

INTRODUCTION

Le cœur est un **muscle doué d'automatisme**. Sa **contraction** est **rythmique**. Le cycle cardiaque est composé de la **systole** (=contraction) et de la **diastole** (=relaxation). **Toutes les fibres musculaires se contractent** à chaque cycle. Ces propriétés découlent de la **nature du tissu cardiaque**, elles sont intrinsèques au cœur (transplantation possible). Les cardiomyocytes sont jointifs et communiquent par l'intermédiaire de gap junctions présents au niveau des **disques intercalaires**.

A - PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DES CELLULES CARDIAQUES

1. Cellules nodales

- **Cellules pace maker** : elles sont capables de **générer un rythme** → **dépolarisation spontanée**.
- **Cellules excitables** : Déclenchement d'un **potentiel d'action** lorsque le potentiel de membrane atteint une **valeur seuil**.

Ouverture spontanée des canaux → **dépolarisation spontanée lente** → **atteinte du potentiel seuil** → **PA**

Les propriétés des cellules nodales

- **Première propriété** : La cellule nodale possède un **rythme** et une **fréquence**.

Le rythme : succession de modifications électriques produites par l'ouverture spontanée des canaux ioniques.

La fréquence : nombre de modifications électriques identiques par unité de temps.

- **Deuxième propriété** : La **vitesse de propagation** du potentiel d'action dans le tissu nodal est **variable**.

En fonction de la zone de tissu nodal qui va être le siège de ce potentiel, la **vitesse de conduction** va varier :

- **Rapide** dans les **oreillettes** et les **ventricules** : 2 à 3 fois plus rapide que la durée du potentiel d'action du cardiomyocyte → l'ensemble des cardiomyocytes se dépolarisent à chaque PA provenant du tissu nodal.

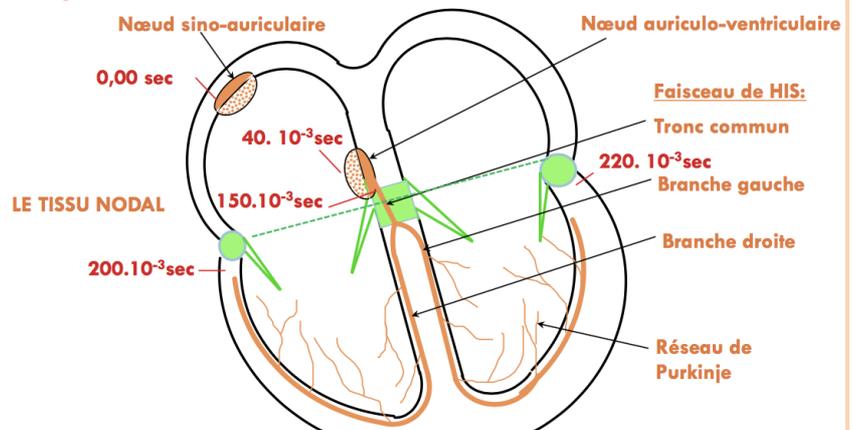
*Durée du PA du cardiomyocyte = 150 ms
Durée de la conduction dans les oreillettes = 40 ms
Durée de la conduction dans les ventricules = 50 à 60 ms*

- **Lente** dans le **nœud auriculo-ventriculaire** : les oreillettes se dépolarisent avant les ventricules.

- **Troisième propriété** : la **fréquence de la dépolarisation spontanée** du tissu nodal est **variable**.

La fréquence **la plus rapide** est celle du **nœud sino-auriculaire** (c'est pour ça que l'influx part de ce nœud), elle est d'environ 80 dépolarisation par minute. (nœud atrio-ventriculaire → 50/min et réseau de Purkinje → 20/min).

Dans une situation où le tissu nodal est **interrompu**, par exemple en cas d'infarctus, **l'automatisme cardiaque** est assuré par les **cellules nodales situées en aval** à une **fréquence inférieure**.

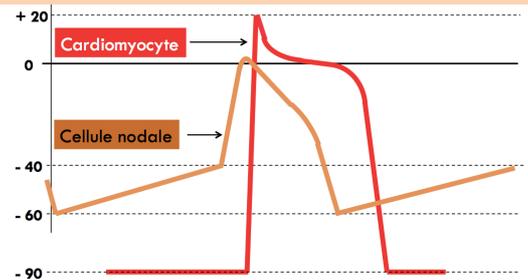


2. Cardiomyocytes

Propriétés des cardiomyocytes

- **Première propriété :** Le cardiomyocyte est une **cellule excitable**. Elle a la propriété de pouvoir se dépolariser rapidement sous une impulsion extérieure.

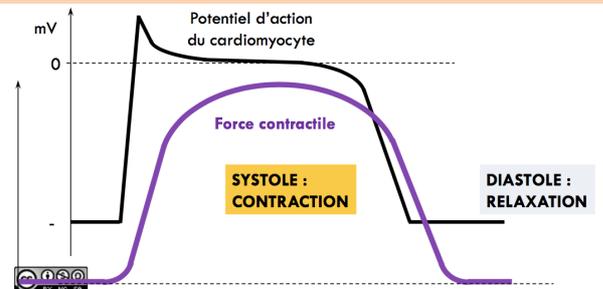
Le **PA** généré par la dépolarisation spontanée des **cellules nodales** est **transmis** aux **cardiomyocytes** = **couplage électrique**.



- **Deuxième propriété :** Le cardiomyocyte est une **cellule contractile**. Le potentiel d'action entraîne la **contraction** et la **relaxation** du cardiomyocyte.

La **force contractile** du cardiomyocyte se développe **pendant le PA**. C'est la **systole ventriculaire**.

