Na}^+$ , entrée de  $\text{Na}^+$  .
- b : repolarisation initiale (rapide): fermeture des canaux  $\text{Na}^+$  et sortie progressive de  $\text{K}^+$
- c : plateau: entrée calcico-sodique par des canaux lents
- d : repolarisation, par sortie massive de  $\text{K}^+$
- e : potentiel de repos, rétablissement des concentrations de base par les pompes  $\text{Na/K}$

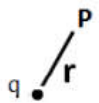
## V) BASES PHYSIQUES DE L'ÉLECTROGRAPHIE :

- Cette activité est variable dans le temps
- L'enregistrement et l'analyse de cette activité électrique (ddp) permet de suivre le fonctionnement cardiaque
- En assimilant **chaque fibre** cardiaque à un dipôle ou un feuillet électrique, on enregistre l'activité électrique **globale** du cœur en utilisant des électrodes à la surface du corps

⇒ L'ELECTROCARDIOGRAMME : ECG

### 1- POTENTIEL ELECTRIQUE CRÉÉ PAR UNE CHARGE ISOLÉE :

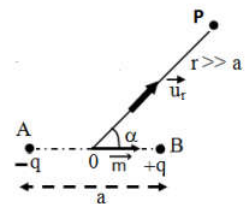
- Une charge ponctuelle  $q$  crée un potentiel électrostatique  $V_P$  (Volt) au point  $P$   
 $V_P = K' q/r$   $K'$ : constante caractéristique du milieu/vidé.
- $V_P$  est inversement proportionnel à  $r$ , distance qui sépare la charge  $q$  du point  $P$
- Tous les points équidistants de  $q$  se trouvent au même potentiel :  $V_P = V_{P'} = V_{P''}$



### 2- POTENTIEL CRÉÉ PAR UN DIPÔLE ÉLECTRIQUE :

- dipôle électrique :
  - ensemble de deux charges ponctuelles  $-q$  et  $+q$
  - séparées d'une distance  $a$
  - observées à une distance  $r$ , avec  $a \ll r$
- un dipôle crée, en un point  $P$ , un potentiel  $V_P = V_a + V_b$  tel que:

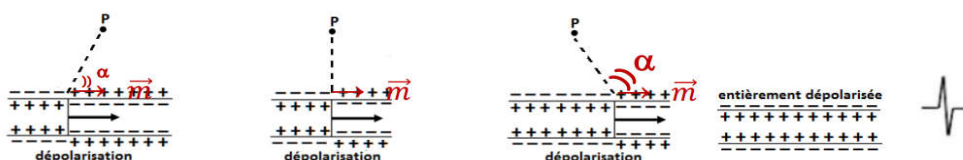
$$V_P = K' \frac{q a \cos \alpha}{r^2}$$



- On appelle moment du dipôle  $m$ , le vecteur tel que :
  - dirigé de  $-q$  à  $+q$
  - de module  $\vec{m} = qa$
  - Porté par la droite qui passe par les deux charges
  - le vecteur  $\vec{m}$  n'a pas d'origine fixe (vecteur glissant)

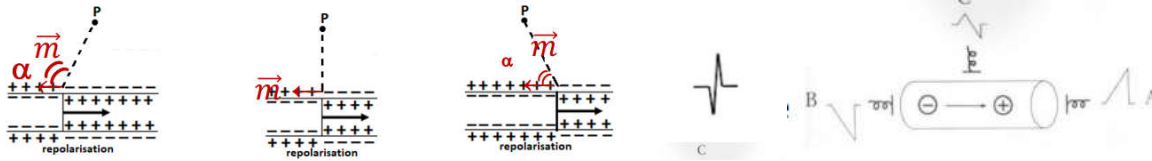
### 3- POTENTIEL INDUIT PAR LE PASSAGE DU FRONT DE DÉPOLARISATION :

