

MEDAVIE

HealthEd

ÉduSanté



# ÉLECTROPHYSIOLOGIE CARDIOVASCULAIRE

Formation paramédicale en soins primaires

Module : 04

Section : 02

- Objectifs
  - Potentiel d'action du myocarde
  - Composantes électriques du cœur
  - Composants de l'électrocardiogramme
  - Interprétation d'un ECG à 3 dérivations

Électrophysiologie cardiovasculaire

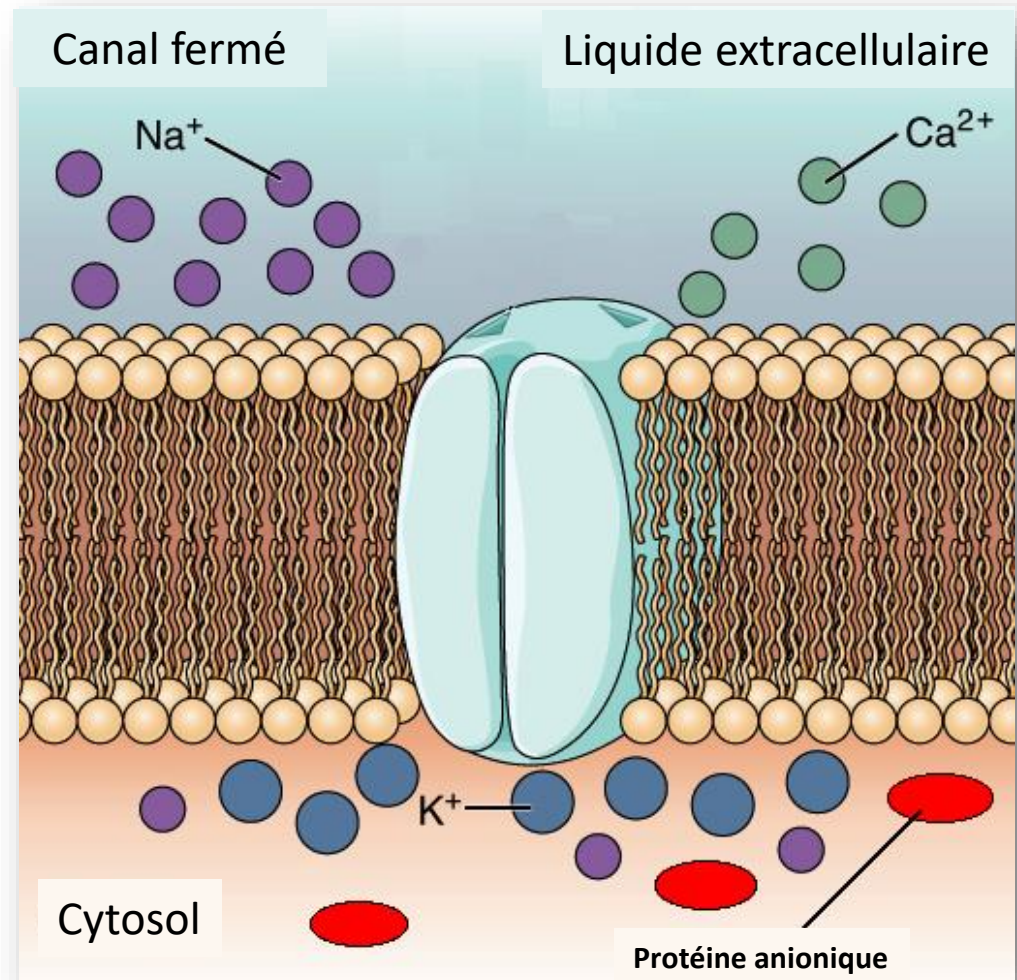
# POTENTIEL D'ACTION DU MYOCARDE

- Le tissu du muscle cardiaque est composé de cellules musculaires particulières appelées cardiomyocytes
- La contraction de ces cellules sous l'effet d'une stimulation rappelle le mécanisme observé dans les cellules des muscles squelettiques ou lisses, mais les cardiomyocytes possèdent des propriétés uniques
  - Potentiel d'action prolongé
  - Ouverture des canaux  $\text{Ca}^{2+}$

- Comme c'est le cas avec d'autres potentiels d'action observés dans l'organisme, la présence d'électrolytes dans le liquide intracellulaire et extracellulaire joue un rôle essentiel
  - Liquide intracellulaire :  $K^+$ , protéines chargées négativement
  - Liquide extracellulaire :  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$
- Lorsque les électrolytes se trouvent à leur emplacement normal, des gradients sont établis
  - Gradient de concentration
  - Gradient électrochimique

# Potentiel d'action du myocarde

- La différence de concentration en électrolytes entre le liquide extracellulaire et le cytosol crée un **gradient de concentration**
- La différence de charge globale de part et d'autre de la membrane donne lieu à un **gradient électrochimique**

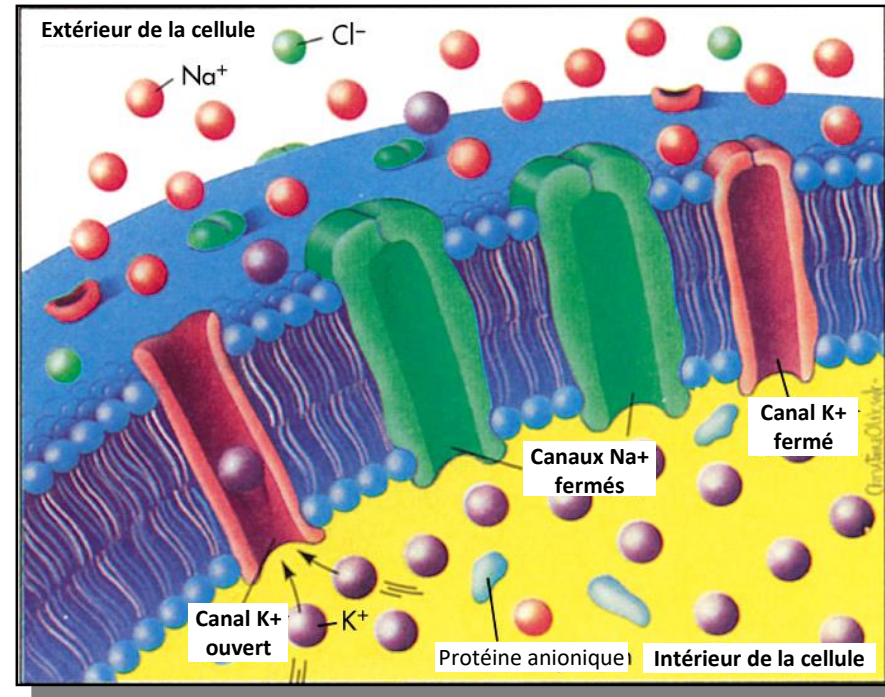


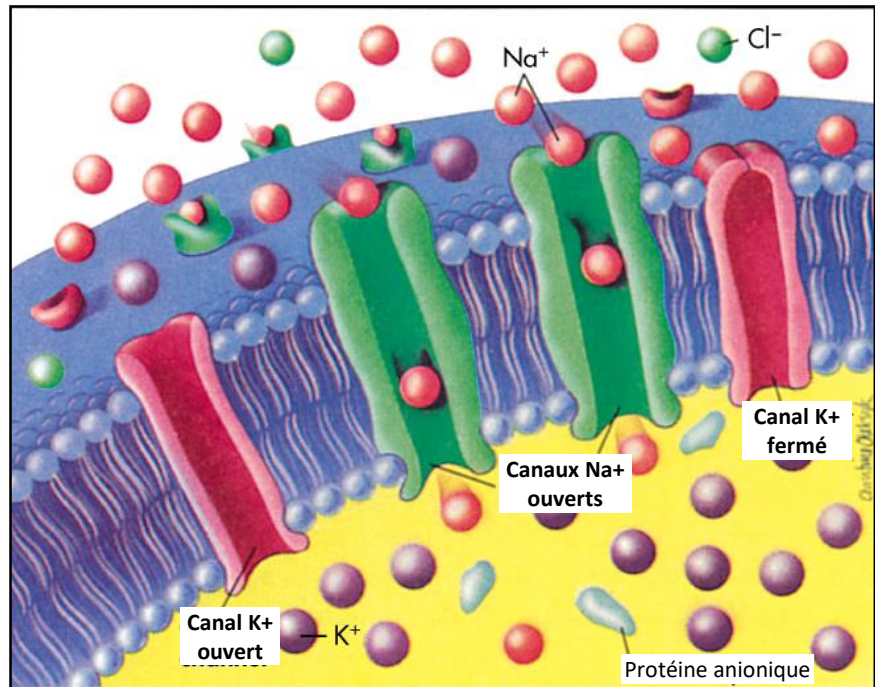
- Lorsque le cardiomyocyte n'est pas stimulé, on observe le **potentiel de repos membranaire**
- Le liquide qui se trouve à l'intérieur de la cellule (le cytosol) a donc une charge négative plus importante que celle du liquide qui se trouve à l'extérieur de la cellule (liquide extracellulaire)
  - La différence de charge de part et d'autre de la membrane est de  $-90$  mV (potentiel de repos membranaire)
  - On observe une charge négative dans le cytosol en raison des protéines anioniques et de la diffusion passive des ions  $K^+$  vers le liquide extracellulaire

- Comme la charge positive est plus importante dans le liquide extracellulaire et que la charge négative est plus importante dans le cytosol, la membrane est maintenant **polaire**
- Lorsque la charge est la même des deux côtés de la membrane, on dit que la membrane est non polaire
- Le processus par lequel la membrane passe d'un état polaire à un état non polaire est appelé **dépolarisation**
- Le processus par lequel la membrane redevient polaire est appelé **repolarisation**



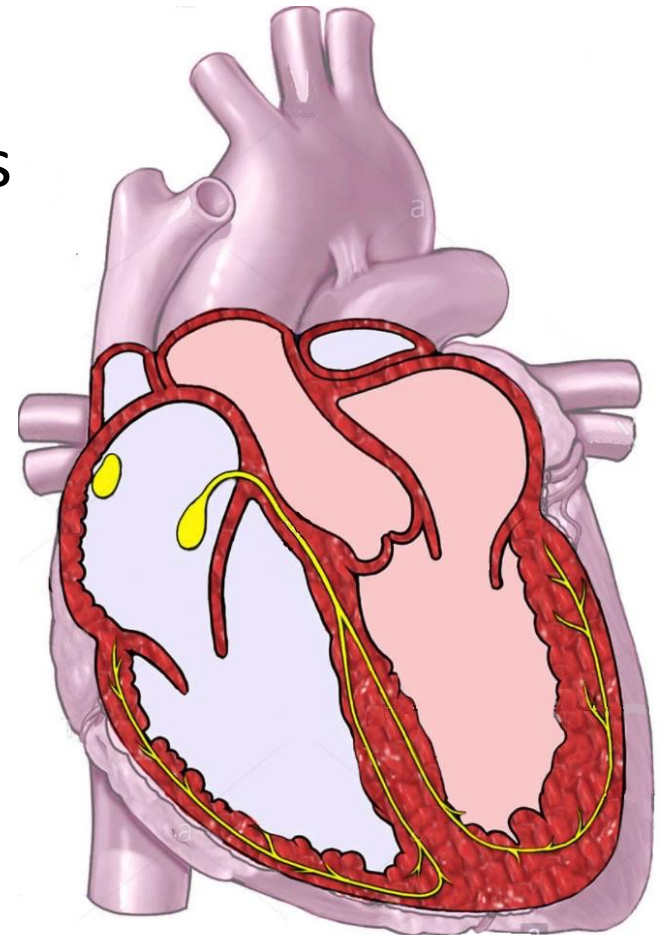
- La membrane cellulaire est sélectivement perméable
  - Relativement perméable au  $K^+$
  - Moins perméable au  $Ca^{++}$
  - Très peu perméable au  $Na^+$
- Les protéines de transport transmembranaire permettent un mouvement des ions non perméables dans la cellule
  - Canaux ouverts/fermés selon le voltage créé par le gradient électrochimique





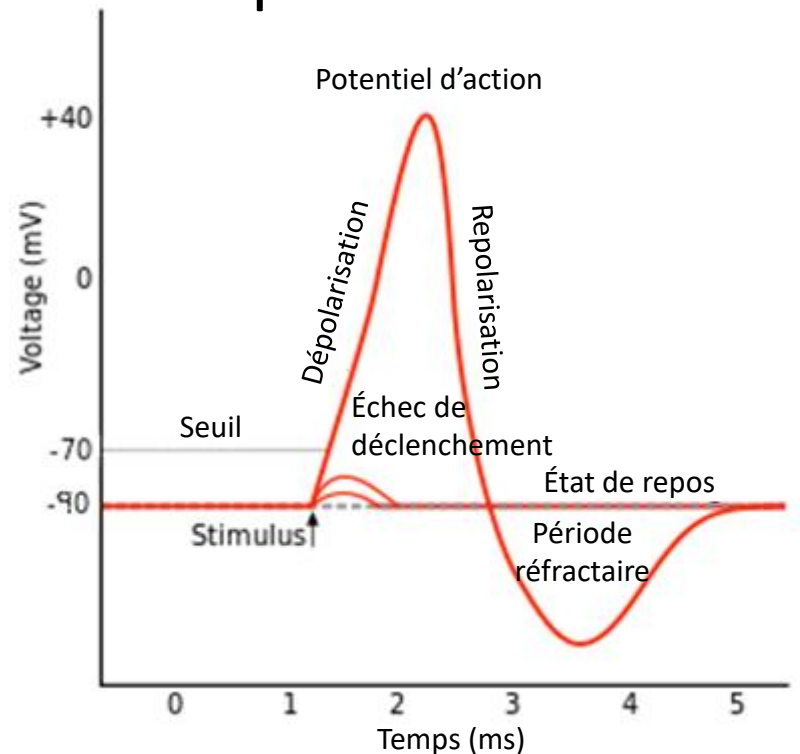
- Certains canaux permettent le mouvement rapide des électrolytes lorsqu'ils sont ouverts (« canaux rapides »)
- D'autres canaux ne permettent qu'un passage réduit des électrolytes (« canaux lents »)

- Il existe deux types de cardiomyocytes :
  1. Cellules cardionectrices
  2. Cellules non cardionectrices



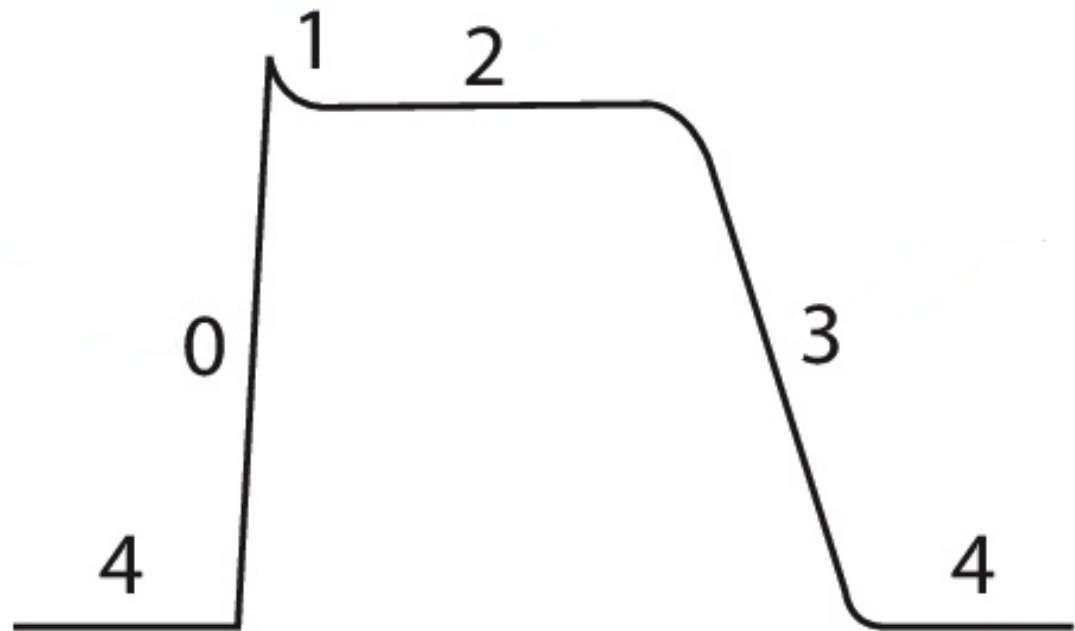
- Cellules cardionectrices
  - L'impulsion prend naissance dans la cellule elle-même (aucun stimulus externe)
    - Cette capacité confère une propriété unique au tissu musculaire cardiaque : l'**automaticité**
- Cellules non cardionectrices
  - L'impulsion est déclenchée sous l'effet d'une stimulation transmise par d'autres cardiomyocytes (les cellules cardionectrices) ou les cellules nerveuses
- Dans les deux cas, l'impulsion génère un **potentiel d'action**

