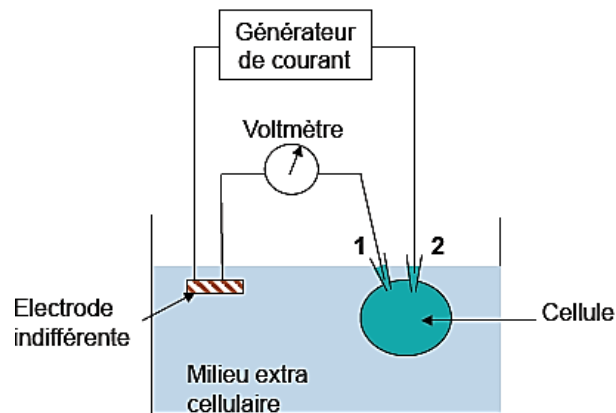


## I- Le current clamp & le voltage-clamp

**CURRENT CLAMP = COURANT IMPOSE:** on met en relation l'**injection** d'un courant dans la cellule (stimulus) et la **variation du potentiel** de mb (effet).

Réalisation :

- Une électrode (2) dans la C pour **injecter un courant électrique I**
  - Une électrode (1) dans la C pour **mesurer le potentiel de mb  $E_m$**
  - Une électrode de **référence** placée dans le milieu **extraC<sup>R</sup>** dont le potentiel est  **$V_{ref}$**
- ➔ Les **variations du potentiel** de mbrane  **$V_m$**  sont égales à la différence  **$E_m - V_{ref}$** , et sont à l'image du courant total qui traverse la membrane.



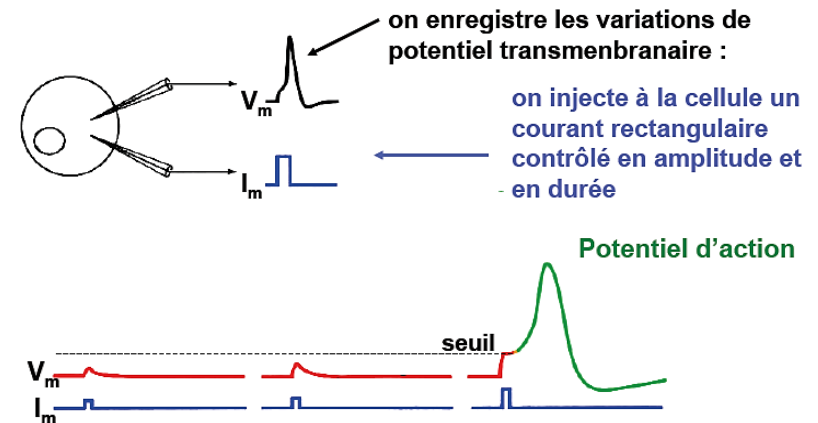
Quelques cas particuliers :

- Si un courant ionique apparaît (*ex* : entrée de charges + → dépolarisation) le potentiel de membrane peut être maintenu **constant** par injection d'un **courant électrique** de **même amplitude** et de **sens opposé** (*ex* : sortie du même nombre de charges +)
- Si  **$E_m = V_{ref}$**  → aucun courant ne passe → courant de membrane  **$I_m$  nul**

Les charges + (essentiellement les  $K^+$ ) établissent un courant sortant stable = **courant de fuite  $I_f$**  lors du potentiel de repos.

**Convention :**

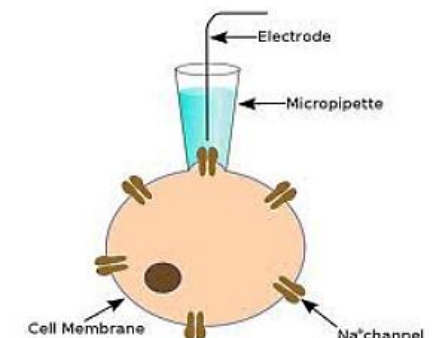
- ✓ Les courants **sortants** de **charge +** sont **négatifs** et dirigés vers le **bas**
  - ✓ Les courants **entrants** de **charge +** sont **positifs** et dirigés vers le **haut**
- ⇒ Le courant mesuré  $I_m$  est égal à la somme de ces courants (*entrées/sorties*)