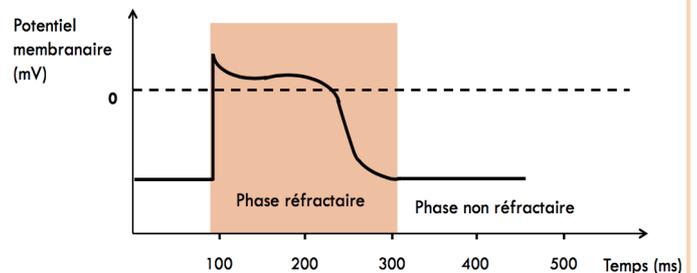
→ **L'activité électrique précède l'activité contractile.**



- **Troisième propriété :** le cardiomyocyte est une **cellule réfractaire**.

Pendant la durée de son PA la cellule est **réfractaire au déclenchement d'un nouveau PA**.

Le cardiomyocyte se **relaxe obligatoirement**, il n'y a pas de **propagation en sens inverse** et la contraction permanente et soutenue du myocarde est impossible (**pas de téτανisation**).



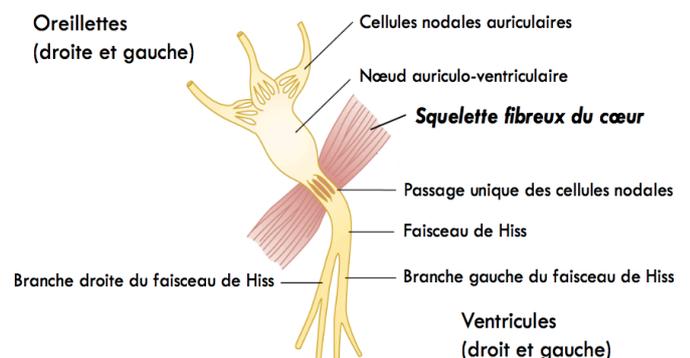
- **Quatrième propriété :** Le cardiomyocyte est une **cellule conductrice**. Les **gap junctions** assurent un **couplage électrique entre les cardiomyocytes**. Les cardiomyocytes fonctionnent comme un **syncytium**, comme un réseau de cellules connectées entre elles.

Gap junction (jonctions ouvertes) = **canal transmembranaire non sélectif**

Fibrillation auriculaire/ventriculaire : déclenchement des **PA** par le tissu nodal de manière **anarchique** → contraction des cardiomyocytes de manière anarchique → **absence de contraction simultanée** → **inefficacité mécanique** → **mécanismes hémodynamiques contrariés**.

Squelette fibreux du cœur = Tissu fibreux (étanche) séparant les cardiomyocytes des oreillettes de ceux des ventricules. Il a :

- ✓ Un **rôle mécanique** : **insertion des valves cardiaques** et **des cardiomyocytes**
- ✓ Un **rôle électrique** : **rôle d'isolant électrique**
→ Le PA des cellules auriculaires ne parvient aux cellules ventriculaires **que par le tissu nodal**.
→ **Absence de continuité** entre les cardiomyocytes auriculaires et ventriculaires (pas de gap-jonctions).



Le **débit** est **identique** dans le **cœur droit** et le **cœur gauche** : la contraction simultanée des oreillettes puis des ventricules assure le couplage entre la circulation pulmonaire et la circulation générale.

$$Q = \text{fréquence cardiaque} \times \text{volume d'éjection}$$

La **systole auriculaire précède la systole ventriculaire** : le **remplissage ventriculaire** se fait sous **pression** (systole auriculaire), le **volume d'éjection** ventriculaire est ainsi **maximal**.

3. Canaux ioniques

Les **différentes phases du PA** du cardiomyocyte et de la cellule nodale sont **déterminées par des courants ioniques**. Ces courants sont produits par **l'ouverture de canaux** placés sur la **membrane plasmique**. Ce sont des **cibles** pour le **système nerveux autonome** (pour la régulation notamment) et pour les **médicaments**. Ils sont **très nombreux**, plusieurs sont **ouverts en même temps** → seul les principaux canaux seront étudiés.

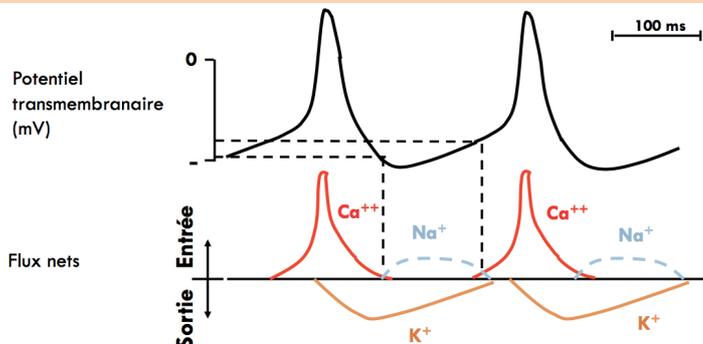
Courants ioniques de la cellule nodale

Dépolarisation lente/spontanée : **courant**

potassique sortant (hyperpolarisant) diminue avec le temps + **courant sodique entrant** (dépolarisant) → **courant sodique > courant potassique**.

Dépolarisation rapide : lorsque le **potentiel seuil** est atteint les **canaux calciques voltage-dépendants s'ouvrent** brusquement (entrée Ca^{2+})

Repolarisation : Lorsque le potentiel électrique atteint sa valeur maximale, les **canaux calciques voltages dépendants se ferment** et les **canaux potassiques s'ouvrent**.