- le long d'une fibre isolée la propagation de la dépolarisation:
  - ⇒ avancement du dipôle
  - ⇒ Variation de  $V_P$  en fonction de la position de  $\vec{m}$  (c.à.d. position du front de dépolarisation)
- Fibre en cours de dépolarisation, le front de dépolarisation se déplace :
  - avant d'atteindre le point d'enregistrement  $V_P > 0$
  - en face du point d'enregistrement,  $V_P = 0$
  - quand il dépasse le point d'enregistrement,  $V_P < 0$
  - quand la Fibre est entièrement dépolarisée: pas de dipôle:  $\vec{m} = 0$ ,  $V_P = 0$



#### 4- POTENTIEL INDUIT PAR LE PASSAGE DU FRONT DE REPOLARISATION :

- Fibre en cours de repolarisation :
- Quand le front de repolarisation est avant le point d'enregistrement,  $V_P < 0$
- Quand le front de repolarisation est en face du point d'enregistrement,  $V_P = 0$
- Quand le front de repolarisation est après le point d'enregistrement,  $V_P > 0$
- Quand la Fibre est entièrement repolarisée : pas de dipôle:  $\vec{m} = 0$ ,  $V_P = 0$



la dépolarisation (ou repolarisation) d'une même fibre donne un signal différent en fonction de la position de l'électrode de mesure.

#### 5- POTENTIEL CRÉÉ PAR UN FEUILLET :

- Un feuillet électrique est une double distribution de charges de signes opposés sur deux surfaces parallèles.
- la répartition des charges étant uniforme et de même densité surfacique.
- Le potentiel généré par une surface S d'un feuillet s'écrit:  $V_P = K \mu \Omega$

-  $\Omega$  : angle solide sous lequel est vue la surface S du feuillet

-  $\mu = a.dq/dS$  puissance du feuillet

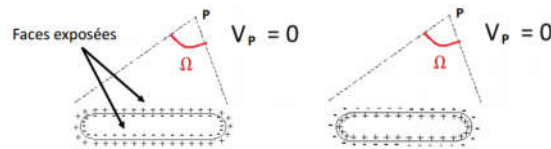
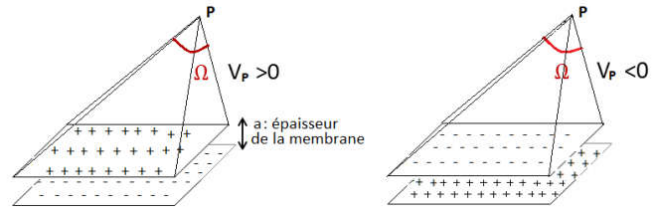
- Le potentiel créé par un feuillet en un point P porte le signe de la face du feuillet qui lui est exposée

• On peut assimiler la fibre du myocarde à un feuillet plié (2 feuillets parallèles)

- Le potentiel de la fibre au point P = somme des potentiels des deux faces exposées à P

- **au repos**: la fibre est chargée positivement à l'extérieur, expose une face  $\oplus$  puis une face avec la même répartition  $\rightarrow V_P = 0$

- **dépolarisée**: la fibre est chargée négativement à l'extérieur, elle expose une face  $\ominus$  puis une face  $\oplus \rightarrow V_P = 0$



en cours de dépolarisation, les faces exposées peuvent être de même charge

à tout instant, on considère trois zones pour  $\Omega$ :

$$V_{\Omega_1} = 0 \quad V_{\Omega_2} \neq 0 \text{ (ici } < 0) \quad V_{\Omega_3} = 0$$

$$V_P = V_{\Omega_1} + V_{\Omega_2} + V_{\Omega_3} = V_{\Omega_2}$$

- Comme pour le dipôle, les valeurs du potentiel  $V_{\Omega}$  varient de façon sinusoïdale.