- Comme c'est le cas avec le muscle squelettique, les impulsions n'entraînent pas toujours une contraction des cardiomyocytes
  - L'impulsion doit être assez intense pour atteindre le **potentiel seuil**
    - Le potentiel seuil des cardiomyocytes est de  $-70$  mV

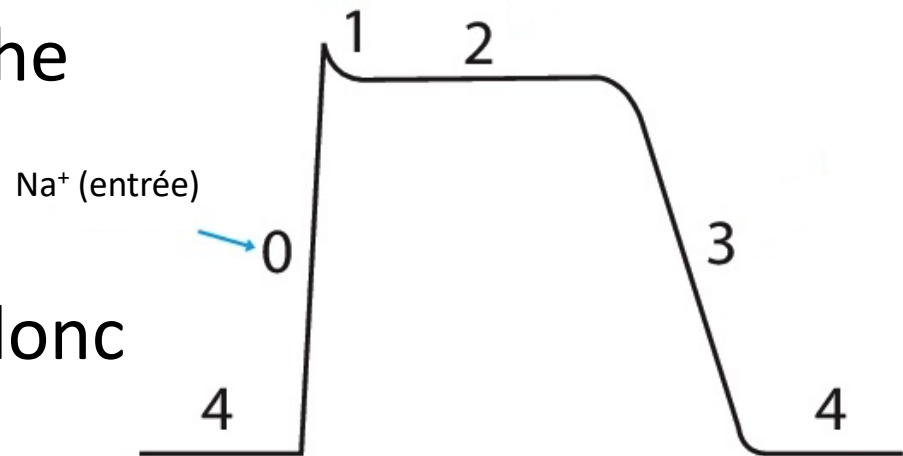


- Le potentiel d'action cardiaque se divise en cinq phases

- Phase 0
- Phase 1
- Phase 2
- Phase 3
- Phase 4

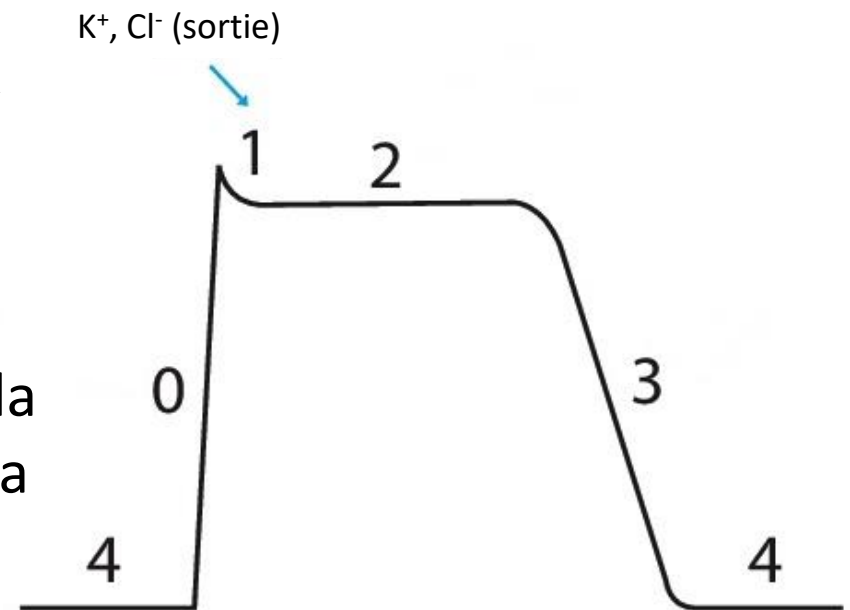


- Quand la membrane atteint le potentiel seuil, les canaux  $\text{Na}^+$  rapides s'ouvrent, permettant l'entrée rapide de  $\text{Na}^+$  dans la cellule
- Le cytosol auparavant négatif devient plus positif et sa charge se rapproche de celle du liquide extracellulaire
- La membrane devient donc moins polaire = dépolarisation



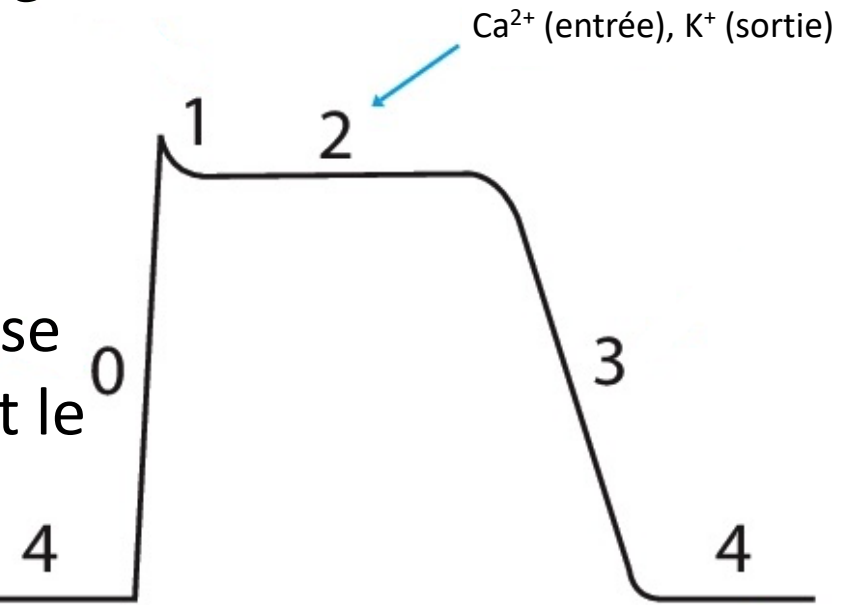
## Phase de repolarisation initiale

- Après l'entrée massive de  $\text{Na}^+$  dans le cytosol, le potentiel de la membrane s'accroît et devient légèrement positif
- La charge positive du cytosol est donc plus élevée que celle du liquide extracellulaire
- Ce changement de voltage entraîne l'ouverture des canaux  $\text{K}^+$  et un déplacement accru des ions  $\text{K}^+$  entre le cytosol et le liquide extracellulaire
- Il en résulte une diminution de la charge positive à l'intérieur de la cellule, qui se rapproche de son potentiel de repos membranaire

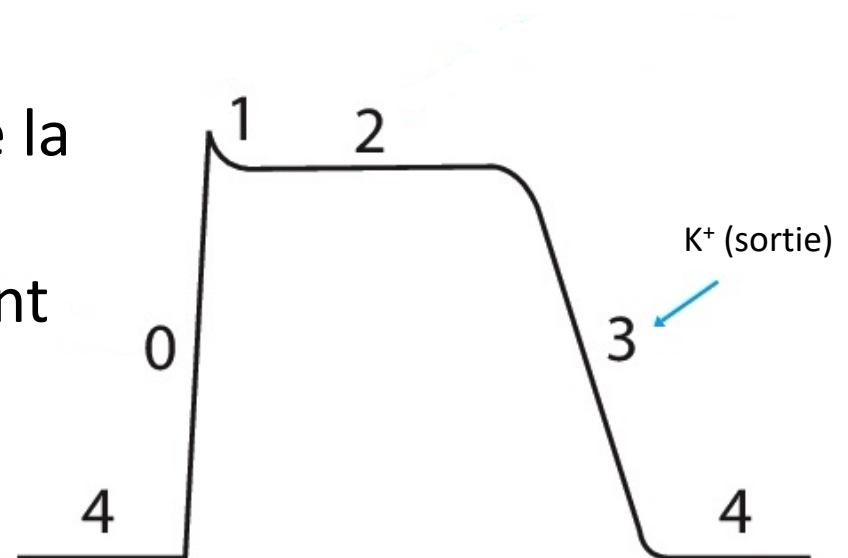




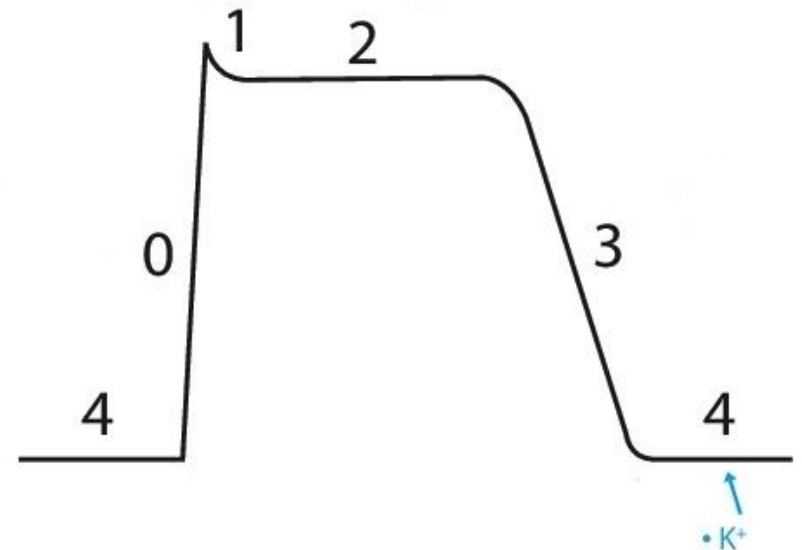
- Les canaux  $\text{Ca}^{2+}$  s'ouvrent et les ions  $\text{Ca}^{2+}$  commencent à pénétrer dans la cellule
- Cela a pour effet de maintenir plus longtemps une charge positive à l'intérieur de la cellule et d'ainsi prolonger le processus de repolarisation
- Pendant ce temps, on observe aussi une sortie de  $\text{K}^+$
- Ces mouvements de charge positive entrante ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et de charge positive sortante ( $\text{K}^+$ ) se neutralisent mutuellement et le potentiel de la membrane demeure inchangé (plateau)



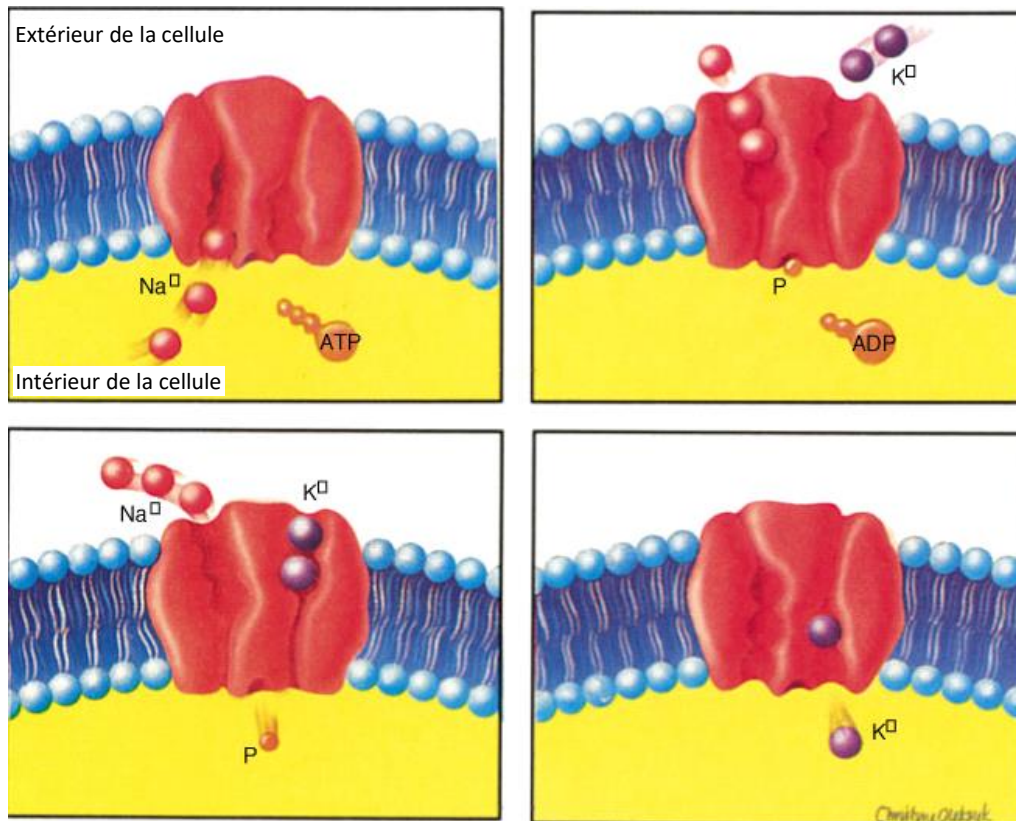
- Les canaux  $\text{Ca}^{2+}$  se ferment et la membrane devient encore plus perméable au  $\text{K}^+$
- Il s'ensuit une diminution importante de la charge positive dans le cytosol
- Le potentiel de la membrane redevient négatif
- Cette phase prend fin lorsque la membrane retrouve son potentiel de repos et redevient polaire



- À la fin d'un potentiel d'action, la membrane retrouve son potentiel de repos, mais les électrolytes ne sont pas à leur emplacement habituel
- Les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$  se trouvent principalement dans le cytosol et les ions  $\text{K}^+$  se trouvent principalement dans le liquide extracellulaire
- Au cours de cette phase, trois pompes s'échangent des électrolytes à travers la membrane afin de les ramener au bon emplacement

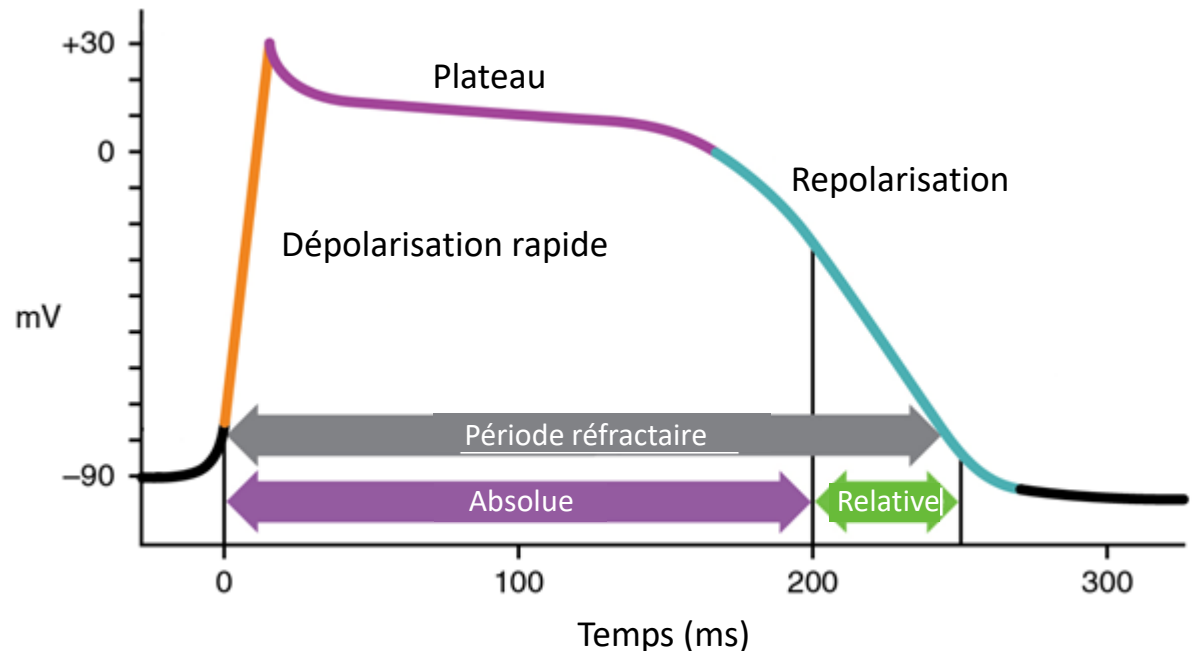


# Pompe Na-K ( $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATPase}$ )

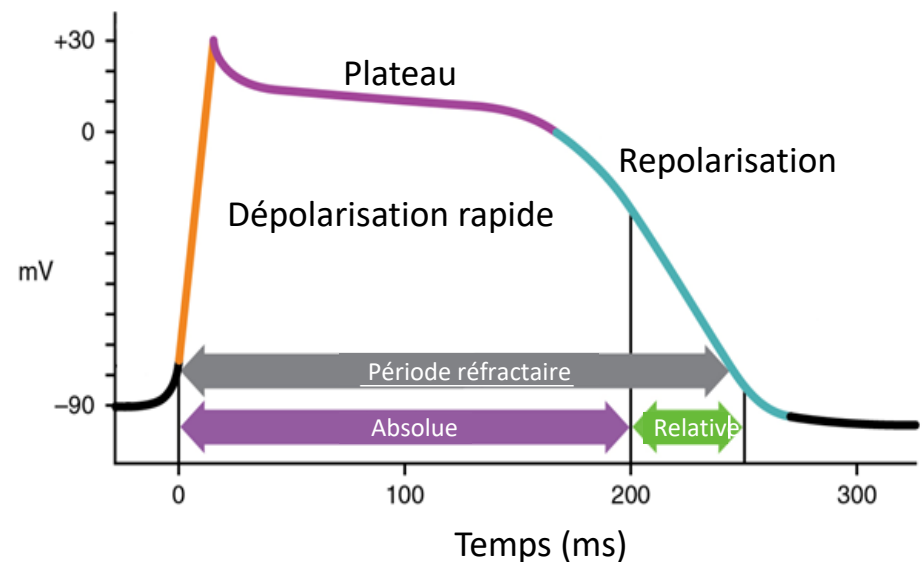


- L'échangeur  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  assure le retour des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$  dans le liquide extracellulaire
- La pompe  $\text{Ca}^{2+}-\text{ATPase}$  entraîne le déplacement des ions  $\text{Ca}^{2+}$  vers le liquide extracellulaire
- La pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATPase}$  permet le déplacement des ions  $\text{Na}^+$  vers le liquide extracellulaire et le déplacement des ions  $\text{K}^+$  vers le cytosol