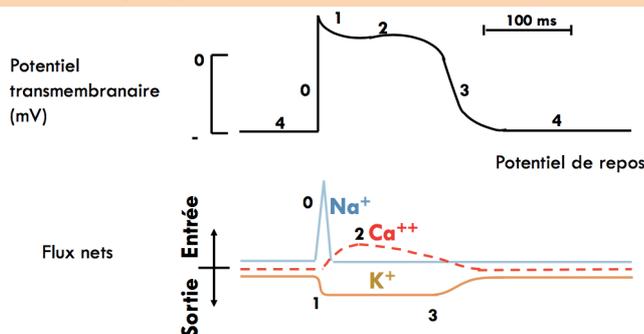


Courants ioniques du cardiomyocyte

Dépolarisation (Phase 0) : PA est déclenché chez le cardiomyocyte → ouverture des **canaux sodiques voltage-dépendants** (comme dans l'axone).

Repolarisation :

- ✓ **Phase 1** → Lorsque le potentiel de membrane devient positif, les **canaux sodiques se ferment** et les **canaux potassiques voltages dépendants s'ouvrent**.
- ✓ **Phase 2** → Puis, rapidement les **canaux calciques s'ouvrent** et sont **responsables de cette phase de plateau**, le potentiel de membrane ne varie pas.
- ✓ **Phase 3** Enfin, ces **canaux calciques se ferment** et, à ce moment là les **canaux potassiques** qui sont **restés ouverts** permettent de restaurer l'électronégativité de la face cytoplasmique.



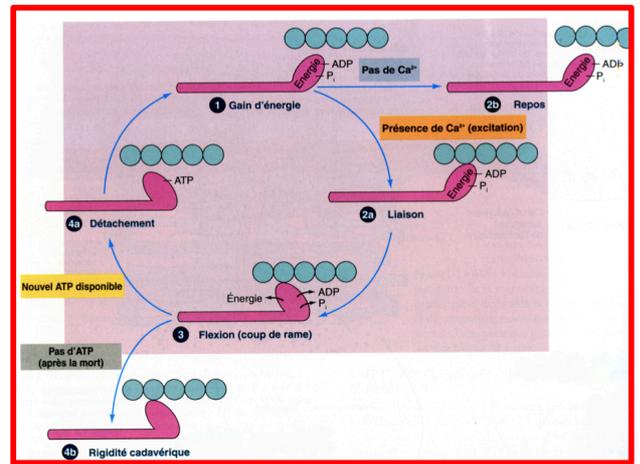
Retour au **potentiel de repos** → phase 4

| | Cellule nodale | Cardiomyocyte |
|---|--|---|
| CANAUX SODIQUES (Na^+) | Les canaux sodiques de type F (Funny) s'ouvrent spontanément. Responsables de la dépolarisation spontanée lente (afflux de charges positives à l'intérieur de la cellule). | Canaux sodiques voltages dépendants : le PA du tissu nodal permet l'ouverture de ces canaux (les mêmes que ceux des axones). Responsables de la phase 0 (dépolarisation rapide) du PA (afflux de charges positives à l'intérieur de la cellule). |
| CANAUX POTASSIQUES (K^+) | Il en existe plusieurs sortes. Certains interviennent pendant la phase de dépolarisation spontanée , ils sont synergiques avec les canaux Na^+ de type F. | Il y en a plusieurs types qui interviennent dans les phases 1, 2 et 3 du potentiel d'action. |
| CANAUX CALCIQUES (Ca^{2+}) DE TYPE L | Ce sont des canaux lents , c'est pourquoi ils sont nommés les canaux calciques voltages dépendant de type L (long lasting pour temps d'ouverture lent). Responsables de la dépolarisation rapide du potentiel d'action . | Responsables de la phase 2 du potentiel d'action . |

Canaux calciques de type L chez un cardiomyocyte :

L'arrivée d'un PA déclenche l'ouverture de ces canaux. Il va y avoir un couplage : **l'entrée du calcium** dans la cellule déclenche le **relargage du Ca²⁺ stocké** dans le **réticulum sarcoplasmique**.

La **consommation d'ATP** permet le **détachement des filaments** et le basculement des têtes de myosine pour retourner à leur configuration initiale. Sans **ATP** : les filaments contractiles restent liés ⇒ **rigidité cadavérique** lors d'un arrêt cardio-circulatoire prolongé (cède avec le temps et permet de caractériser un décès très récent).



La **quantité de calcium** qui arrive dans le cardiomyocyte/muscle strié squelettique, **conditionne le nombre** de têtes de myosine qui pourront se fixer sur les filaments d'actine et conditionne donc la force contractile.

→ **L'entrée de calcium est proportionnelle à la force contractile du cardiomyocyte**

Dans le cardiomyocyte ce n'est pas plus vous recrutez de cellules plus il y a de force parce que **toutes les cellules sont recrutées** mais c'est **plus vous accrochez les têtes de myosine avec les filaments d'actine et plus il y a de force**.

| | Muscle strié | Muscle cardiaque |
|-------------------------------|---|---|
| Diminution de longueur | - 30% | - 30% |
| Contraction | - Sur commande : le motoneurone donne l'impulsion - La commande de chaque cellule est unitaire (innervation en plaque motrice) | - Le muscle cardiaque se contracte de manière automatique et globale (jonctions ouvertes) |
| Commandes | - Sécrétion d' acétylcholine dans la synapse. | - Cellules nodales (Pace maker) ; - Neurotransmetteurs (médullosurrénale et/ou synapses des neurones du SNA. |
| Potentiels d'action | - Durée : entre 10ms et 100ms ; - Obligatoire pour déclencher une contraction (≠ du muscle lisse) ; - Pas de période réfractaire . | - Durée : 150 ms ; - Obligatoire pour déclencher une contraction ; - Période réfractaire . |