**VOLTAGE CLAMP = POTENTIEL IMPOSE :** on met en relation la **variation du potentiel de mb** (stimulus) et l'**ouverture/fermeture du canal** (effet)

Exemple : le **patch-clamp**

On impose un potentiel à un fragment de membrane par la micropipette et on enregistre le courant électrique passant par ce canal (= **enregistrement de l'activité d'un seul canal membranaire**)



## II- L'électrophorèse

## 2) Applications cliniques

### 1) Explication de la technique

**Electrophorèse** = technique de **séparation** très fine des **particules chargées**, basée sur leur **charge électrique**.

- soumises à un champ électrique, elles se déplacent vers le pôle de **signe opposé** à leur charge et à une **vitesse proportionnelle** à leur charge.

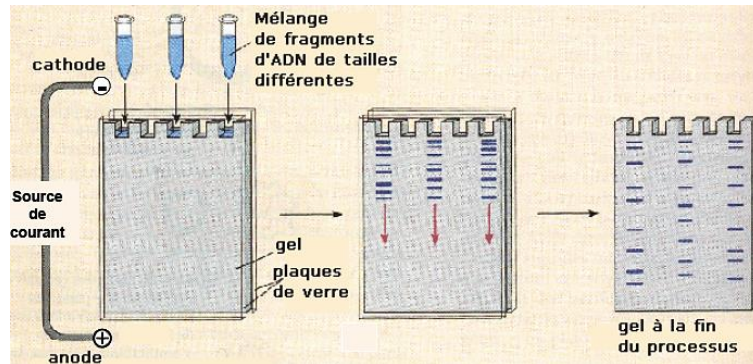
Vitesse limite d'une particule :

$$v = \frac{q E}{f}$$

q = charge de la particule

E = champ électrique

f = coefficient de frottement particule/solvant



- Disposit° des molécules à séparer sur **gel aqueux** placé **verticalement**, entre une **anode** (en **bas**) & une **cathode** (en **haut**), puis passage d'un courant
- Déplacement des **ions + vers la cathode** et des **ions - vers l'anode**
- Les molécules **neutres ne bougent pas**
- Lorsque la migration est terminée, on **sèche** le gel puis on le révèle pour **rendre visibles** les molécules
- Une molécule = **bande ± fine et perpendiculaire au trajet de migration**. Son **intensité** & son **épaisseur** dépendent de sa concentration.

Gels couramment utilisés : gélose + agarose, amidon, polyacrylamide + agarose-acrylamide

L'électrophorèse est utilisée en immunologie pour doser les protéines du sérum et diagnostiquer des atteintes du système immunitaire (*immunité humorale ++*)

**Immunité** = mécanisme de défense de l'organisme contre les éléments étrangers (agents infectieux, virus, bactéries, parasites).

- **Immunité humorale** = par voie sanguine (intervention de certains GB comme les lymphocytes B qui produisent les anticorps)
- **Immunité cellulaire** = par intervention d'éléments  $\mathcal{C}^R$  et d'hormones

L'électrophorèse des **globulines sériques** se fait en comparaison à la migration de l'albumine (dont la concentration est la plus élevée). On obtient, par **ordre de vitesse de migration décroissante** :

- 1- **Albumine**
- 2- **Alpha (1 et 2) globulines**
- 3- **Béta (1 et 2) globulines**
- 4- **Gamma globulines**

Les **anticorps** migrent à des vitesses différentes selon leur nature :

- ✓ les **IgA** migrent avec les fractions **alpha 2** et **béta 1**
- ✓ les **IgM** avec la fraction **gamma rapide**
- ✓ les **IgG** avec la fraction **gamma lente**

Moyen mémo : M → gaMMa (2 xM donc rapide) ; G → Gamma (1 seul G donc lent)

### Valeurs normales des protéines sériques chez l'adulte

Protéines	Valeurs normales relatives	Valeurs normales absolues
<b>Protéines totales</b>		65-80 g/L
<b>Albumine</b>	55-69%	35-44 g/L
<b>Alpha-1 globulines</b>	1,5- 4%	1-3 g/L
<b>Alpha-2 globulines</b>	8-13%	5-8 g/L
<b>Béta-globulines</b>	7-15%	4-10 g/L
<b>Gamma-globulines</b>	9-18%	5-12 g/L