- La période réfractaire correspond à la période pendant laquelle un autre stimulus ne déclenchera pas un autre potentiel d'action ou pendant laquelle un stimulus d'intensité supérieure à la normale est requis



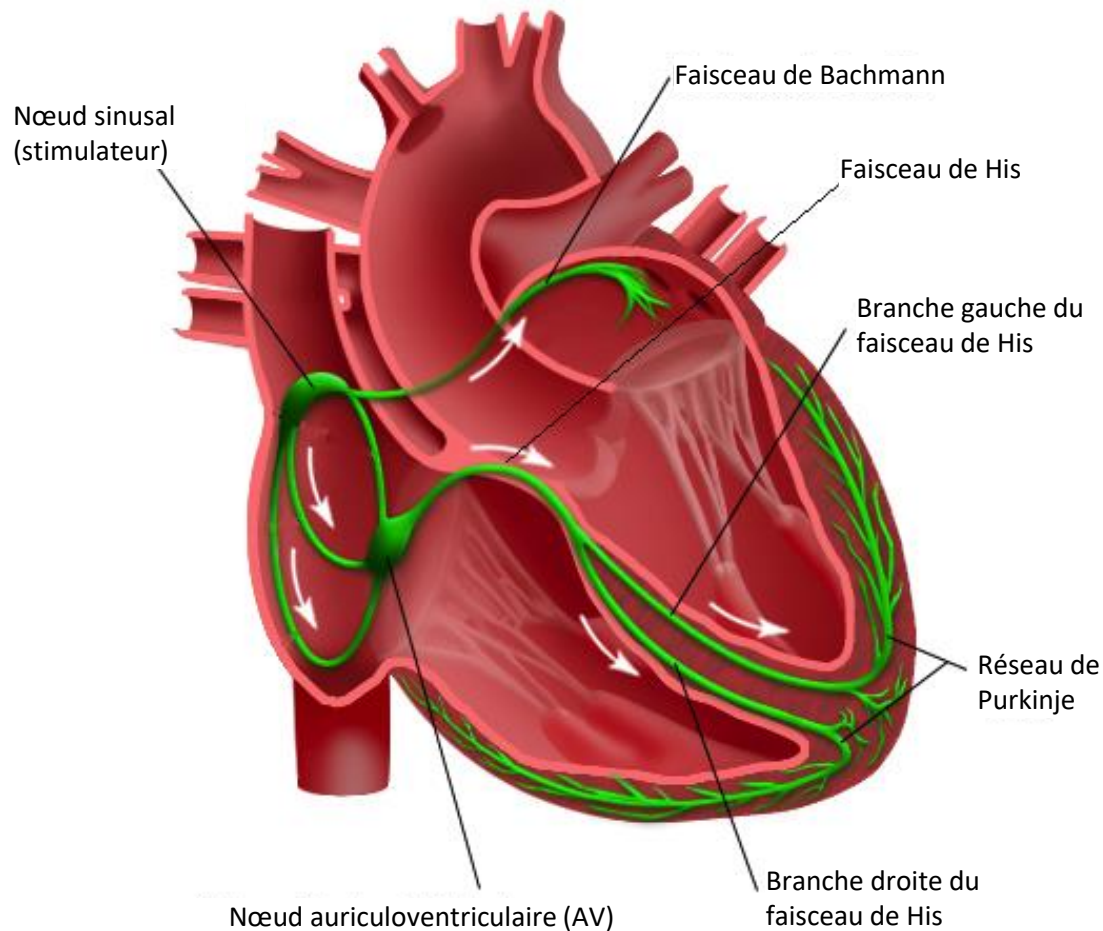
- On distingue deux périodes réfractaires :
  1. Période réfractaire absolue
    - Complètement insensible à d'autres stimuli
  2. Période réfractaire relative
    - Sensible à une stimulation suffisante (peut créer un autre potentiel d'action)



Électrophysiologie cardiovasculaire

# **LES COMPOSANTS DE L'ÉLECTROCARDIOGRAMME**

Nœud sinusal → Nœud AV → Faisceau de His → Branches du faisceau de His → Réseau de Purkinje

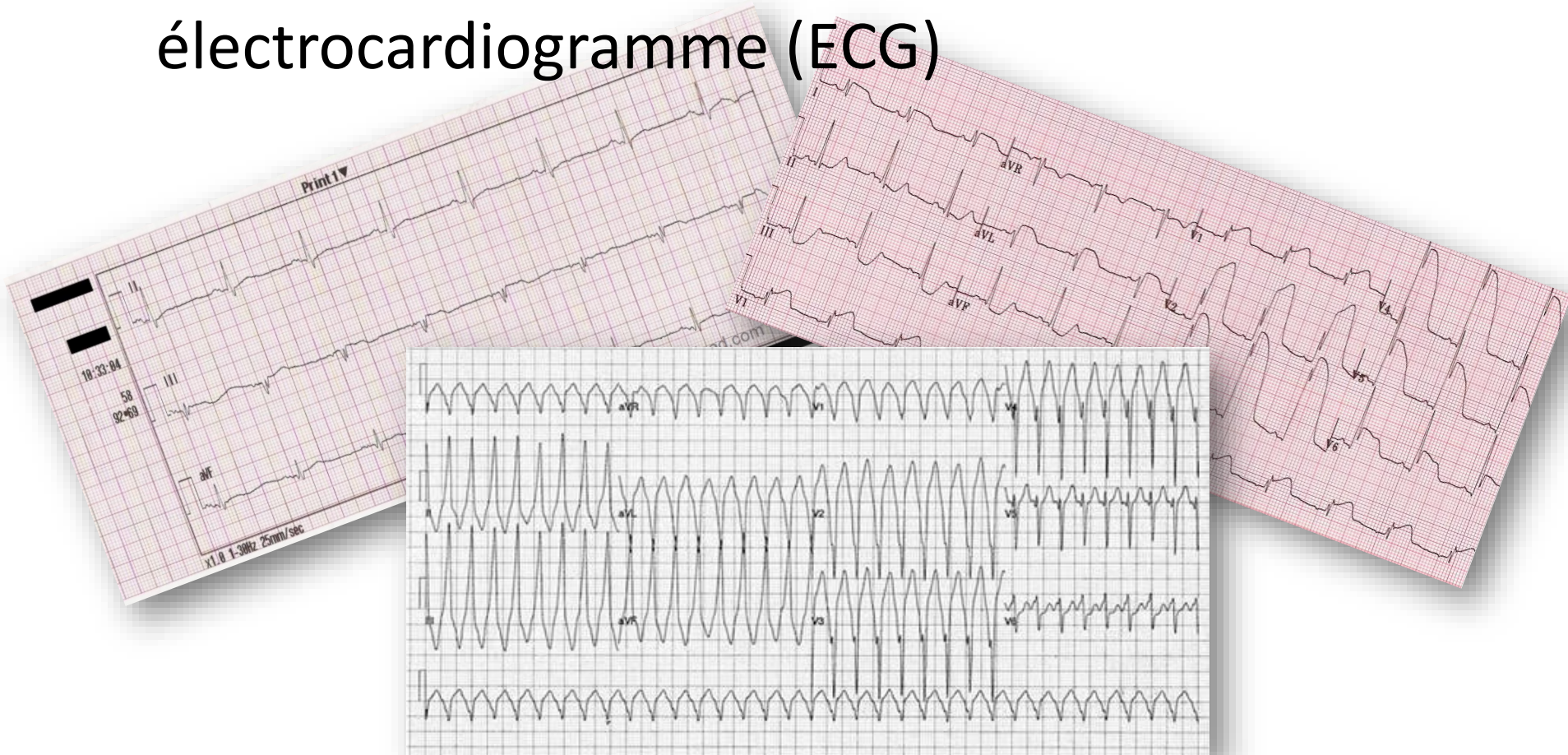




- En plaçant des électrodes sur la peau, on peut détecter l'activité électrique du cœur
- Options possibles :
  - 3 dérivations
  - 12 dérivations
  - 15 dérivations
  - 18 dérivations

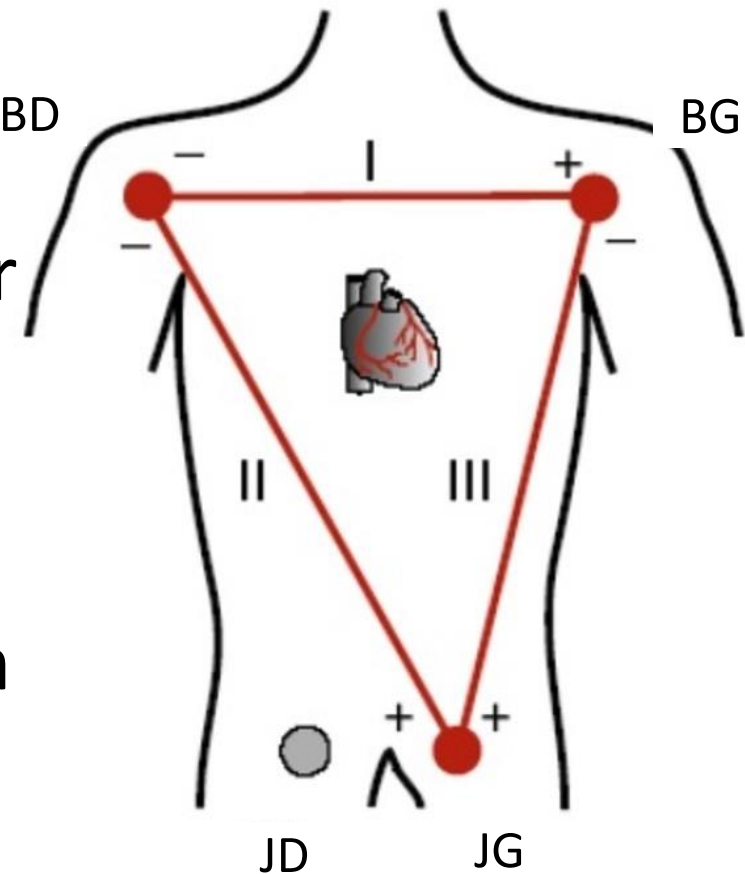


- L'activité électrique est enregistrée puis présentée sous la forme d'un électrocardiogramme (ECG)

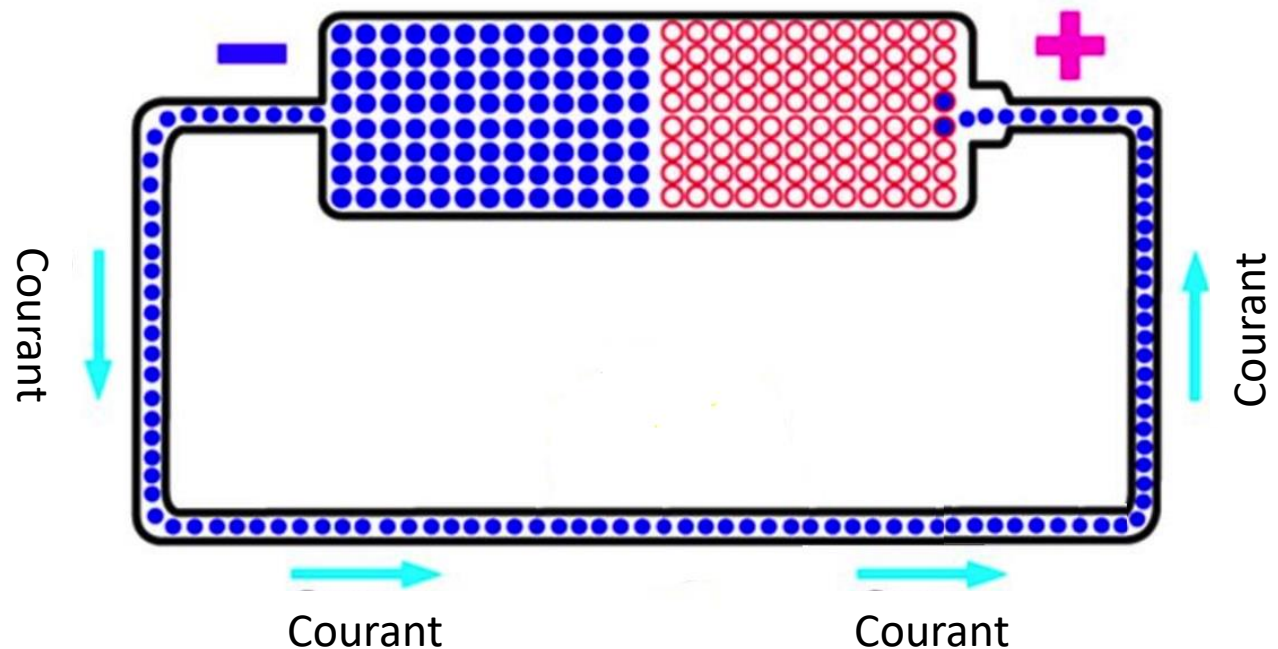


- Médecin hollandais qui a étudié et perfectionné l'électrocardiographie en 1903
- Il a mis au point la technique qui fait appel à trois dérivations pour former un triangle équilatéral et détecter le vecteur électrique du cœur
  - Connue depuis sous le nom de triangle d'Einthoven
  - Cette technique a donné naissance aux trois dérivations des membres (I, II, III)