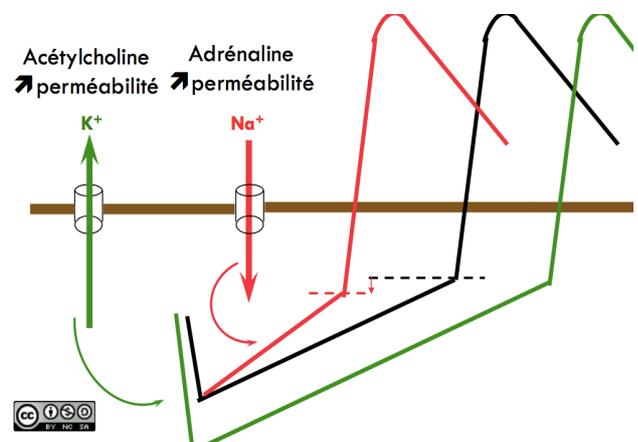
4. Applications médicales

Adrénaline : molécule sécrétée par le SNA **sympathique** :

- Cellule nodale :
↗ **perméabilité des canaux sodiques de type F** → ↘ **du potentiel seuil** + ↗ **de la pente** → **tachycardisant**
- Cardiomyocyte :
↗ **perméabilité des canaux calciques voltages-dépendant de type L** → ↗ **de la force contractile**.

Acétylcholine : molécule sécrétée par le SNA **parasympathique** :

- Cellule nodale :
↗ **perméabilité des canaux potassiques** qui interviennent dans la dépolarisation spontanée → **potentiel de repos abaissé** (la pente ne change pas) → ↗ **du temps écoulé entre le potentiel de repos et le potentiel seuil** → ↘ **de la fréquence cardiaque**.



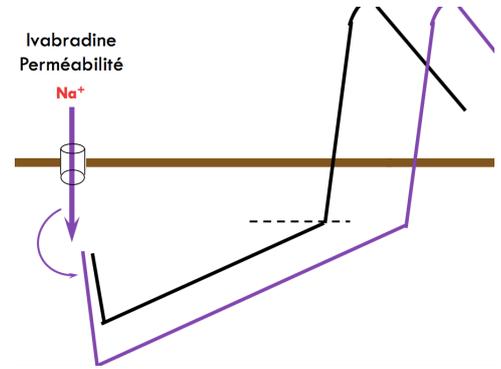
Ivabradine : médicament utilisé dans l'insuffisance cardiaque.

- **Cellule nodale** : **diminue la perméabilité des canaux sodiques de type F** → **potentiel de repos abaissé** → dépolarisation spontanée plus lente → **bradycardisant**

Inhibiteurs calciques : médicaments qui agissent en **diminuant la perméabilité des canaux calciques de type L** présent chez la **cellule nodale** et chez le **cardiomyocyte**.

→ **Diminution de la force contractile du cœur**

→ **Diminution de la fréquence cardiaque**



Les 3 conditions du potentiel de repos

1 - Présence de **canaux perméables au sodium et au potassium**

2 - **Perméabilité des canaux potassiques > perméabilité des canaux sodiques**

3 - **Maintien de l'asymétrie de répartition** du sodium et du potassium entre les milieux cellulaire et extracellulaire par la **pompe à sodium (Na-K ATPase)**

→ Le maintien d'un potentiel de repos est **essentiel au rythme cardiaque**.

Potentiel de repos et oxygénation du myocarde :

➤ **Infarctus** = **arrêt de la circulation sanguine** aboutissant à une nécrose cellulaire. Ce phénomène donne un aspect **aspect « infarcté »** au myocarde.

Ischémie (= diminution de l'apport sanguin artériel) ⇒ **hypoxie** (↘ oxygénation tissulaire) ⇒ ↘ **de la production d'ATP** et du fonctionnement **des pompes à sodium** ⇒ **modification du potentiel de repos** ⇒ **dépolarisation** des cellules nodales et des cardiomyocytes dans le **territoire infarcté** ⇒ **PA asynchrones** ⇒ **fibrillation ventriculaire** ⇒ **arrêt circulatoire**

Potentiel de repos et kaliémie : La concentration en K^+ extracellulaire (**kaliémie**) peut varier en pathologie. Le potentiel électrique du potassium à l'équilibre est **proche du potentiel membranaire électrique de repos** → les **variations de la kaliémie modifient beaucoup la valeur du potentiel de repos**.

→ Une **augmentation de la kaliémie** (de 1 mmol/L) → **dépolarisation**

→ Une **diminution de la kaliémie** (de 1 mmol/L) → **hyperpolarisation**

L'**hyperkaliémie** → **hyperexcitabilité** → diminution de la différence de potentiel entre le potentiel de repos et le potentiel seuil.

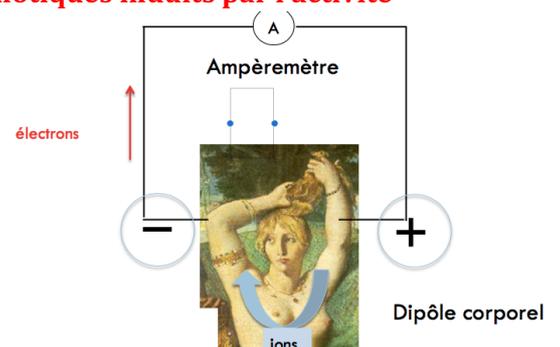
Les variations de la kaliémie peuvent entraîner des **troubles du rythme cardiaque**, des **anomalies de la conduction du PA**, ou encore des **asynchronismes des PA (fibrillation)** → **importance de la régulation** de la **composition du milieu intérieur**

B - BASES PHYSIQUES DE L'ÉLECTROCARDIOGRAMME

➤ L'ECG est le tracé obtenu par l'**enregistrement des courants osmotiques induits par l'activité électrique du cœur à la surface de la peau**.