## III- L'électrocardiogramme

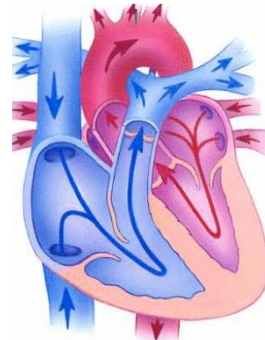
### 1) Généralités sur le cœur

**Cœur** = pompe qui véhicule environ **8000 L de sang/jour** chez l'adulte

- en **80 ans**, il bat entre **3 et 3,5 milliards** de fois
- **1 battement = contraction** de ses différentes cavités afin d'expulser le sang dans le système circulatoire
- **L'épaisseur** du **ventricule G** est très **>** à celle du **ventricule D** mais les **dépolarisations** des ventricules sont normalement **synchrones**

#### Trajet du sang :

Atrium D → Ventricule D → artères pulmonaires → **POUMONS** (le sang s'y charge en oxygène et rejette le CO<sub>2</sub> produit par les C) → veines pulmonaires → Atrium G → Ventricule G → Aorte → **ORGANES** (le sang oxygéné est apporté et récupère au passage le CO<sub>2</sub> produit par les C) → veines caves sup/inf → Atrium D



Durée du **cycle**/de la **révolution cardiaque** = **1 sec**

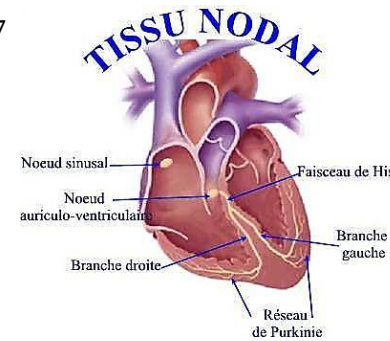
- **Bats** = progression du sang et maintien de la pression intra-vasculaire
- **Systole** = contract° myocardi<sup>K</sup> ≠ **diastole** = relaxation myocardi<sup>K</sup>

Le tissu musculaire cardiaque est constitué de **cellules** :

- **myocardique** (99%) → **contractiles**
- **nodales** (1%) → **non contractiles**.
- Elles produisent des **potentiels d'action** de manière **spontanée**
- Ce sont des **C pace maker** qui **imposent la fréquence** cardiaque

Le **tissu nodal** assure la succession des événements et le synchronisme du cœur D/G. Il comprend successivement :

- 1- Le **nœud sinusal de Keith & Flack** (ds la paroi postérieure de l'oreillette D)
- 2- Le **nœud atrio-ventriculaire d'Aschoff-Tawara** (dans la partie supérieure de la cloison interventriculaire)
- 3- Le **faisceau de His**, qui se divise en **2 branches** (1 pour chaque ventricule)
- 4- Le **réseau de Purkinje** (= ramificat° des branches du faisceau de His au sein des ventricules)

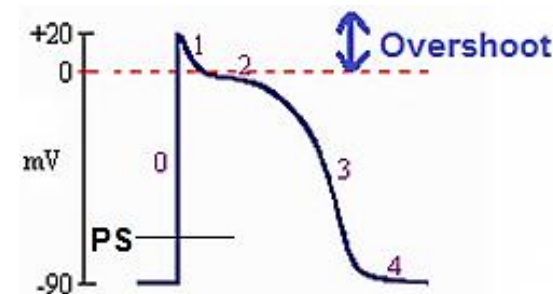


La **conductibilité** permet de **transmettre l'onde de dépolarisation** du nœud sinusal jusqu'aux C myocardiques afin de **déclencher la contraction** des oreillettes puis des ventricules

Toutes **les fibres du myocarde** sont **excitables** :

- Atteinte du **seuil d'excitation** (= **seuil liminaire**) → **potentiel d'action** (= **dépolarisat° brutale**, différente selon la localisation) → **contraction**
- Durée du **PA** = **150-300 ms** (plus long que celui du muscle squelettique)