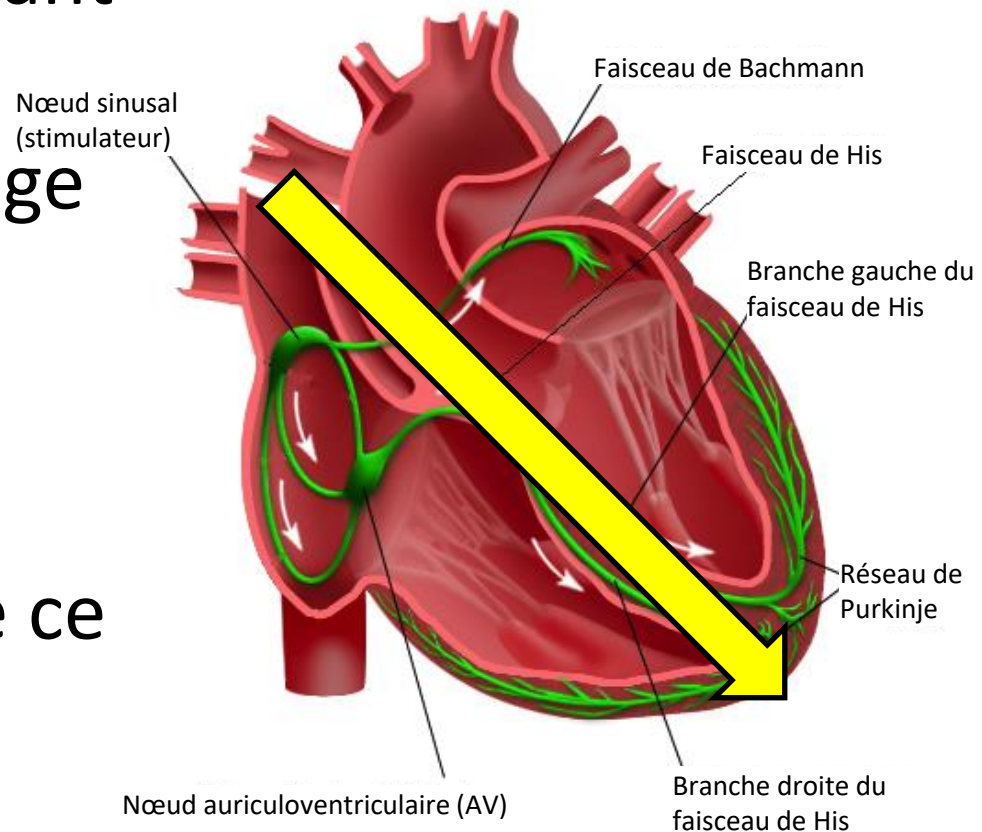
- En plaçant des électrodes sur trois membres, on peut enregistrer le vecteur de l'activité électrique du cœur à partir de trois directions différentes
- Ces électrodes permettent d'enregistrer une dérivation **bipolaire** car elles peuvent être positives ou négatives



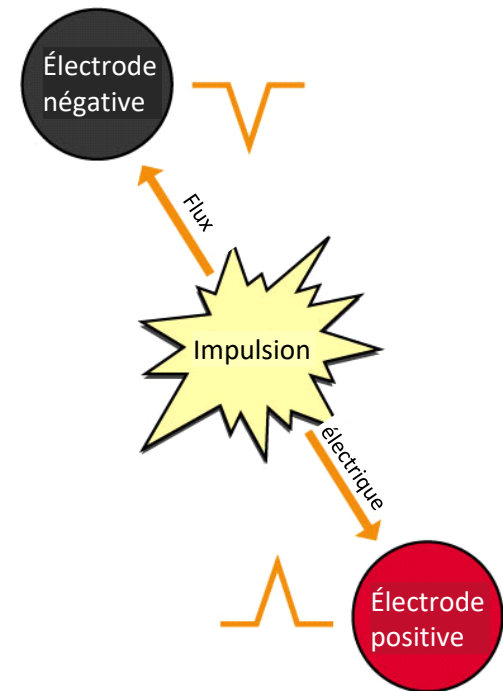
- Le courant électrique découle du mouvement des électrons entre les pôles
- Les électrons se déplacent du pôle **négatif** au pôle **positif**



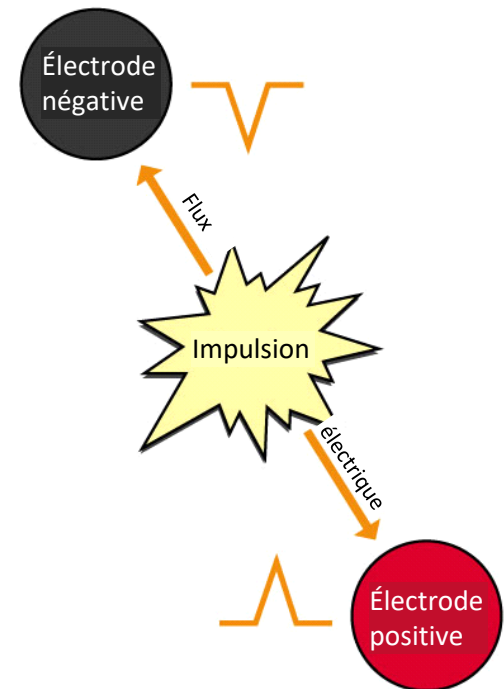
- Dans le cœur, le courant électrique (flux d'électrons) se propage vers le bas et vers la gauche du patient
- Les électrodes permettent de suivre ce mouvement



- Puisque normalement, les électrons circulent vers l'électrode négative, l'électrode positive peut servir de point d'observation
- Sur un ECG, une déflexion s'inscrira vers le haut ou vers le bas par rapport à la ligne horizontale, selon que les électrons vont en direction de l'électrode positive ou en sens contraire

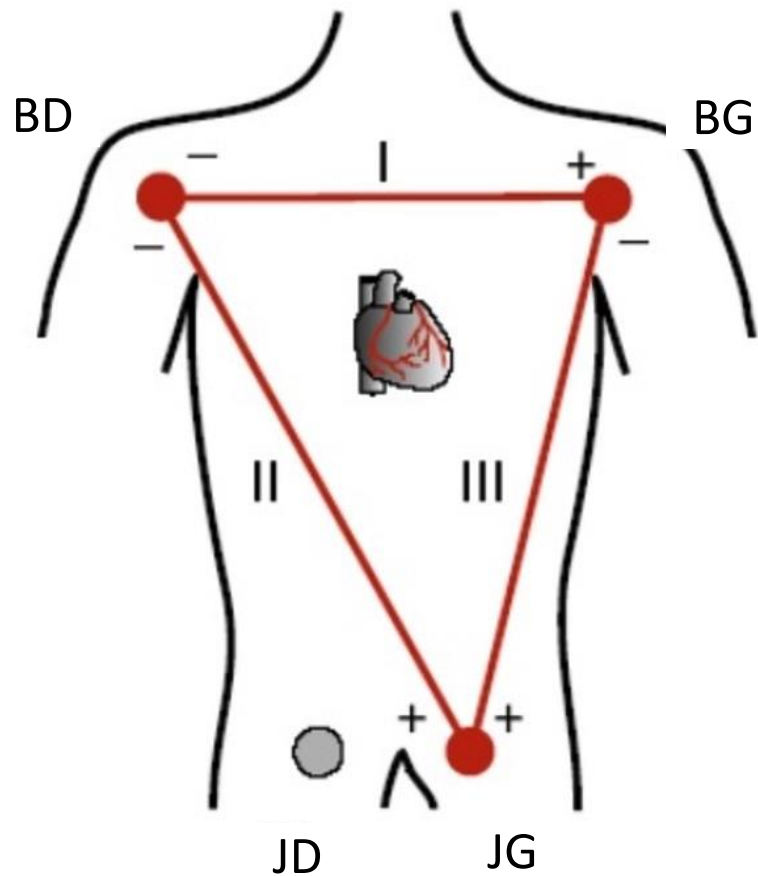


- Si les électrons **s'éloignent** de l'électrode **positive** = **déflexion négative**
- Si les électrons circulent **vers** l'électrode **positive** = **déflexion positive**



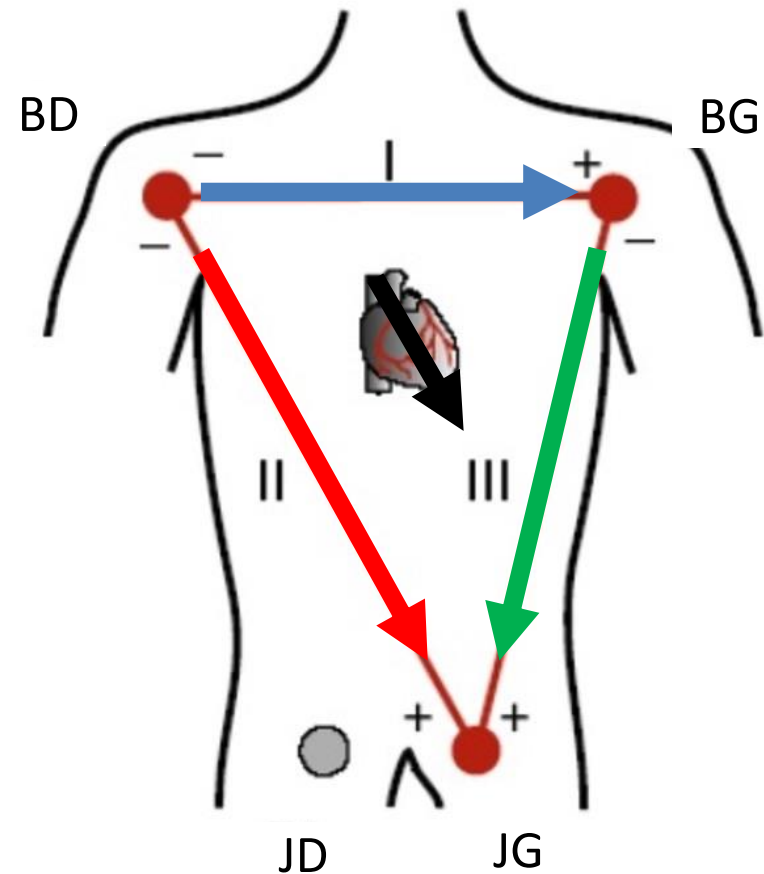


- Pour réaliser un ECG à 3 dérivations, on place des électrodes bipolaires sur le bras droit (BD), le bras gauche (BG) et la jambe gauche (JG), ce qui permet d'observer le courant électrique du cœur de différents points de vue

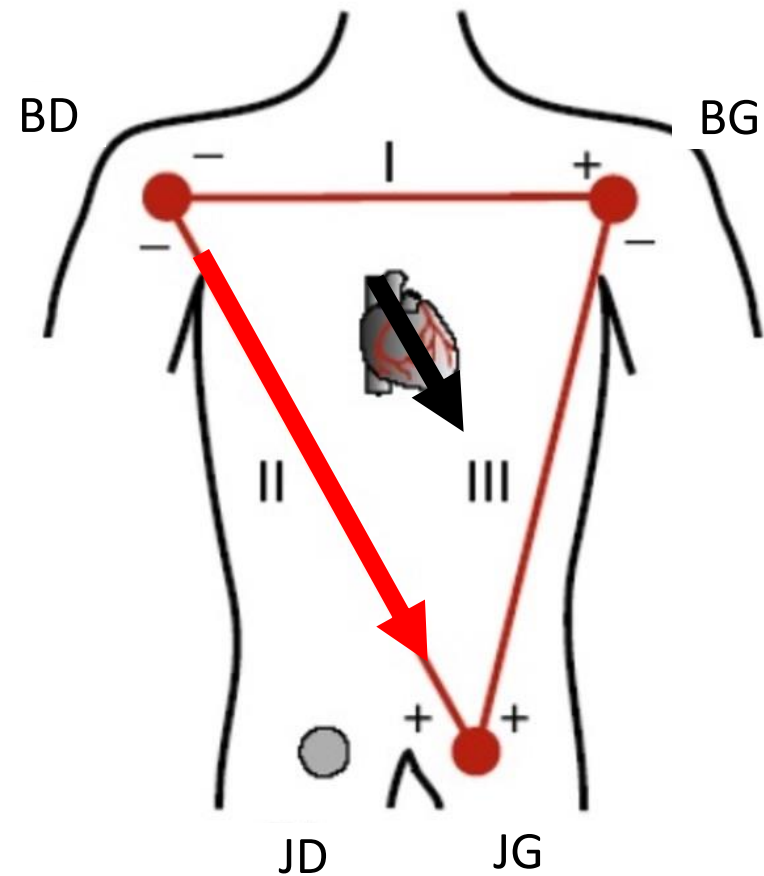


# Triangle d'Einthoven

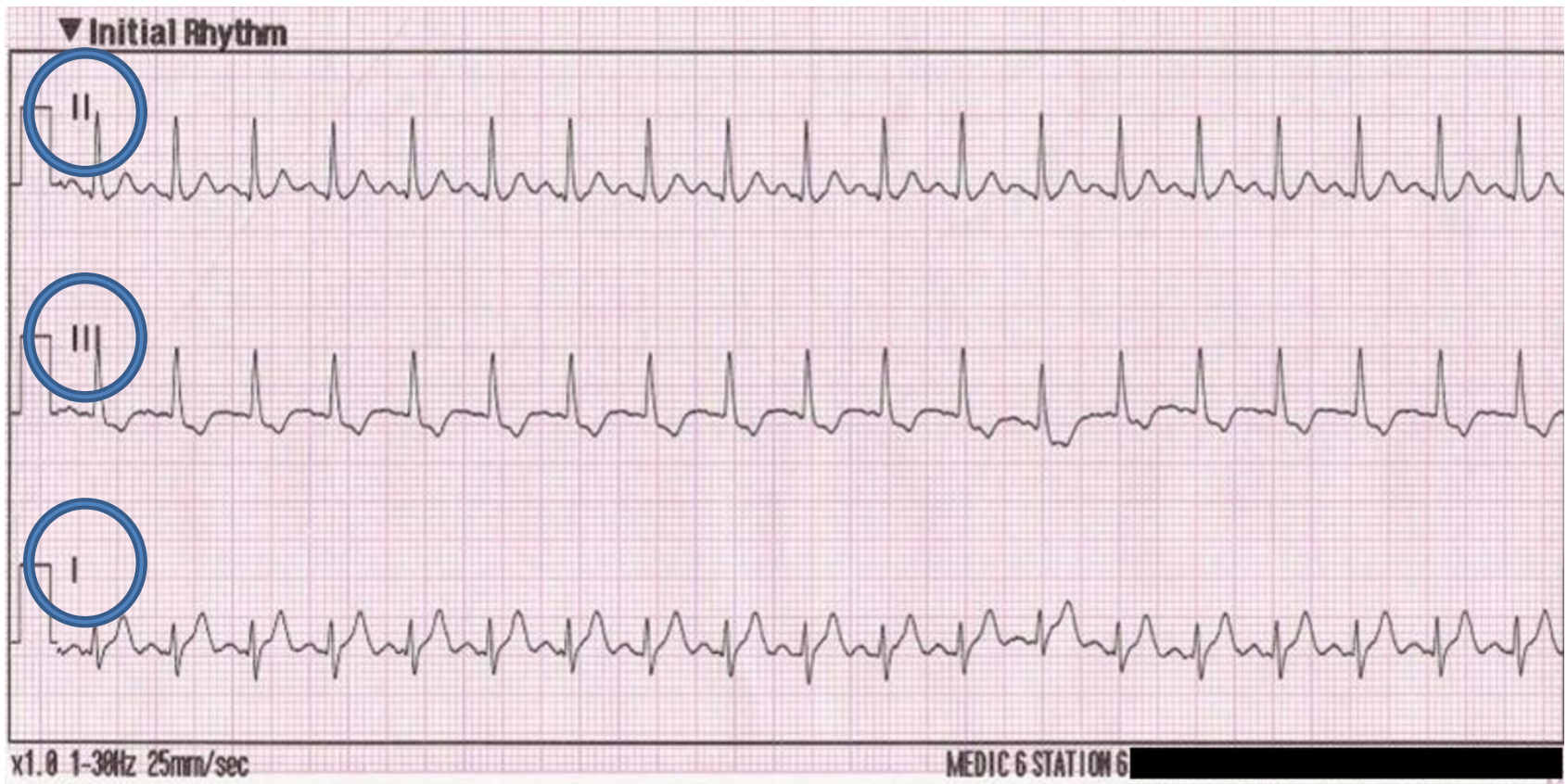
- Lorsque le BD porte une électrode négative et que le BG porte une électrode positive = **Dérivation I**
- Lorsque le BD porte une électrode négative et que la JG porte une électrode positive = **Dérivation II**
- Lorsque le BG porte une électrode négative et que la JG porte une électrode positive = **Dérivation III**



- La dérivation II est la principale dérivation utilisée pour l'interprétation du rythme, car la direction du flux s'y rapproche le plus de la direction du courant électrique normal du cœur