1. Courants induits et galvanomètre

On considère que le **corps humain se comporte comme un dipôle** (comme un générateur) : l'activité électrique du cœur va générer des **courants osmotiques de sens et d'intensité variables dans le temps**.



La **peau au contact d'un gel** ou les membres immergés dans une solution contenant des osmoles ionisées sont les **électrodes**. Un **câble électrique conducteur** d'électricité **relie 2 électrodes** et forme un **circuit électrique extra corporel**. Les courants osmotiques induits, bien que de très **faible intensité**, **mobilisent des électrons dans ce circuit** extracorporel.

Application de la loi d'Ohm aux courants induits

$$\text{Potentiel électrique} = \text{intensité} \times \text{résistance}$$

- Chez un individu donné, la résistance au passage du courant est une **grandeur fixe**
- L'**intensité** des courants osmotiques induits est **directement proportionnelle** aux **PA** à un instant donné

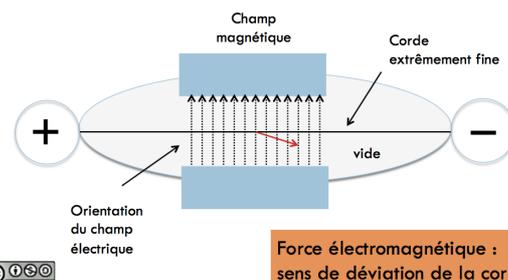
Le galvanomètre

→ Appareil utilisé pour **mesurer l'intensité des courants induits**.

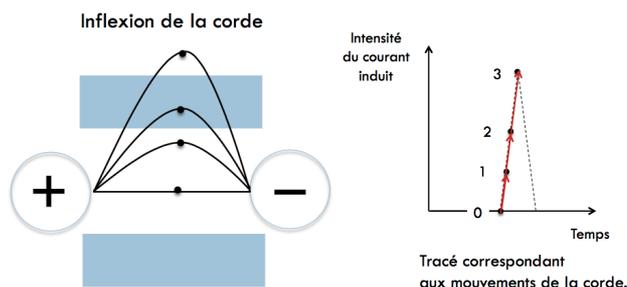
Il utilise les **propriétés du champ magnétique** de **déplacer un fil métallique** lorsqu'il est le **siège d'un courant électrique**.

Galvanomètre à corde : galvanomètre adapté à la **détection de courants de très faible intensité**.

Le **sens de déviation du fil** dans le champ magnétique **dépend du sens de circulation du courant**.



Enregistrement des mouvements de la corde en fonction du temps



Les **mouvements de la corde** sont enregistrés **en fonction du temps**.

Lorsqu'un courant circule, la corde bouge, elle monte ou elle descend selon le sens de circulation du courant électrique.

Plus le **courant est fort**, plus la **déflexion** de la corde est **importante** et plus le **tracé** sera **grand en intensité**.

- **Hauteur de la déflexion** de la corde du galvanomètre → **proportionnelle à l'intensité du courant induit** → **proportionnelle aux potentiels d'action instantanés** des cellules cardiaques.
- **Orientation de la déflexion** de la corde → **liée à l'orientation des potentiels d'actions instantanés**.

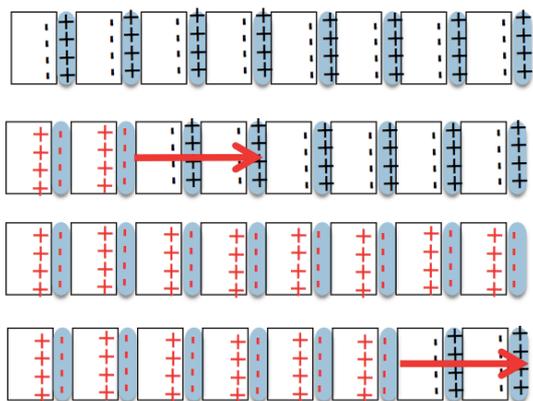
Pour les **électroencéphalogrammes (EEG)**, c'est exactement le même principe sauf que les électrodes sont placées à la surface du crâne et le système enregistre les **potentiels d'action des neurones cérébraux**.

- Une **grandeur orientée** et **d'intensité déterminée** s'appelle un **vecteur**.

2. Vecteur électrique unitaire

- Un **vecteur électrique unitaire** = **vecteur instantané**.
- La **force d'un vecteur** dans une certaine direction est **illustrée par sa projection orthogonale sur un axe**. Dans le cas d'un vecteur électrique, la **force est le potentiel électrique**.
- Le vecteur est un **dipôle électrique** qui va avoir un **potentiel (force)** et un **sens**.
- La **hauteur et le sens des déflexions** de la corde du galvanomètre correspondent à la **projection orthogonale** du vecteur électrique unitaire instantané sur une **droite reliant deux électrodes**.

Vecteur unitaire et cycle cardiaque :



Potentiel de repos

Dépolarisation en cours

Dépolarisation complète

Repolarisation en cours

1 - PA

2 - Dépolarisation des premiers cardiomyocytes

3 - Création d'un **front d'ondes positives** (intracellulaire) qui avance de cardiomyocyte en cardiomyocyte.