### 2) Les phases du potentiel d'action



**PS = potentiel seuil** au-delà duquel le potentiel membranaire se positive brutalement, se dépolarise franchement, générant le PA

**Phase 0** = dépolarisation rapide (1ms) et de grande amplitude (110-120mV) qui entraîne une inversion du potentiel transmembranaire

- **Ouverture** des **canaux Na<sup>+</sup> (rapides)** → entrée brutale de Na<sup>+</sup> dans la C → variations de potentiel enregistrées sur l'ECG
- Durée **d'activation de la conductance sodique** très brève : **1 à 2ms**
- **Overshoot** = portion transitoirement positive du PA (> 0 mV)

**Phase 1** = phase de repolarisation initiale rapide et partielle conduisant à un potentiel de mb ≈ 0

- **Ouverture** des **canaux K<sup>+</sup> précoces (transitoires)**

**Phase 2 = phase de plateau****1- Sortie de K<sup>+</sup>**

- Ouverture des canaux Ca<sup>2+</sup> (lents)** → entrée de Ca<sup>2+</sup> cytosolique insuffisante pour déclencher la contraction mais qui active l'ouverture du canal calcique du réticulum sarcoplasmique (= **récepteur à ryanodine**) → sortie massive de Ca<sup>2+</sup> du réticulum → liaison **Ca<sup>2+</sup>/troponine C** → **contraction** des cardiomyocytes
- Le pic de concentration en Ca<sup>2+</sup> va ensuite activer :
  - ↪ **l'échangeur Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>** → **sortie de Ca<sup>2+</sup>** de la C
  - ↪ la **Ca-ATPase du réticulum** → **entrée de Ca<sup>2+</sup> dans le réticulum** et ↘ du Ca<sup>2+</sup> cytosolique
- Fermeture des récepteurs à ryanodine** → relaxation des fibres musculaires

**Phase 3 = repolarisation rapide**

- **Fermeture** des **canaux Ca<sup>2+</sup> lents**
- **Ouverture** des **canaux K<sup>+</sup> voltage-dépendants retardés** → sortie *passive* d'ions K<sup>+</sup>

**Phase 4 = phase diastolique**

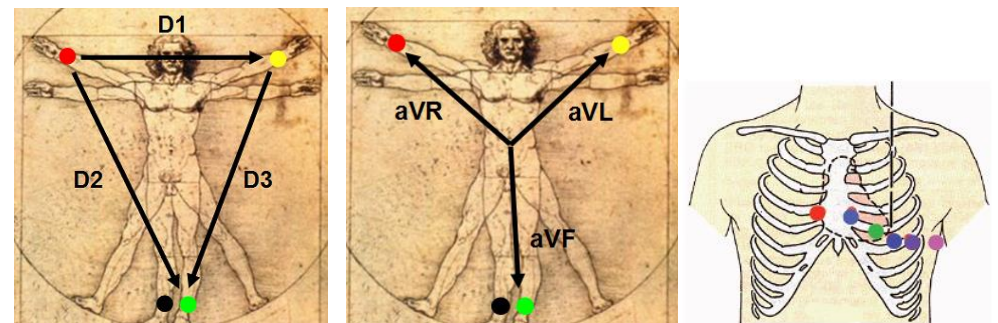
- **Rétablissement** de la **concentration de K<sup>+</sup>** intracellulaire par la **Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>/ATPase** membranaire
- Retour à un **potentiel de repos de -90 mV** (C électropositive en surface et électronégative à l'intérieur)

**3) L'électrocardiogramme**

Il enregistre l'activité électrique du cœur. La position des électrodes par rapport au cœur détermine l'aspect des **déflexions** sur l'enregistrement.