#### VI) SPÉCIFICITÉS DE LA CELLULE CARDIAQUE :

le PA se déclenche de façon identique pour un même tissu

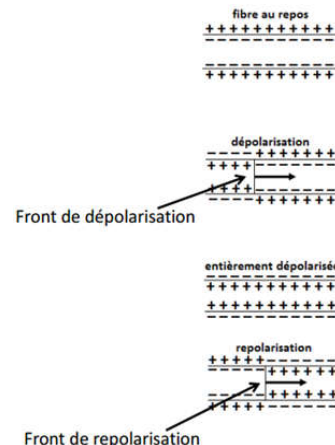
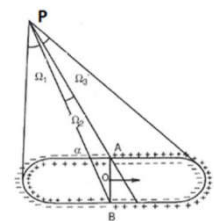
Il se propage et se transmet le long de la membrane cellulaire:

- La fibre au repos est chargée négativement à l'intérieur et positivement à l'extérieur

• La dépolarisation se propage de proche en proche le long de la fibre cardiaque

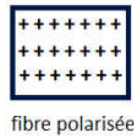
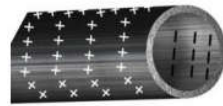
- la repolarisation commence quand la fibre est entièrement dépolarisée (pour de nombreuses fibres)

• Les phases de dépolarisation et repolarisation sont séparées dans le temps (ne se chevauchent pas)

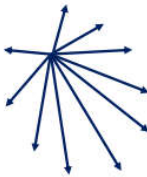
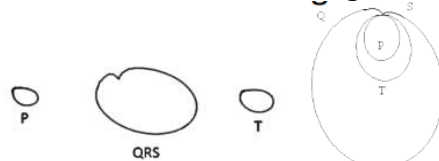


## VII) TECHNIQUE D'ENREGISTREMENT :

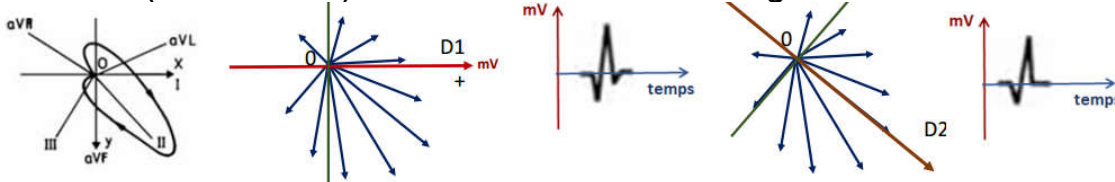
- Le cœur est formé de deux groupes de fibres, électriquement indépendantes:
- Les fibres du myocarde auriculaire et les fibres du myocarde ventriculaire sont séparées par un anneau fibreux isolant.
- Dans le cadre de la théorie du dipôle électrique, au cours de la dépolarisation, à un instant donné à la surface de chaque fibre, il existe :
  - des zones électronegatives : zones dépolarisées
  - des zones électropositives : zones encore à l'état de repos



- Toutes les charges négatives à côté des charges positives forment, des dipôles électriques
  - La somme vectorielle de tous ces dipôles pour une fibre  $\rightarrow \vec{m}$  vecteur résultant instantané.
  - la dépolarisation se propage progressivement le long d'une fibre
  - atteint progressivement les fibres du myocarde auriculaire
  - s'étend ensuite dans les fibres du myocarde ventriculaire
- Ce qui implique que :
- à chaque instant l'appareil enregistre une activité globale de toutes les fibres qu'on notera  $\vec{M}$  : moment dipolaire globale à un instant donné.
  - Le vecteur  $\vec{M}$  varie dans le temps (au cours de l'enregistrement) en origine, direction, sens et amplitude.
  - Lors de l'évolution de  $\vec{M}$ , son extrémité décrit un vectocardiogramme
  - Un cycle cardiaque comprend 3 phases où l'activité électrique est non nulle (P, QRS et T)
  - pour chacune de ces phases il existe un vectocardiogramme de forme spécifique



- Le tracé de l'ECG correspond à la projection orthogonale de ces vecteurs instantanés sur un axe de mesure (ou dérivation) dans le sens contraire des aiguilles d'une montre



**Dérivation** : système de 2 électrodes entre lesquelles on mesure la ddp elle est schématisée par une droite orientée reliant les deux points de mesure.