4 - **Potentiel électrique** (orienté du - vers le +) dans le MEC

5 - **Dépolarisation complète** : il n'y a plus de différence de potentiel entre deux points du réseau = il n'y a **plus de vecteur**

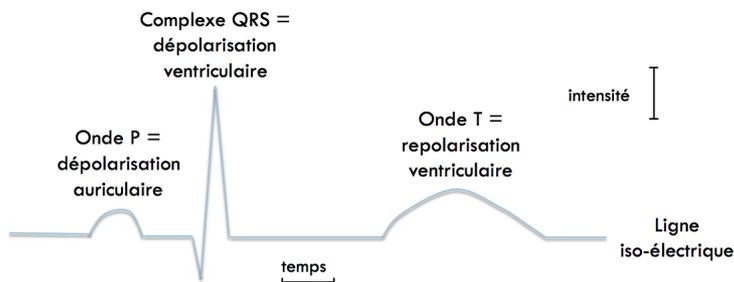
6 - **Repolarisation** : le sens du vecteur est le même qu'au moment de la dépolarisation → les cellules qui sont les **dernières à se dépolariser** sont les **premières à se repolariser**.

- Le **potentiel électrique du vecteur unitaire** (= la force du vecteur) est **proportionnel à la somme des PA instantanés** des cardiomyocytes. Il est représenté par la **longueur** de la flèche.
- L'**orientation du vecteur unitaire** dépend du **sens des PA instantanés** des cardiomyocytes. Elle est indiquée par le **sens** de la flèche.

3. Interprétation selon les règles d'Einthoven

Willem Einthoven a reçu le prix Nobel de médecine en 1924 pour sa **méthode d'étude des courants induits par l'activité électrique du cœur et ses applications en médecine**.

Le tracé obtenu par l'enregistrement des **courants induits par le cœur sur la peau** possède le profile suivant :



L'axe vertical représente l'intensité et l'axe horizontal le temps.

→ **Onde P** : **dépolarisation auriculaire**

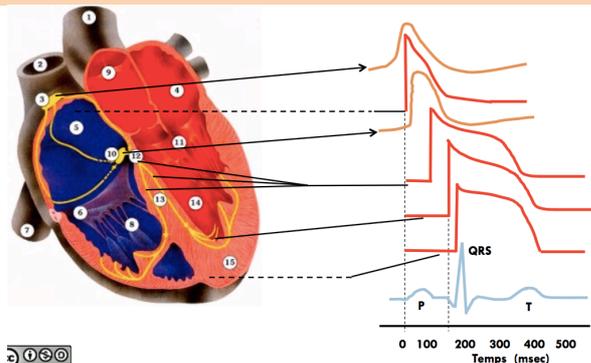
→ **Complexe QRS** : **dépolarisation ventriculaire** (beaucoup plus ample que l'onde P)

→ **Onde T** : **repolarisation ventriculaire**.

Toute une sémiologie se décline à partir de ce tracé : si on standardise la vitesse de déroulement du papier et l'intensité (la hauteur des déflections), on peut mesurer les différents segments et on peut associer les troubles électrocardiographiques avec des pathologies.

Chronologie de l'activité électrique du cœur

L'influx naît au niveau du **nœud sino auriculaire** ⇒ **onde P** : dépolarisation auriculaire ⇒ **segment PQ** (sur la ligne isoélectrique) : l'influx est **freiné** en traversant le **nœud auriculo ventriculaire** ⇒ une fois le squelette fibreux du cœur traversé, l'influx chemine dans le faisceau de His ⇒ **complexe QRS** : **dépolarisation les cardiomyocytes ventriculaires** (dans cet ordre : 1-les cardiomyocytes du septum interventriculaire 2-ceux de l'apex 3-ceux des bords latéraux du cœur) ⇒ **segment ST** (sur la ligne isoélectrique) les cardiomyocytes ventriculaires sont contractés (phase 2 du PA) ⇒ **Onde T** : **repolarisation des cardiomyocytes ventriculaires** (phase 3).



Les règles énoncées par Einthoven :

Règle n°1 :

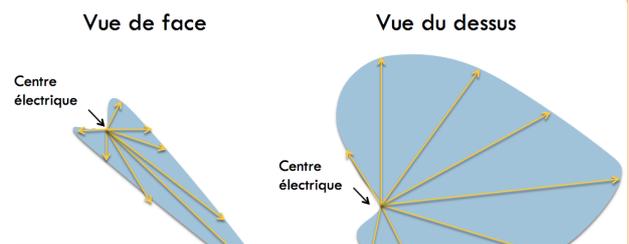
- Une électrode placée suffisamment loin du cœur enregistre les courants induits par le cœur comme s'il s'agissait d'un seul et unique vecteur électrique unitaire.
- **1^{ère} conséquence** : L'intensité des courants induits est proportionnelle à la somme des potentiels d'action instantanés, la masse des ventricules > masse des oreillettes → intensité du complexe QRS > intensité de l'onde P
- **2^{ème} conséquence** : La repolarisation auriculaire est masquée par la dépolarisation ventriculaire (la repolarisation auriculaire tombe en plein dans le complexe QRS).
- **3^{ème} conséquence** : Le sens du vecteur unitaire est le même lors de la dépolarisation et lors de la repolarisation : les derniers cardiomyocytes qui se dépolarisent (cellules de l'épicarde) sont les premiers qui se repolarisent. La dépolarisation va de l'endocarde à l'épicarde et la repolarisation va de l'épicarde à l'endocarde.

Règle n°2

- L'origine du vecteur unitaire est fixe : c'est le centre électrique du cœur (nœud auriculo-ventriculaire).

C'est un endroit virtuel, il n'est pas matérialisable. On le représente au niveau du nœud auriculo ventriculaire parce qu'on veut le situer mais il n'a absolument aucune place. C'est le résultat d'un montage électrique.

Au cours du cycle cardiaque, l'ensemble des vecteurs instantanés décrivent un trajet à partir du centre électrique c'est le **vectocardiogramme**. Il correspond à l'ensemble des intensités et directions du vecteur unitaire au cours du cycle cardiaque. Le cœur est un volume et cette courbe (le vectocardiogramme) s'inscrit dans plusieurs plans de l'espace.