**Les dérivations de l'ECG (permises par 9 électrodes)**

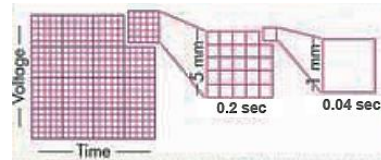
DERIVATIONS PERIPHERIQUES (x6) = plan frontal	
Unipolaires	Bipolaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Placées aux sommets d'un triangle équilatéral</li> <li>✓ <b>aVR</b> = membre supérieur droit (Right) → <b>Rouge</b></li> <li>✓ <b>aVL</b> = membre supérieur gauche (Left) → <b>Jaune</b></li> <li>✓ <b>aVF</b> = membre inférieur gauche (Foot) → <b>Vert</b></li> </ul> <p>+ une électrode indifférente sur le membre inférieur droit → <b>Noire</b></p> <p><i>Mémo</i> : <b>Soleil</b> sur la <b>prairie</b> <b>Sang</b> sur le <b>bitume</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Enregistrements bipolaires périphériques et <b>orientés</b></li> <li>✓ <b>DI</b> = membre supérieur D → membre supérieur G</li> <li>✓ <b>DII</b> = membre supérieur D → membre inférieur G</li> <li>✓ <b>DIII</b> = membre supérieur G → membre inférieur G</li> </ul>
DERIVATIONS PRECORDIALES (x6) = plan horizontal	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>V1</b> = 4<sup>ème</sup> EIC, bord <b>droit</b> du sternum</li> <li>✓ <b>V2</b> = 4<sup>ème</sup> EIC, bord <b>gauche</b> du sternum</li> <li>✓ <b>V3</b> = entre V2 et V4</li> <li>✓ <b>V4</b> = 5<sup>ème</sup> EIC gauche, sur la <b>ligne médio-claviculaire</b></li> <li>✓ <b>V5</b> = 5<sup>ème</sup> EIC gauche, sur la <b>ligne axillaire antérieure</b></li> <li>✓ <b>V6</b> = 5<sup>ème</sup> EIC gauche, sur la <b>ligne axillaire moyenne</b></li> </ul>	



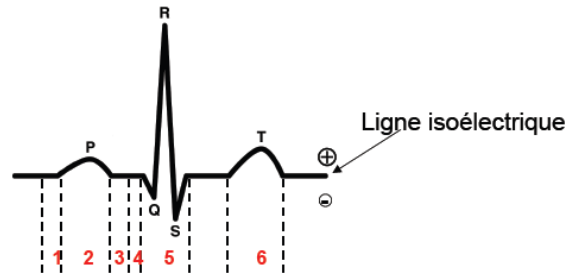
## Interprétation d'un ECG

Toujours commencer par contrôler l'interprétabilité (*bon étalonnage*) du tracé :

- *Vitesse déroulement papier* = 25 mm/s
- *Amplitude* : 1cm = 1 mV



- 1- Naissance de l'influx au niveau du sinus auriculaire
- 2- Contraction oreillettes
- 3- Transmission auriculo-ventricul<sup>R</sup>
- 4- Transmission faisceau de His → réseau de Purkinje
- 5- Contraction ventricules
- 6- Repolarisation ventricules



**Onde P** = **dépolarisation des oreillettes** (la dépolarisation provient du nœud sinusal)

**Espace PR** = **ralentissement auriculo-ventriculaire** (conduction +++ ralentie)

- ➔ transmission de la dépolarisation via le nœud atrio-ventriculaire → le faisceau de His → les ventricules
- ➔ **⚠** la mesure de cette espace se fait **de P** jusqu'au **début de la dépolarisation ventriculaire**
- ➔ *Physiologiquement* : < 5mm (= 5 petits carreaux = 0,2 sec)

**QRS** = **dépolarisation ventriculaire**

- ➔ *Physiologiquement* : **Largeur** < 2mm (=0,08 sec)

**Onde T** = **repolarisation ventriculaire**

- ➔ *Physiologiquement* : **asymétrique** avec un **sommet souvent un peu arrondi**
- ➔ *Pathologies* : variations de morphologie et de durée en cas **d'ischémie myocardique**, de **troubles hydroélectriques**, de **troubles du tonus neuro-végétatifs**, de prise de **médicaments**...

**Intervalle QT** = temps de **repolarisation myocardique**

- ➔ Mesuré depuis le **début du QRS** jusqu'à la **fin de T**
- ➔ *Physiologiquement* : varie en fonction de la **fréquence cardiaque** (ne possède pas de valeur fixe) → se raccourcit lorsque la fréquence cardiaque augmente et inversement

La **forme** des ondes varie en fonction de la **dérivation** dans laquelle on les enregistre (ex : le QRS)