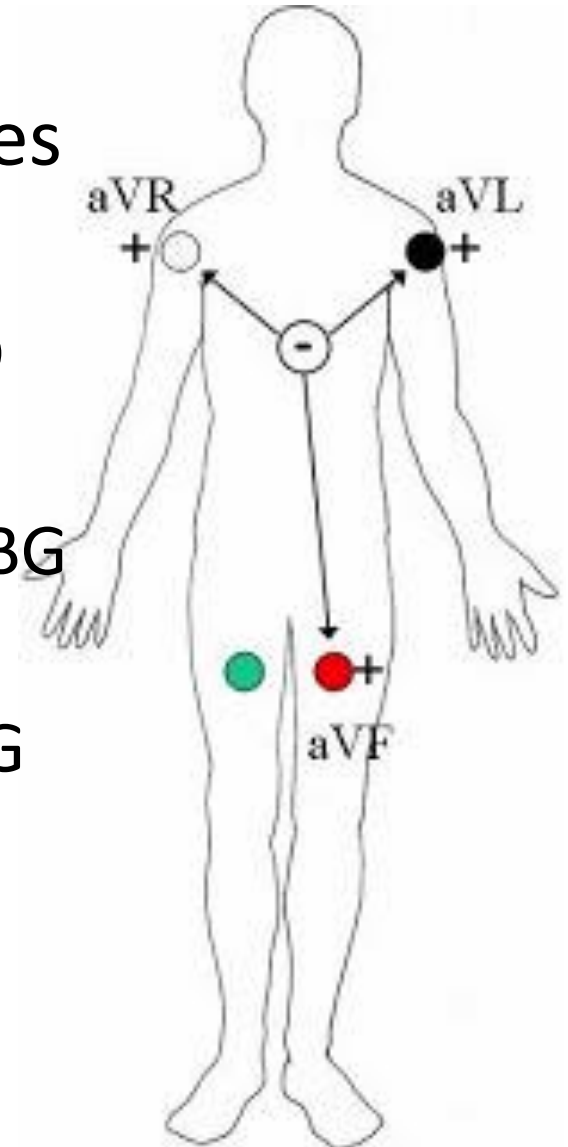


- ECG à 3 dérivations montrant l'activité électrique du cœur de 3 points de vue différents en même temps

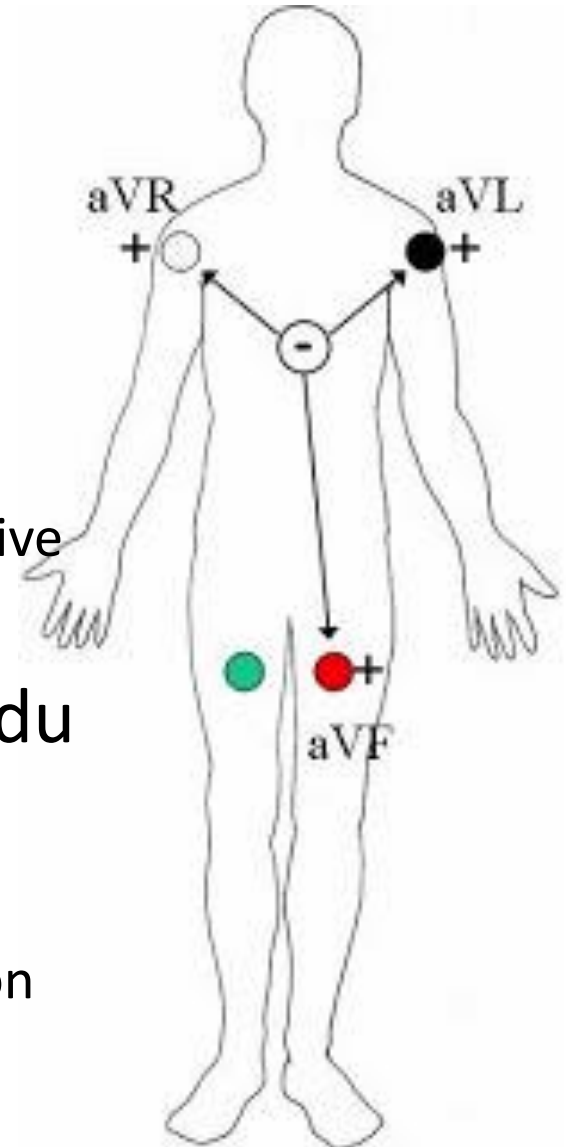


- En plus des trois dérivations des membres obtenues au moyen des électrodes bipolaires, l'électrocardiogramme peut créer trois autres dérivations à l'aide des mêmes électrodes
- L' électrocardiogramme peut utiliser le centre du cœur comme pôle négatif virtuel et chacune des électrodes bipolaires comme pôle positif
- Ces trois nouvelles dérivations sont désignées sous le terme **dérivations amplifiées**

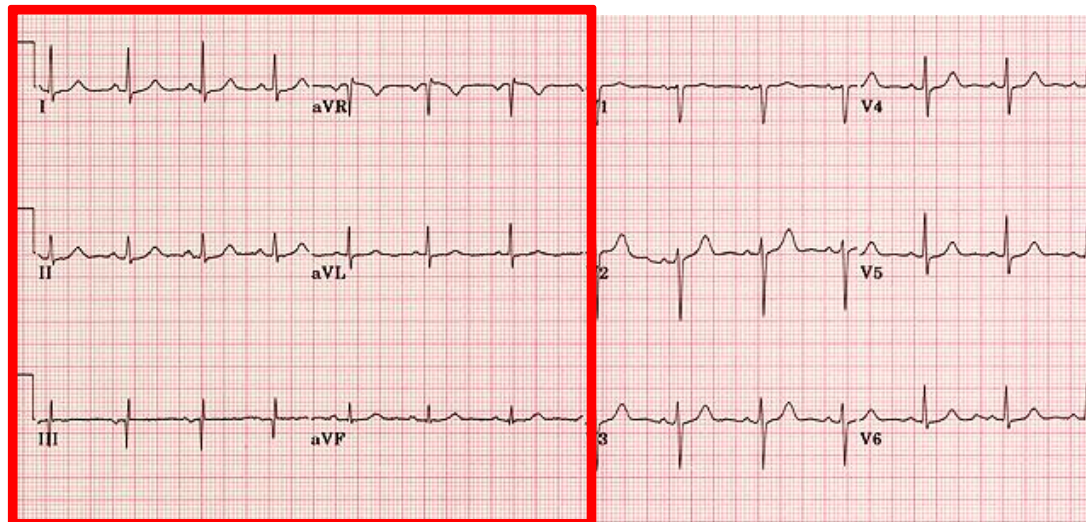
- Le nom des dérivations amplifiées est basé sur l'électrode positive
  - aVR = vecteur droit amplifié; le BD porte une électrode positive
  - aVL = vecteur gauche amplifié; le BG porte une électrode positive
  - aVF = vecteur jambe amplifié; la JG porte l'électrode positive



- Les tracés d'ECG produits par ces dérivations amplifiées suivent les mêmes principes que pour les dérivations des membres
  - Si le flux de courant circule vers l'électrode positive, l'ECG affichera une déflexion positive
- Par exemple, dans le cas de la dérivation aVR, le courant normal du cœur circule en sens contraire de l'électrode positive
  - Ainsi, la dérivation aVR inscrira une déflexion négative sur le tracé d'ECG



- Si on place les 3 électrodes des membres correctement, on peut obtenir 6 points de vue différents sur le courant électrique du cœur
  - Dérivations I, II et III, aVR, aVL, aVF
  - Ces dérivations représentent la moitié des 12 points de vue produits par un ECG à 12 dérivations





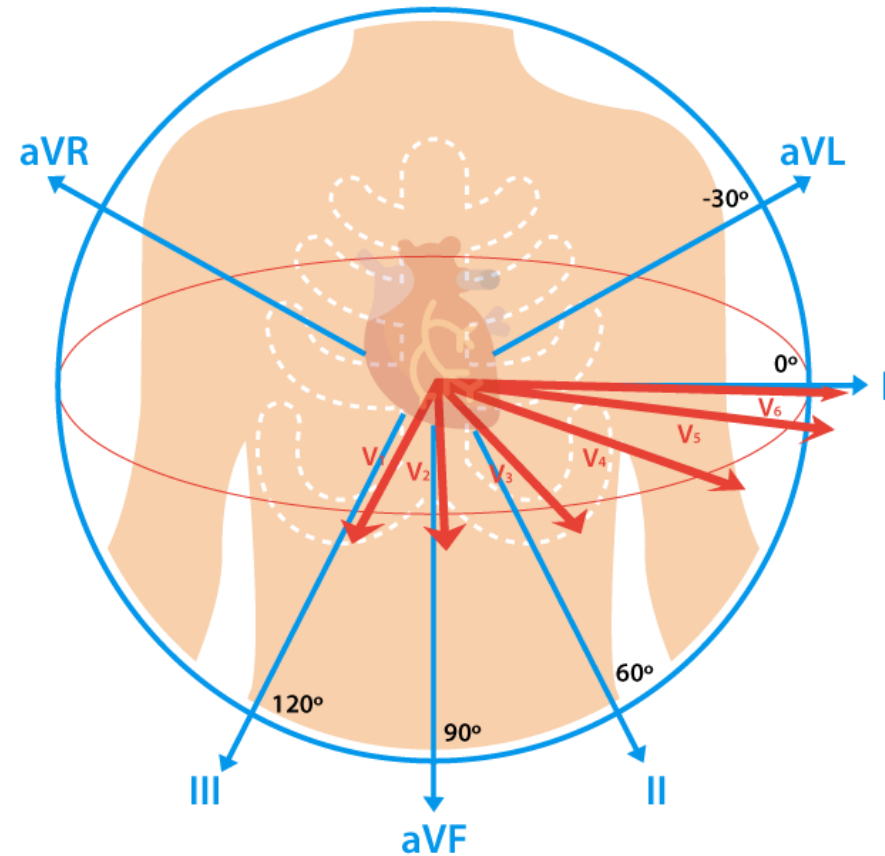
# Tracé d'ECG à 12 dérivations

- Pour obtenir les 6 derniers points de vue d'un ECG à 12 dérivations, on doit placer 6 autres électrodes sur le patient
- Ces 6 électrodes fournissent 6 dérivations additionnelles, les **dérivations précordiales**

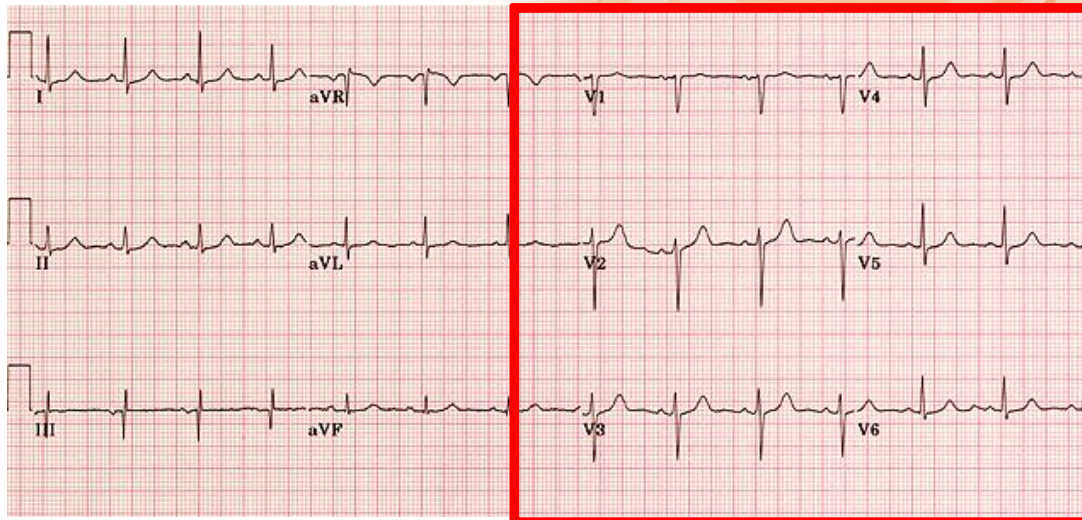


- Tout comme les dérivations amplifiées, les dérivations précordiales font appel au centre du cœur comme électrode négative et à chaque électrode précordiale comme électrode positive
- La différence tient au fait que les dérivations précordiales permettent de voir le cœur sous un autre angle que les dérivations des membres et les dérivations augmentées

- Les dérivations des membres et les dérivations amplifiées permettent d'étudier l'activité électrique du cœur sous un axe vertical (frontal)
- Les dérivations précordiales permettent d'étudier l'activité électrique du cœur sous un axe horizontal (transversal)



- Les dérivations précordiales (V1 – V6) produisent les 6 derniers points de vue d'un ECG à 12 dérivations