**Choix des axes (ou dérivation) pour la projection des vecteurs instantanés :**

- délimités par les points fixes du corps entre lesquels on mesure des ddp
- schématisés par une droite orientée reliant les points de mesure

**Les différentes dérivation utilisées :**

- périphériques: poignets gauche (L) et droit (R) + cheville gauche (F)
- précordiales à différents endroits du thorax.

### 1- EMPLACEMENT DES ÉLECTRODES PÉRIPHÉRIQUES:

L'enregistrement se fait à une grande distance, on applique la théorie du dipôle. Pour une exploration de l'activité du cœur dans un plan frontal (vertical)

- **dérivations unipolaires:**  $aV_R$ ,  $aV_L$ ,  $aV_F$

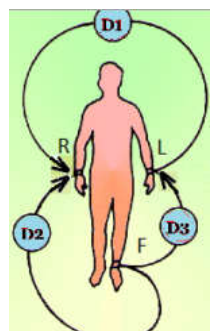
Les ddp sont mesurées entre un membre et un référentiel pris comme origine avec potentiel nul  $V_W=0$

Les ddp mesurées sont:

Ici les ddp enregistrées sont faibles et pendant l'enregistrement le voltage est amplifié pour obtenir un tracé de même amplitude que D1, D2, D3

-**dérivations bipolaires**

Les ddp sont mesurées entre les trois électrodes prises deux à deux





## 2- EMLACEMENT DES ÉLECTRODES PRÉCORDIALES:

L'enregistrement se fait à de courtes distances, on applique la théorie du feuillet.

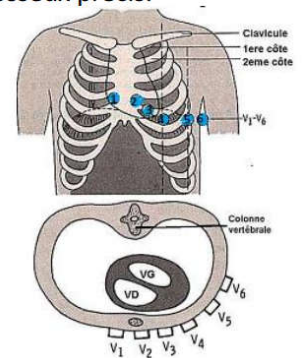
Ce sont aussi des dérivations unipolaires

Elles explorent le cœur dans un plan horizontal

La disposition des électrodes est définie par des repères osseux précis.

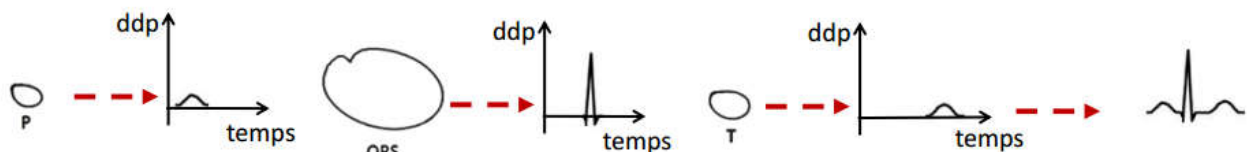
Six dérivations:

- V<sub>1</sub>: 4ème espace intercostal, bord droit du sternum
- V<sub>2</sub>: 4ème espace intercostal, bord gauche du sternum
- V<sub>3</sub>: à mi-distance entre V<sub>2</sub> et V<sub>4</sub>
- V<sub>4</sub>: 5ème espace intercostal, ligne médio-claviculaire
- V<sub>5</sub>: à mi-distance entre V<sub>4</sub> et V<sub>6</sub>, sur la ligne axillaire antérieure
- V<sub>6</sub>: même niveau horizontal que V<sub>4</sub> et V<sub>5</sub>, ligne axillaire moyenne



• Les tracés des différentes ondes qui se succèdent dans le temps pour une même dérivation, mis bout à bout, constituent l'ECG.