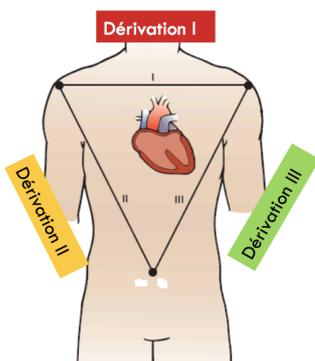
Règle n°3

- Trois électrodes câblées entre elles 2 à 2 forment des axes de projection pour le vecteur cardiaque unitaire appelés dérivation.

La projection orthogonale d'un vecteur unitaire/du vectocardiogramme sur une dérivation permet de mesurer l'intensité des courants induits.

Règle n°4

- Les 3 dérivation forment les 3 côtés d'un triangle équilatéral dont le centre géométrique est le centre électrique du cœur.



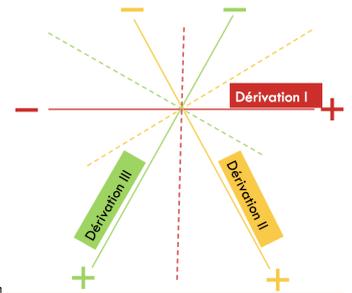
Triangle d'Einthoven : triangle équilatéral formé par 3 dérivation dont le centre géométrique est le centre électrique du cœur.

Les membres sont conducteurs et les électrodes peuvent être placées à leurs racines ou à leurs extrémités indifféremment (pas de problème pour l'ECG en cas d'amputation).

Par convention lorsque le vecteur se déplace du moins vers le plus l'intensité va aller au dessus de la ligne isoélectrique et inversement. La projection orthogonale nous donne une longueur qui n'est pas forcément la même que celle du vecteur unitaire et qui représente la force du vecteur dans une direction donnée.

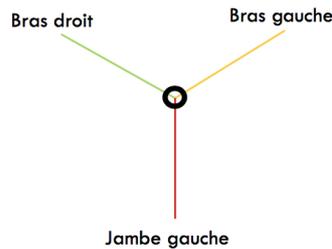
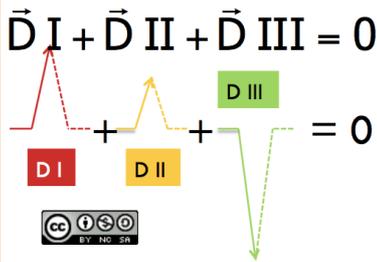
Axes de projection du vecteur électrique unitaire ramenés au centre électrique du coeur :

- **Dérivation D1** : située entre le membre sup droit et le membre sup gauche. Par convention, sa **borne positive est au niveau du bras gauche**.
- **Dérivation D2** : située entre le membre sup droit et le membre inf gauche. Sa **borne positive est au niveau de la jambe gauche**.
- **Dérivation D3** : située entre le membre sup gauche et le membre inf gauche. Sa borne positive est au **niveau de la jambe gauche**.



Prolongement des règles d'Einthoven par Bailey

- Grâce à une électrode de référence on peut enregistrer une différence de potentiel avec une autre électrode placée en n'importe quel point du corps.



Dans un triangle équilatéral, la **somme des projections orthogonales** d'un vecteur sur les 3 côtés est toujours nulle → c'est le **centre du triangle d'Einthoven** qui a donc un **potentiel toujours nul**.

L'électrode de référence est un point électrique dont le potentiel est toujours nul.

La réunion des 3 électrodes positives forme une **électrode de référence**. C'est la **borne centrale de Wilson**. À l'aide de cette électrode de référence neutre, on va pouvoir enregistrer 3 dérivations supplémentaires :

Les **dérivations** définies par **Einthoven** sont les trois cotés du triangle d'Einthoven

- Dérivation 1 : DI
- Dérivation 2 : DII
- Dérivation 3 : DIII

Les **dérivations** définies par **Bailey** sont les 3 bissectrices du triangle d'Einthoven

- Dérivation aVR
- Dérivation aVL
- Dérivation aVF

a pour « **augmenté** » car l'intensité du courant induit est artificiellement augmentée pour faciliter son analyse ; *V* pour **potentiel électrique (volt)** ; *R* pour **Right (arm)** ; *L* pour **Left (arm)** ; *F* pour **(left) Foot**.

- L'électrode reliée à la borne centrale de Wilson (électrode de référence) est appelée **électrode exploratrice**.
- Les circuits construits avec une **électrode de référence** et une **électrode exploratrice** s'appellent aussi des **dérivations**.
- Le principe de la **projection orthogonale est valable tant que les électrodes sont à distance du coeur**.
- Par convention, l'électrode exploratrice est polarisée positivement. Par conséquent, la **borne centrale de Wilson est considérée comme le pôle négatif** pour la projection des vecteurs unitaires.

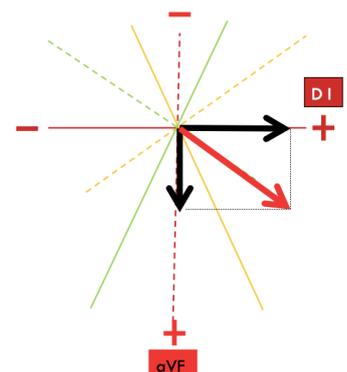
Axe électrique du coeur = Vecteur moyen du complexe QRS dans le plan frontal ayant pour origine le **centre électrique du coeur**. L'orientation normale est dirigée vers le **bas et la gauche**.

Pour le mesurer on utilise 2 **dérivations perpendiculaires** : on fait la somme des projections orthogonales du vecteur moyen du complexe QRS en **D1** et **aVF**

Déviations de l'axe en pathologie :

- **Infarctus du myocarde** (∩ de la masse musculaire) : l'axe est **dévié du côté opposé à la zone infarctée**.
- ↗ **masse musculaire du myocarde** : l'axe est **dévié du côté hypertrophié**.