V1

V2

V3

V4

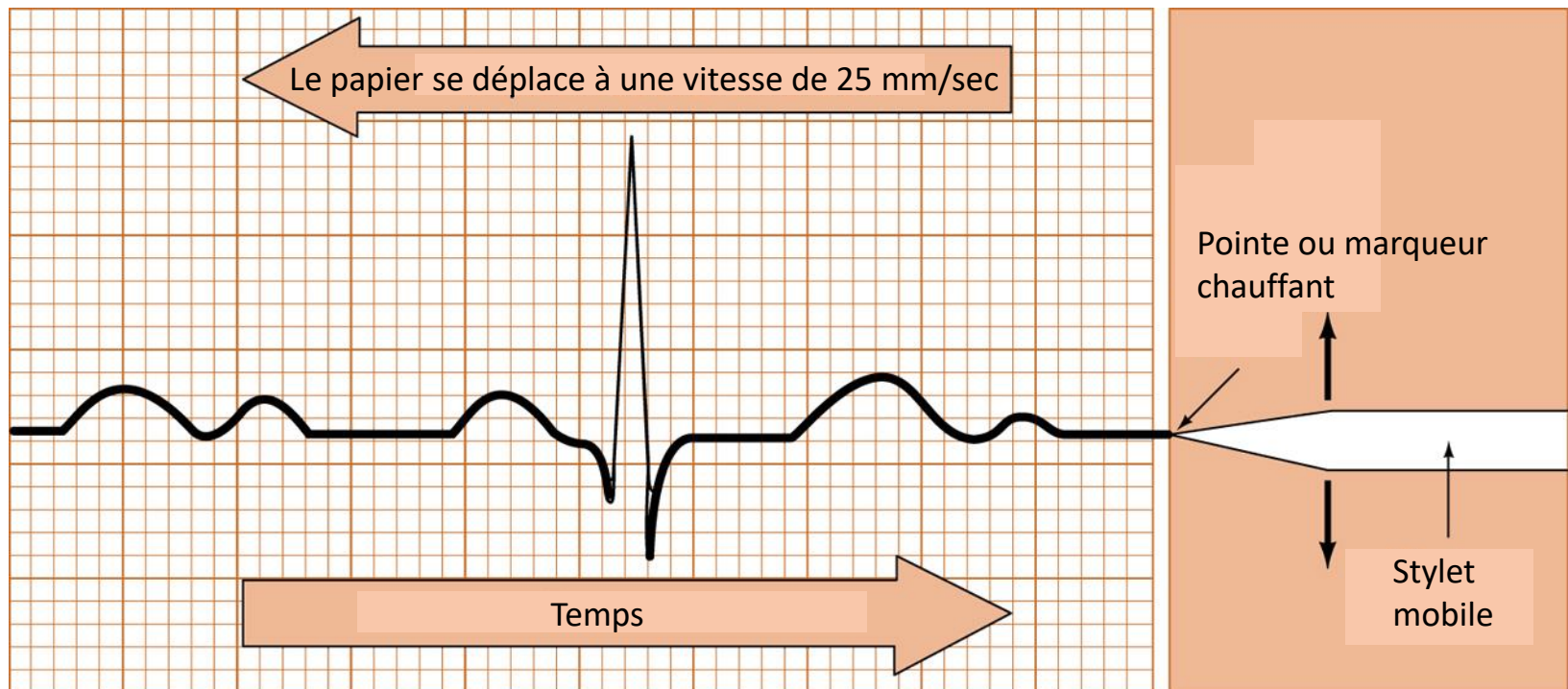
V5

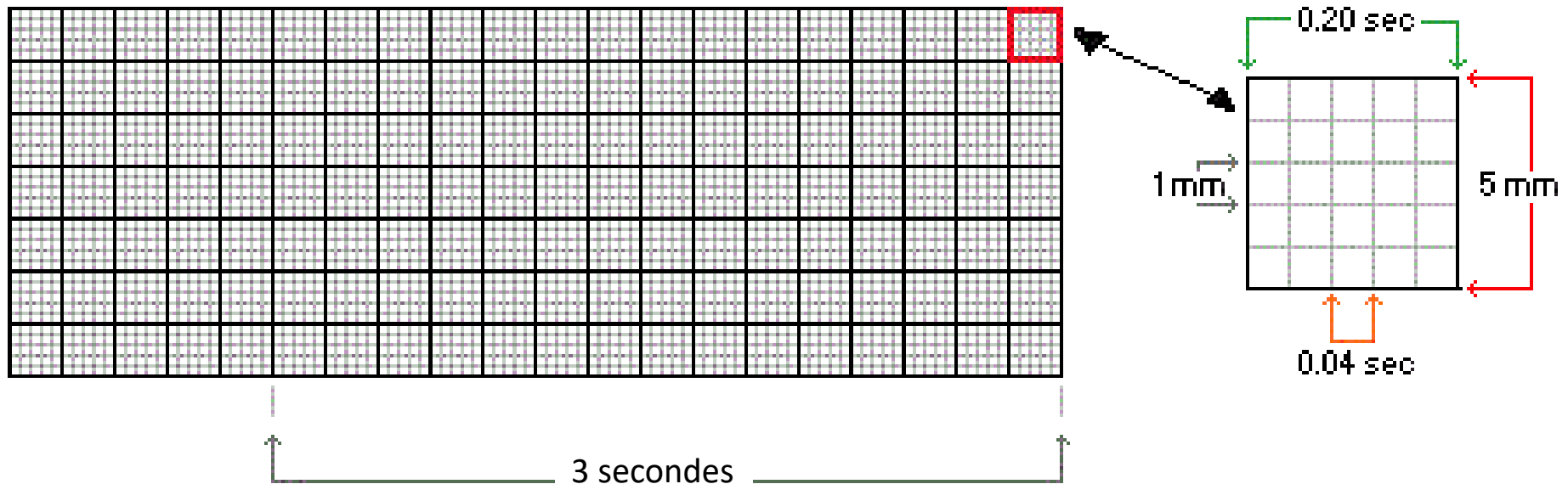
V6

Électrophysiologie cardiovasculaire

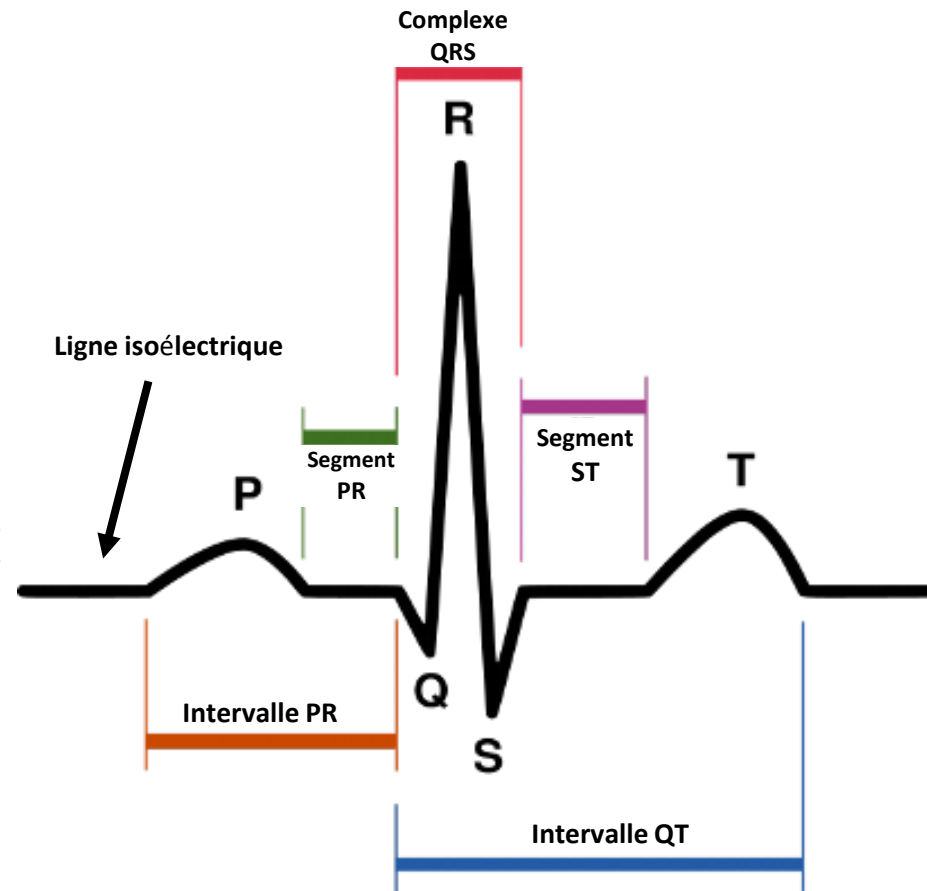
# **INTERPRÉTATION D'UN ECG À 3 DÉRIVATIONS**

- La vitesse et l'amplitude sont standardisées pour permettre une analyse comparative



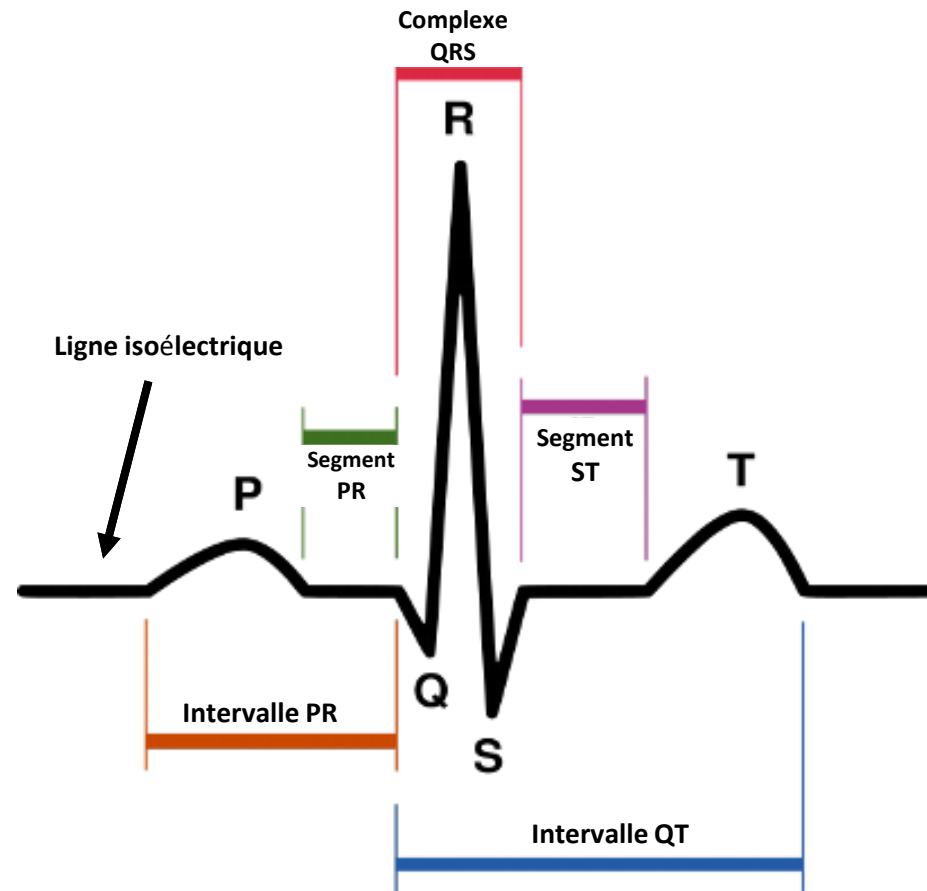


- Quand le courant électrique du cœur traverse le système de conduction, il dépolarise les cardiomyocytes
- Les déflexions positives et négatives apparaissant sur l'ECG représentent la dépolarisation et la repolarisation des différentes parties du cœur

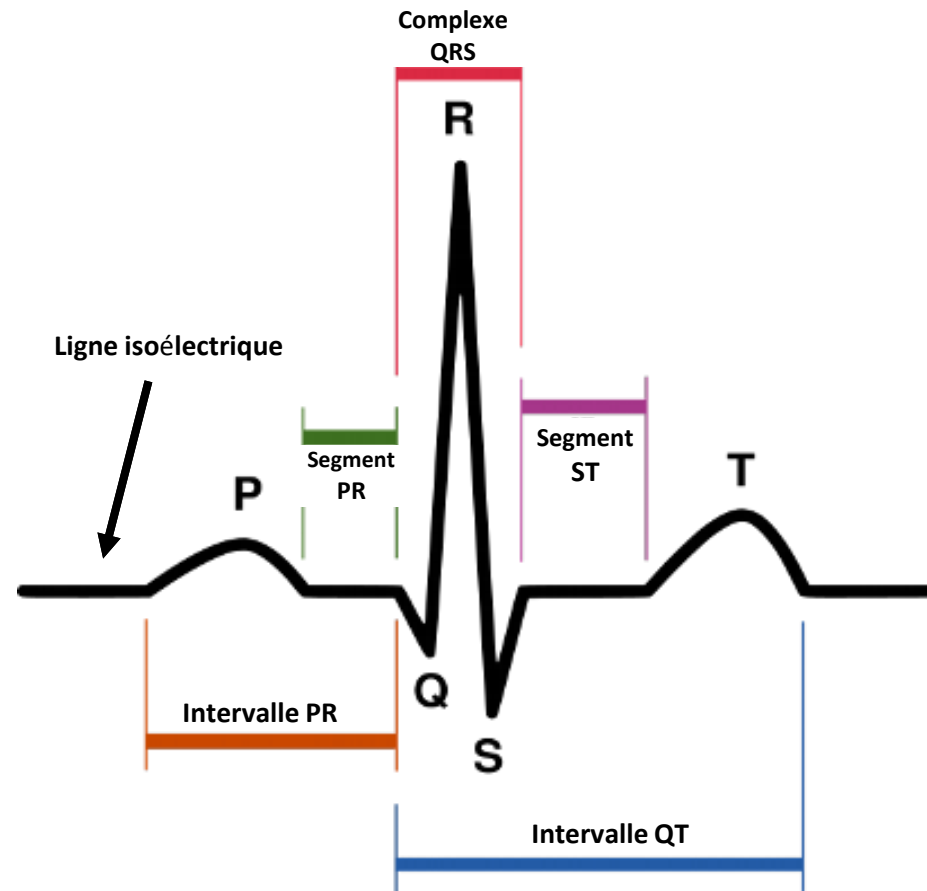




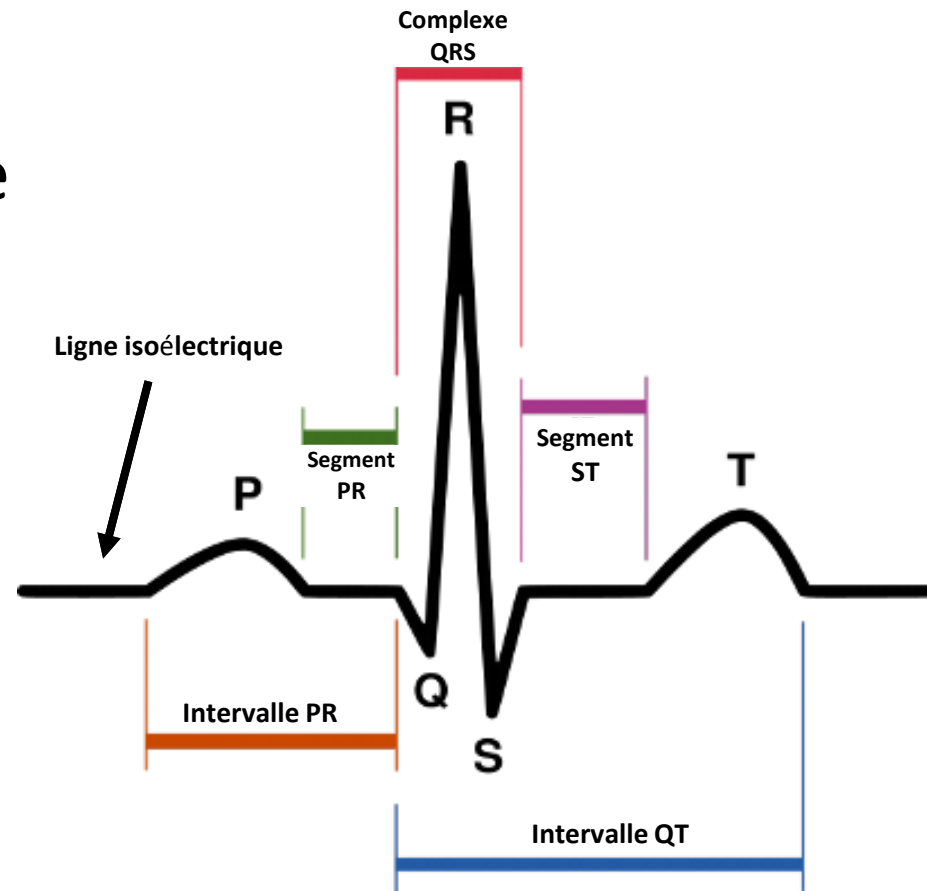
- La ligne de base du tracé est appelée **ligne isoélectrique**
- **Onde P** =  
dépolarisation auriculaire
- **Complexe QRS** =  
dépolarisation ventriculaire
- **Onde T** = repolarisation ventriculaire



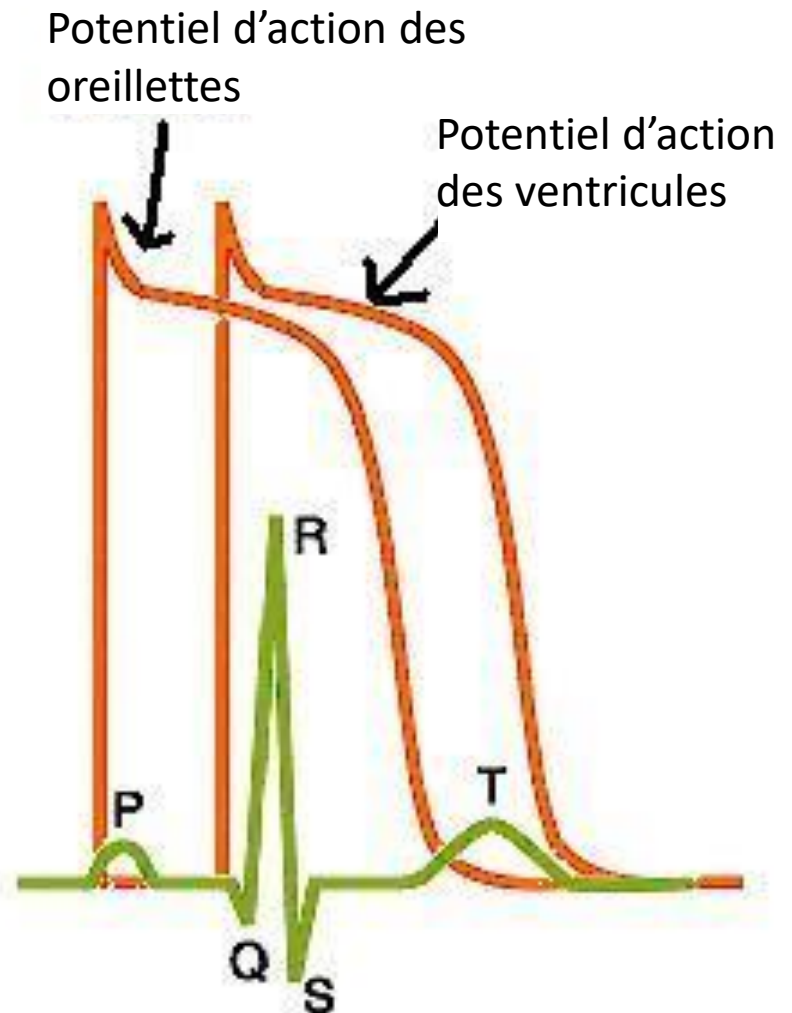
- **Intervalle PR** : représente le délai entre le début de la dépolarisation auriculaire et le début de la dépolarisation ventriculaire
- **Intervalle QT** : représente le délai entre le début de la dépolarisation ventriculaire et la fin de la repolarisation ventriculaire