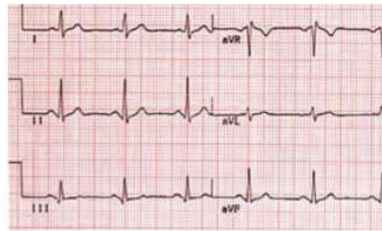
Exemple pour la dérivation D1:



• Le papier millimétré utilisé pour réaliser l'enregistrement possède les caractéristiques suivantes :

- en ordonnée est représentée l'amplitude de l'onde : 1 mm → 0,1 mV
- en abscisse est représenté le temps : 1 mm → 0,04 sec
- vitesse de déroulement du papier : V = 25 mm/s

6 dérivations périphériques  
DI, DII, DIII, aVR, aVL, aVF  
qui explorent le cœur  
dans un plan vertical



les 12 dérivations permettent de suivre la même activité sous des angles différents et à des distances différentes. elles procurent une vue générale de l'activité électrique du cœur

les tracés ont des allures différentes car les projections

des vecteurs ne se font pas sur les mêmes axes

chaque dérivation permet de mettre l'accent sur un

territoire cardiaque différent

une anomalie dans l'enregistrement correspondant à une

dérivation permet de savoir précisément la nature du

problème et où il se situe dans le cœur

## VIII) LECTURE ET INTERPRÉTATION DU TRACÉ :

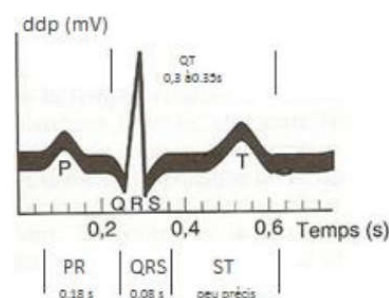
• Chaque phase de l'ECG représente une étape de l'activité électrique globale

- Onde P: Dépolarisation auriculaire
- Espace PR: Ralentissement du NAV
- Complexe QRS: repolarisation auriculaire et dépolarisation ventriculaire
- Espace ST : ventricule entièrement dépolarisé
- onde T: repolarisation ventriculaire
- De T à P suivant: ligne de base isoélectrique repos total.

• Ligne de base = ligne isoélectrique = aucune activité électrique n'est enregistrée

• Une déflexion vers le haut → ddp > 0

• Une déflexion vers le bas → ddp < 0 // Déflexion = modification progressive de position ou de trajectoire sous l'effet d'un phénomène physique



## FRÉQUENCE CARDIAQUE :

- Le rythme normal est de 60 à 100 pulsation/min au repos

## NATURE DU RYTHME CARDIAQUE :

- Le rythme doit être sinusal → chaque onde P doit être suivie du complexe QRS

## ONDE P: dépolarisation auriculaire

- Durée normale: 0,08 à 0,1 sec.
- Amplitude normale: < 0,25mV

## ESPACE PR: temps de conduction auriculo-ventriculaire :

- Normalement isoélectrique entre l'onde fin de P et Q, durée entre 0,12 et 0,20s.

## COMPLEXE QRS: restauration auriculaire et dépolarisation ventriculaire :

- Durée normale entre 0,06 et 0,08 sec
- Amplitude normale entre 0,5 et 2mV, avec amplitude de Q < amplitude R/3

## ESPACE ST

- ST : normalement isoélectrique.

## ONDE T : repolarisation ventriculaire

- normalement positive et asymétrique.

## ESPACE QT: dépend de la fréquence

- Il dure 0,35 à 0,43s pour une fréquence de 60 battements/min,
- dure moins longtemps si la fréquence augmente ex. 0,31 à 0,39 s pour 80 battement/min

## 1- ANALYSE DE L'AXE ELECTRIQUE DU CŒUR :

- L'ECG représente à chaque instant la variation de  $\vec{M}$  →
- le calcul d'un **vecteur résultant ou axe du cœur**, constitue un outil de comparaison
- On utilise les dérivations périphériques (frontales) pour le déterminer
- L'axe du complexe **QRS** est le plus souvent déterminé (le plus utile du point de vue clinique)
- Il représente l'orientation globale du vectocardiogramme frontal
- On le trace en considérant soit :
  - la déflexion positive (qui est généralement maximale), pour une orientation approximative de l'axe électrique
  - la somme algébrique des déflexions (positive et négative), l'orientation de l'axe électrique est alors plus précise.