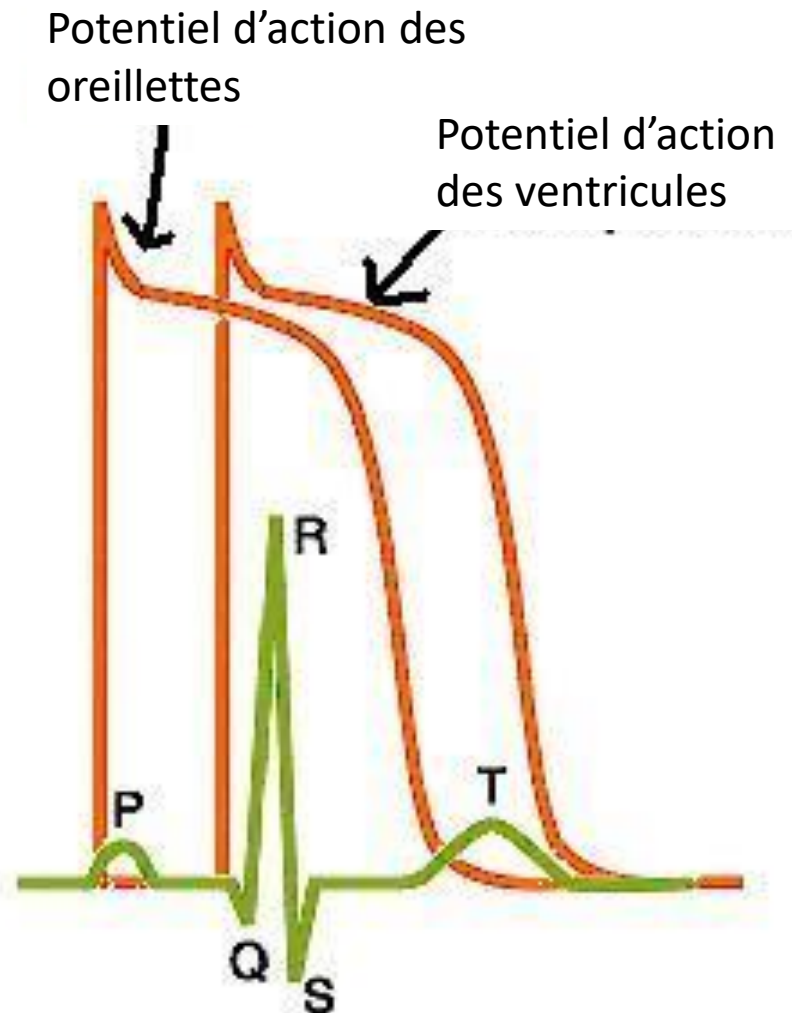
- **Segment PR** : représente le délai entre la fin de la dépolarisation auriculaire et le début de la dépolarisation ventriculaire
- **Segment ST** : représente le délai entre la fin de la dépolarisation ventriculaire et le début de la repolarisation ventriculaire



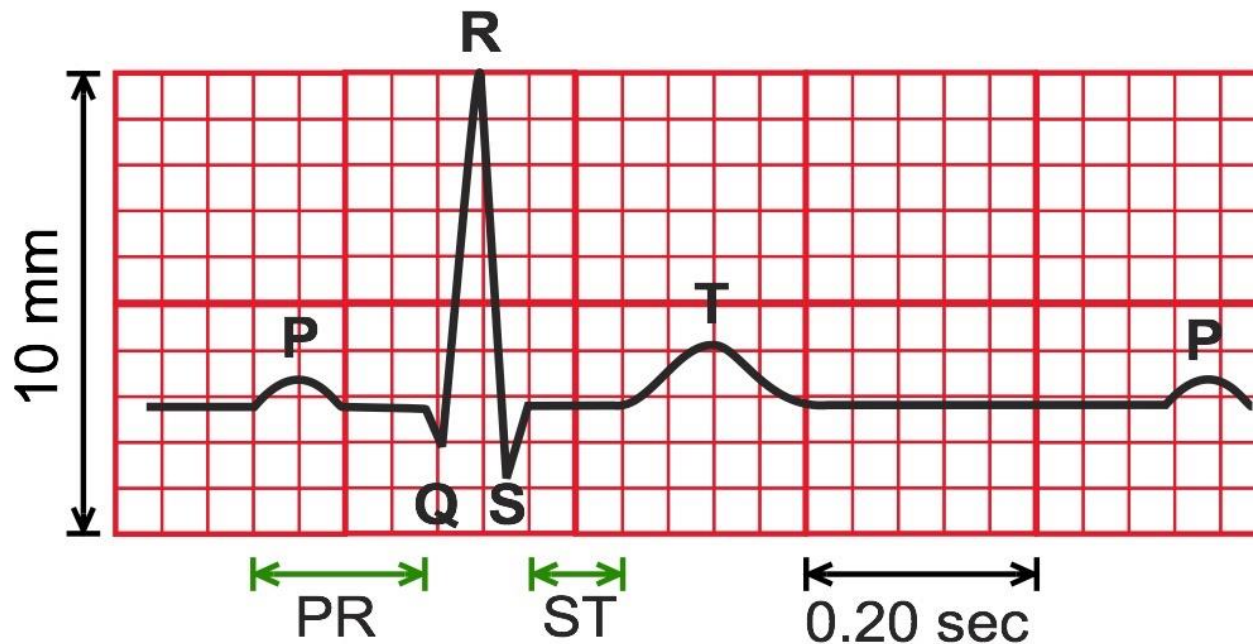
- Lorsqu'on superpose les graphiques des potentiels d'action, on voit que la phase 0 des oreillettes (dépolarisation) correspond au début de l'onde P
- La phase 0 des ventricules correspond au début du complexe QRS
- Remarque : la repolarisation auriculaire n'inscrit pas de déflexion sur le tracé d'ECG car le signal électrique qu'elle produit est de très faible amplitude

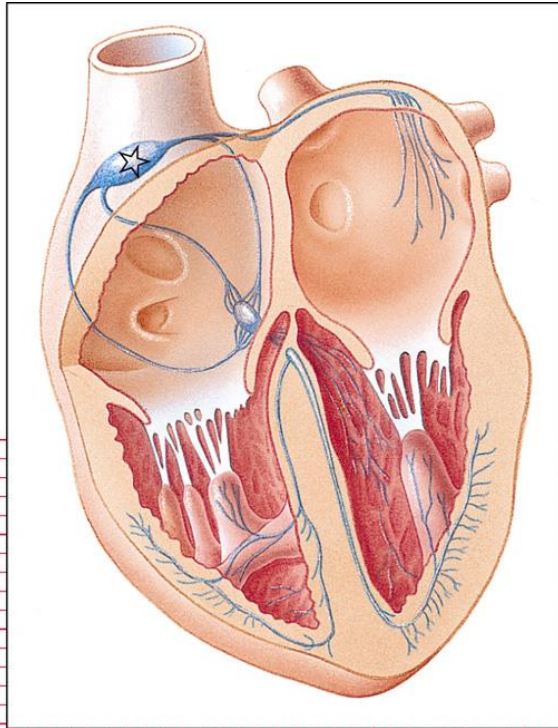


- La dépolarisation entraîne la contraction des cardiomyocytes
- Ainsi, la contraction des oreillettes survient tout juste après le début de l'onde P et la contraction des ventricules survient tout juste après le début du complexe QRS
- Le délai entre les deux permet aux ventricules de se remplir entièrement avant la contraction
  - Correspond au segment PR



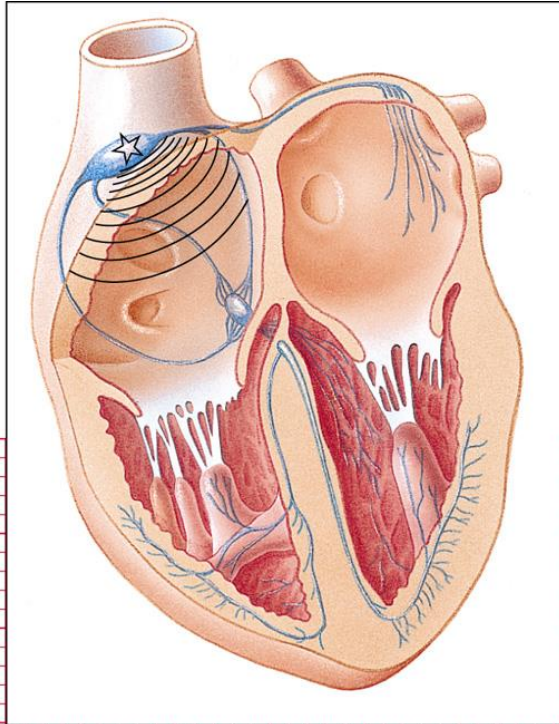
- Valeurs types pour un cœur normal :
  - Intervalle PR = 0,12-0,20 seconde (3-5 petits carrés)
  - Intervalle QRS = 0,04-0,12 seconde (1-3 petits carrés)





**Onde P (positive dans la dérivation II)**  
Impulsion amorcée par le nœud sinusal

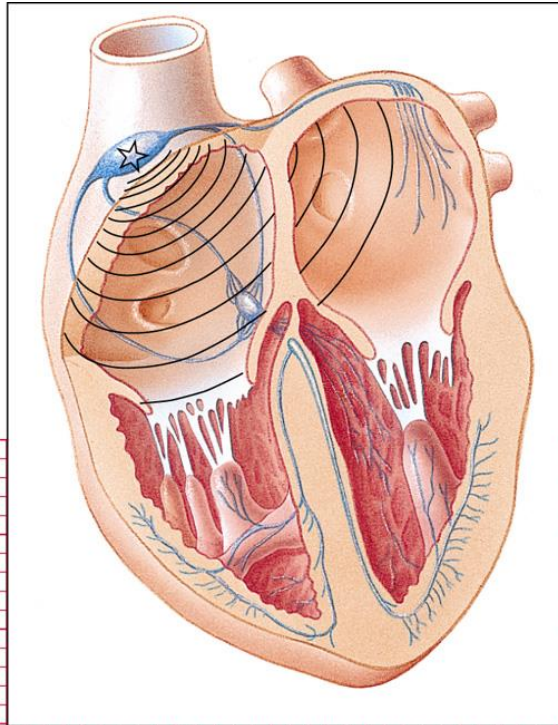




**Onde P**  
Début de l'excitation auriculaire

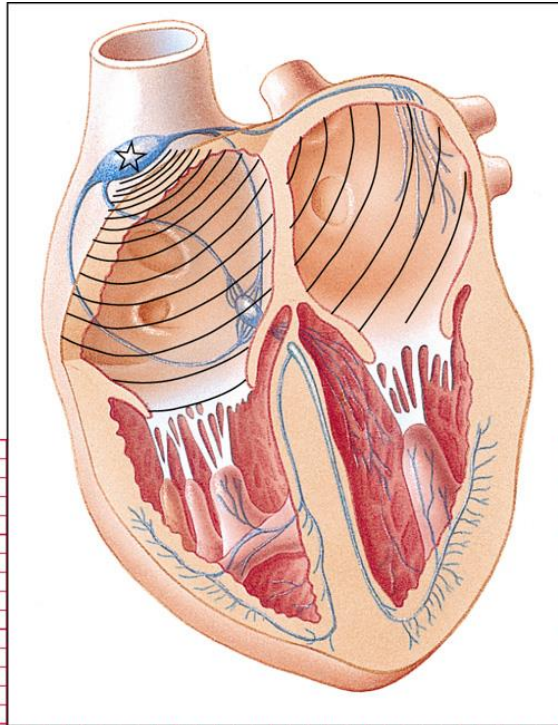






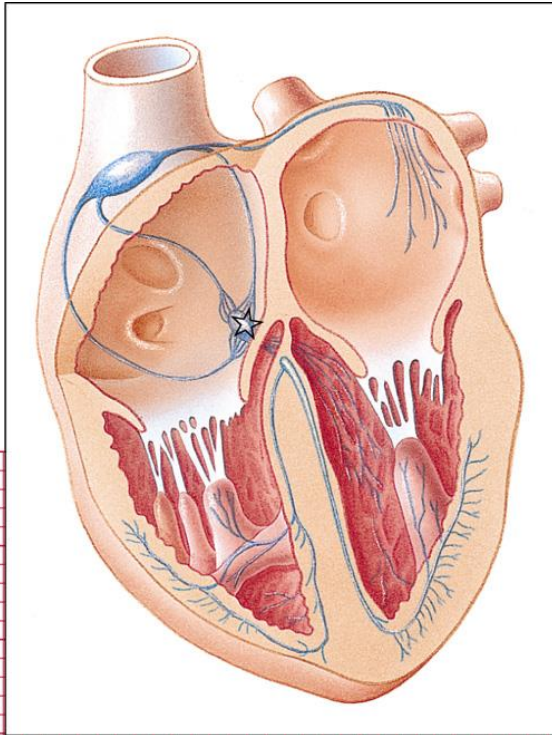
**Onde P**  
Excitation auriculaire





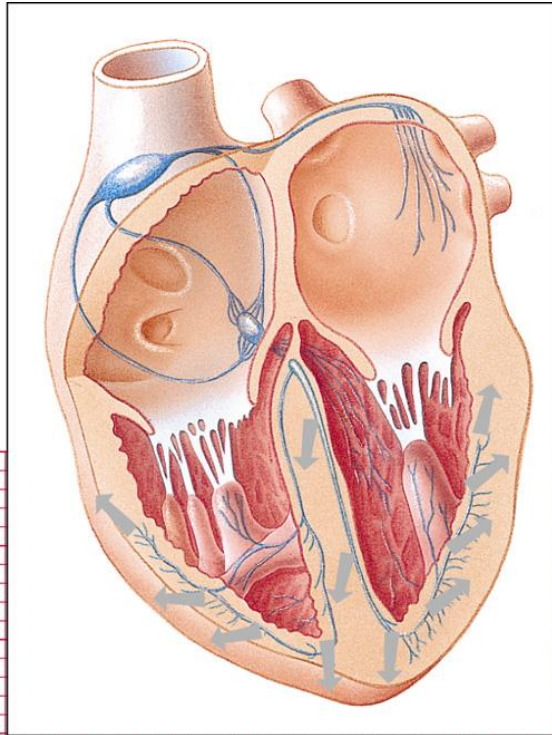
**Onde P**  
Fin de l'excitation auriculaire



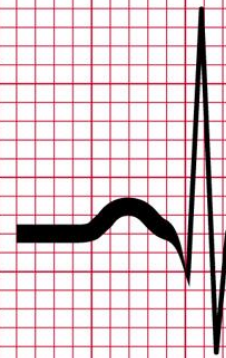


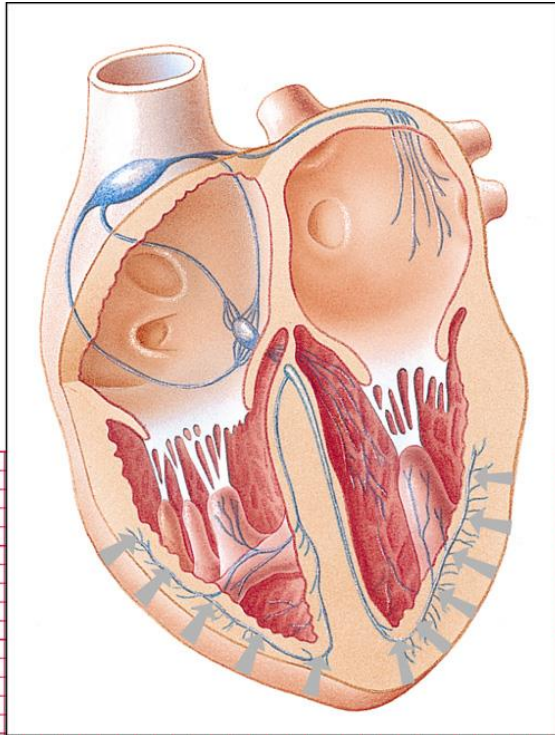
**Intervalle PR**  
Délai à la jonction auriculoventriculaire



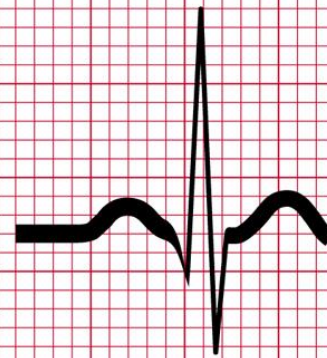


**Complexe QRS**  
Excitation électrique des ventricules





**Onde T**  
Repolarisation ventriculaire



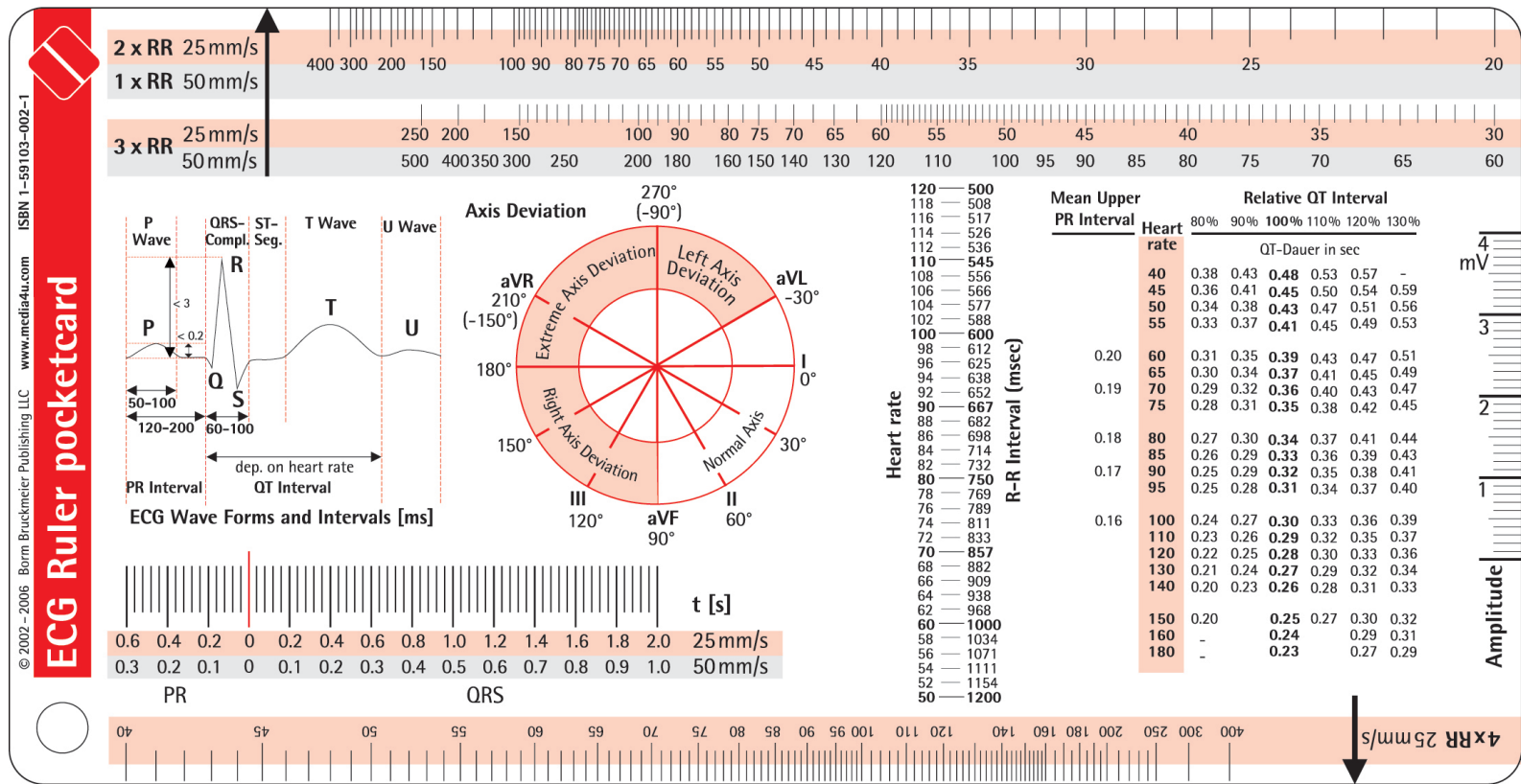
- L'ECG à 3 dérivations est principalement utilisé pour l'interprétation du rythme sous-jacent
- Pour interpréter efficacement les tracés, on doit suivre la même procédure à chaque fois :
  1. Analyser la fréquence
  2. Analyser le rythme
  3. Analyser l'onde P
  4. Analyser l'intervalle PR
  5. Analyser le complexe QRS

- L'ECG à 3 dérivations est principalement utilisé pour l'interprétation du rythme sous-jacent
- Pour interpréter efficacement les tracés, on doit suivre la même procédure à chaque fois :
  1. Analyser la fréquence
  2. Analyser le rythme
  3. Analyser l'onde P
  4. Analyser l'intervalle PR
  5. Analyser le complexe QRS

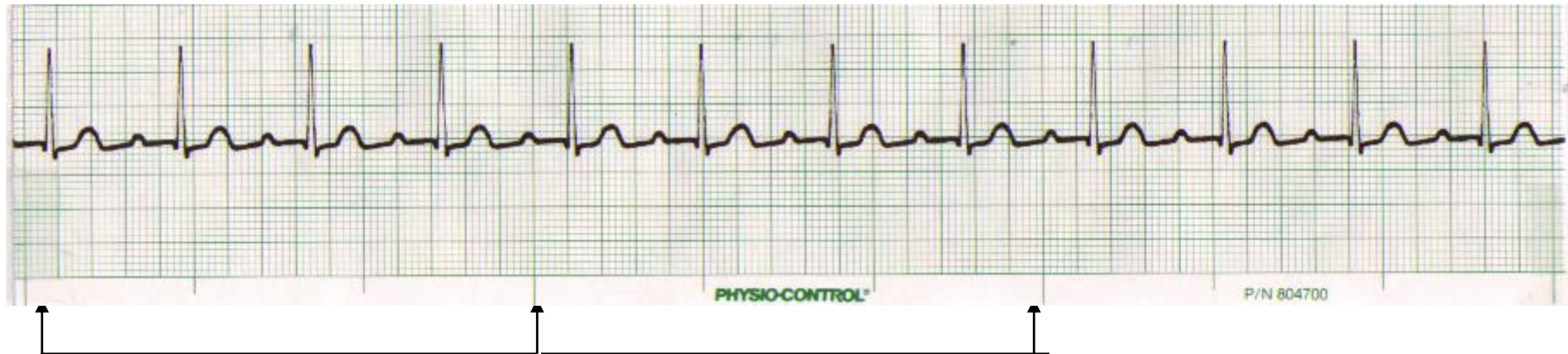
- À cette étape, il n'est pas nécessaire de déterminer la fréquence cardiaque exacte; on cherche plutôt une approximation
- Il existe diverses méthodes :
  - Règle à ECG
  - Méthode des six secondes
  - Intervalle RR
  - Méthode des 300



- Règle à ECG



- Méthode des six secondes
  - Compter le nombre de complexes QRS en six secondes et multiplier le résultat par 10
    - P. ex. : 8 complexes QRS en 6 secondes = FC d'environ 80 bpm
    - Fonctionne bien en cas de fréquence normale ou de bradycardie



Lignes de 3 secondes

- Méthode des six secondes
  - Si les marques de 3 secondes ne sont pas visibles, se rappeler que :
    - 5 grands carrés = 1 sec
    - 15 grands carrés = 3 sec

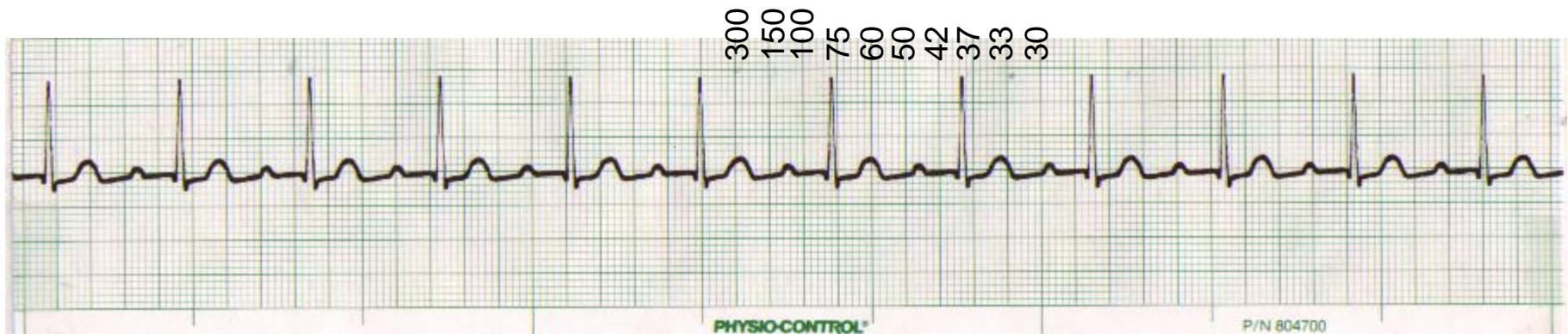


Lignes de 3 secondes

- Intervalle RR
  - Il ne fonctionne que si la fréquence est régulière
  - On le mesure de trois façons :
    - Diviser 60 par l'intervalle RR en secondes
      - $60/0,72 = 83$
    - Diviser 300 par le nombre de grands carrés dans l'intervalle RR
      - $300/4 = 75$
    - Diviser 1 500 par le nombre de petits carrés dans l'intervalle RR
      - $1500/19 = 79$



- Méthode des 300
  - Elle ne fonctionne que si la fréquence est régulière
  - Elle est plus efficace pour les fréquences accélérées
  - Exige de mémoriser les nombres ci-dessous



- Méthode des 300
  - Repérer la pointe du complexe QRS qui coïncide avec la ligne épaisse
  - Repérer le prochain segment QRS et déterminer la fréquence qui y correspond

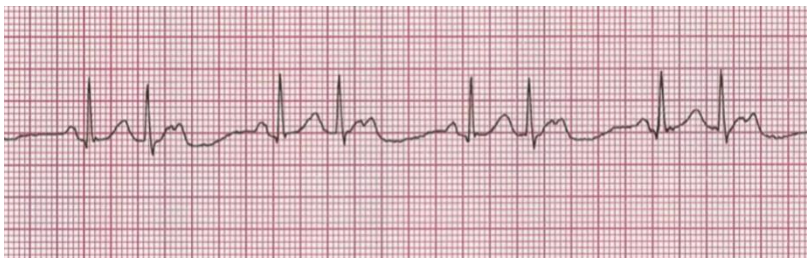


- L'ECG à 3 dérivations est principalement utilisé pour l'interprétation du rythme sous-jacent
- Pour interpréter efficacement les tracés, on doit suivre la même procédure à chaque fois :
  1. Analyser la fréquence
  2. Analyser le rythme
  3. Analyser l'onde P
  4. Analyser l'intervalle PR
  5. Analyser le complexe QRS

- Analyser le rythme
  - Déterminer la régularité du rythme



Régulier



Régulièrement irrégulier

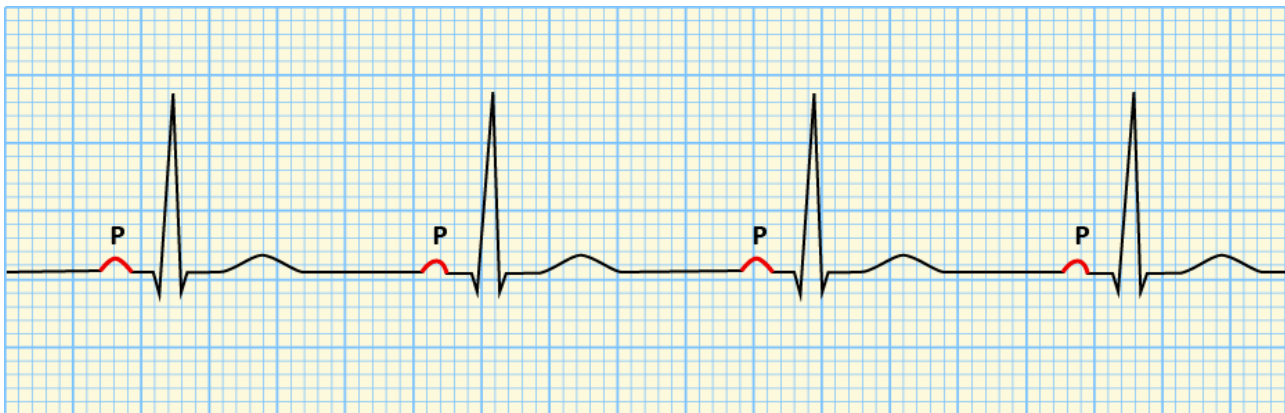


Irrégulièrement irrégulier



- L'ECG à 3 dérivations est principalement utilisé pour l'interprétation du rythme sous-jacent
- Pour interpréter efficacement les tracés, on doit suivre la même procédure à chaque fois :
  1. Analyser la fréquence
  2. Analyser le rythme
  3. Analyser l'onde P
  4. Analyser l'intervalle PR
  5. Analyser le complexe QRS

- Analyser les ondes P
  - Sont-elles présentes?
  - Sont-elles régulières?
  - Y en a-t-il une pour chaque complexe QRS?
  - Sont-elles positives ou négatives?
  - Se ressemblent-elles toutes?



- Que signifie l'absence d'ondes P?
  - Aucune dépolarisation auriculaire
- Que signifie la présence de plus d'une onde P pour chaque complexe QRS?
  - Bloque AV possible?
- Que signifie la présence d'une onde P inversée?
  - Mouvement électrique rétrograde possible découlant d'un rythme jonctionnel?
- Que signifie la présence d'ondes P de différentes apparences?
  - Dépolarisation dans différentes zones des oreillettes = multiples foyers auriculaires

- L'ECG à 3 dérivations est principalement utilisé pour l'interprétation du rythme sous-jacent
- Pour interpréter efficacement les tracés, on doit suivre la même procédure à chaque fois :
  1. Analyser la fréquence
  2. Analyser le rythme
  3. Analyser l'onde P
  4. Analyser l'intervalle PR
  5. Analyser le complexe QRS

- Qu'est-ce que l'intervalle PR?
  - Valeur normale : 0,12-0,20 seconde (3-5 petits carrés)
- Que signifie un intervalle PR plus court que la normale?
  - Pause plus courte entre la dépolarisation auriculaire et la dépolarisation ventriculaire
    - Observation possible en cas de syndrome de Wolff-Parkinson-White
- Que signifie un intervalle PR plus long que la normale?
  - Pause plus longue entre la dépolarisation auriculaire et la dépolarisation ventriculaire
    - Observation possible en cas de bloc AV

- L'ECG à 3 dérivations est principalement utilisé pour l'interprétation du rythme sous-jacent
- Pour interpréter efficacement les tracés, on doit suivre la même procédure à chaque fois :
  1. Analyser la fréquence
  2. Analyser le rythme
  3. Analyser l'onde P
  4. Analyser l'intervalle PR
  5. Analyser le complexe QRS

- Quelle est la largeur du complexe QRS?
  - Valeur normale : 0,04-0,12 seconde (1-3 petits carrés)
- Que signifie un complexe QRS plus étroit que la normale?
  - La dépolarisation ventriculaire survient plus rapidement que la normale
    - Peu fréquent
- Que signifie un complexe QRS plus large que la normale?
  - La dépolarisation ventriculaire survient plus lentement que la normale ou la dépolarisation des ventricules droit et gauche ne se produit pas au même moment
    - Observation possible en cas de rythme ventriculaire
    - Peut signaler un bloc de branche

- Quand le système de conduction cardiaque fonctionne normalement, la fréquence est imposée par le nœud sinusal
  - Cette région établit une fréquence cardiaque intrinsèque normale de 60 à 100 bpm
- Les autres parties du système de conduction sont inhibées et ne peuvent pas battre selon leur propre fréquence intrinsèque (qui est plus lente)
  - Ce phénomène correspond à la hiérarchie de l'automatisme cardiaque (*overdrive suppression*)



- Centres rythmogènes du cœur et leurs fréquences intrinsèques :
  - Nœud sinusal (oreillettes) : 60-100 bpm
  - Nœud AV (jonction) : 40-60 bpm
  - Réseau de Purkinje (ventricules) : 20-40 bpm
- Quand le nœud sinusal fonctionne correctement, il impose sa fréquence à la jonction et aux ventricules
  - Si le nœud sinusal est défaillant, la jonction prend le relais selon sa propre fréquence intrinsèque