## 2- ANALYSE DE L'AXE DU CŒUR :

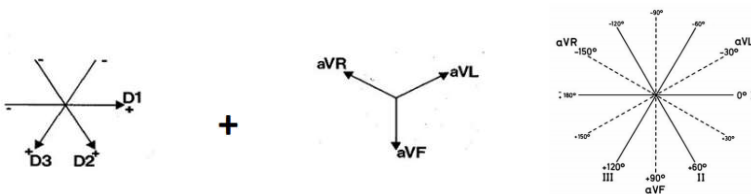
La construction de l'axe du cœur se fait dans le cadre de la **théorie d'Einthoven**:

Le potentiel du cœur (en activité) est assimilé à celui créé par un dipôle unique si la mesure est effectuée à un point du corps éloigné du cœur.

Les points R, L et F où sont mesurées les ddp pour les dérivations périphériques coïncident avec les 3 sommets d'un triangle équilatéral.

L'origine du vecteur moyen est considérée comme fixe, située dans le ventricule gauche et correspond au centre de gravité du triangle.

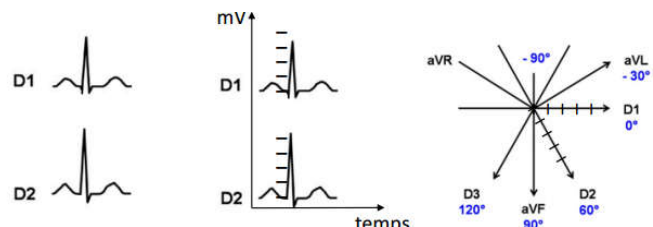
- Les valeurs des amplitudes de P, QRS ou T sont reportées sur les axes correspondant du système axial de BAILEY.



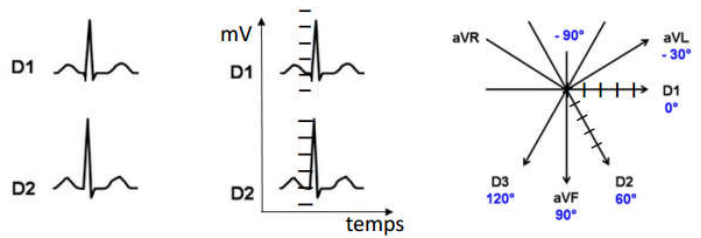
- Parmi les dérivations frontales on peut se limiter aux dérivations bipolaires dont les directions forment le triangle d'Einthoven.
- centre géométrique du triangle → ventricule gauche ≈ origine de tous les vecteurs
- La projection orthogonale sur chacun des axes de BAILEY, passant par l'amplitude relevée sur l'ECG, permet de donner la direction du vecteur moyen.

## représentation de l'axe :

En utilisant les déflexions maximales



en faisant la somme algébrique des déflexions (positive + négative)



on mesure l'angle que fait le vecteur moyen avec l'horizontal

L'axe moyen d'un QRS normal est compris entre 0 et 90°.

Il est dit gauche s'il est orienté vers -90° → hypertrophie ventriculaire gauche

Il est dit droit s'il est orienté vers 180° → hypertrophie ventriculaire droite.



L'axe moyen d'une onde P normale est compris entre 50 et 60°.

L'axe moyen d'une onde T normale est compris entre 0 et + 80°.

**Ressources : Diapos du professeur de Biophysique Hjiyej**

**Mise en page : Filali Mohamed (étudiant de la promo médecine 2022)**