Un **asynchronisme de conduction** entre les deux ventricules (anomalie de conduction) peut être responsable d'une déviation de l'axe électrique du coeur.



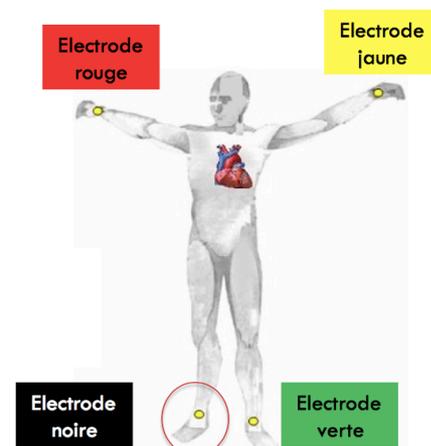
Les 6 dérivations périphériques : (DI, DII, DIII, aVL, aVF, aVR)

- Ces 6 dérivations étudient l'activité du cœur dans le **plan frontal**.

On a besoin de **3 électrodes actives** :

- **Électrode rouge** : sur le poignet droit
- **Électrode jaune** : sur le poignet gauche
- **Électrode verte** : sur la cheville gauche

On place également une **quatrième électrode noire** au niveau de la cheville droite qui fait prise de terre → **stabilise l'enregistrement des courants induits**.



C - DÉRIVATIONS PRÉCORDIALES

1. Définition

- Les dérivations précordiales sont à **proximité du cœur**.
- Elles sont formées par une **électrode exploratrice** placée sur la poitrine et **l'électrode de référence**.
- On utilise un galvanomètre mais le **principe de la projection orthogonale d'un vecteur sur un axe n'est plus valable** car les électrodes exploratrices sont trop près du cœur.

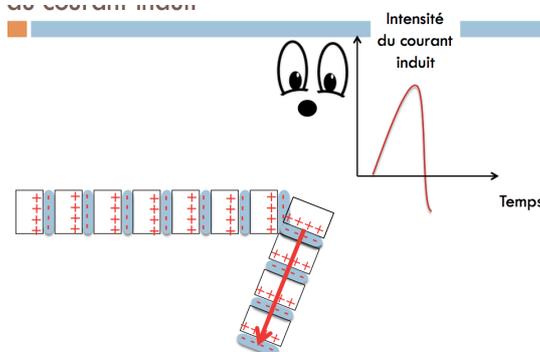
Les trois propriétés du dipôle électrique cardiaque :

- L'intensité est **proportionnelle à la masse** musculaire ;
- Le trajet ne dépend pas du centre (il n'y a **pas de centre électrique**), il **suit les contours du cœur** ;
- L'orientation **dépend du front de dépolarisation** qui est regardé par l'électrode.

Principes de l'interprétation des déflexions de la corde du galvanomètre :

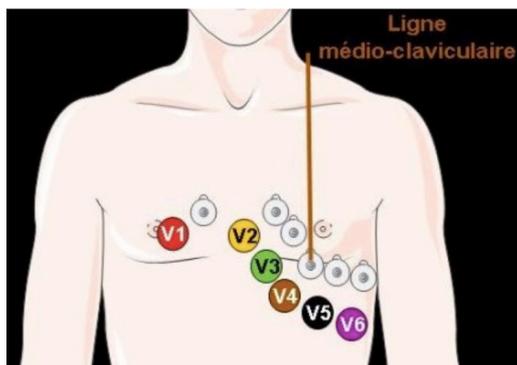
L'électrode exploratrice **regarde le front de dépolarisation du dipôle** (le tracé dépend de la position de l'électrode) :

- **Déflexion positive** → le front de dépolarisation **se rapproche** de l'électrode exploratrice ;
- **Déflexion négative** → le front de dépolarisation **s'éloigne** de l'électrode exploratrice ;
- Lorsqu'il n'y a pas de courants induits on est sur la ligne isoélectrique.
- **Hauteur de la déflexion** → selon l'intensité du courant induit par le dipôle.



2. Bases de l'interprétation de l'ECG dans ces dérivations

Les **électrodes exploratrices** (6 principales) sont indiquées par la lettre **V (V1 à V6)** se disposent en bande le long de l'axe **antérieur** du cœur.



Il peut y avoir des électrodes supplémentaires qui constitueront des dérivations postérieures → c'est intéressant dans le cas d'un infarctus postérieur qui se verra mal sur les dérivations antérieures.

Lorsque l'on enregistre le tracé électrocardiographique, on voit que le complexe **QRS n'a pas le même aspect** en fonction de la dérivation. Plus on va de V1 à V6 plus il se situe au dessus de la ligne isoélectrique.

D - INTERPRÉTATION MÉDICALE DE L'ECG

1. Règles pratiques

L'objectif de l'utilisation de l'ECG en médecine est **d'associer un électrocardiogramme à une maladie cardiaque** grâce à la **confrontation anatomo-clinique** : on associe une lésion anatomique à des symptômes

La confrontation anatomo-clinique est basée sur :

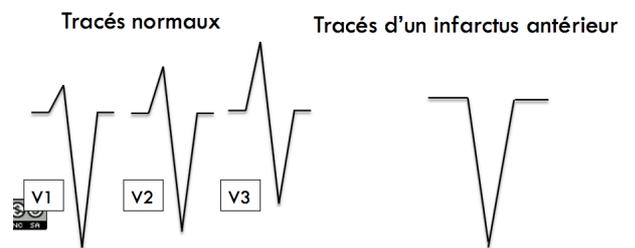
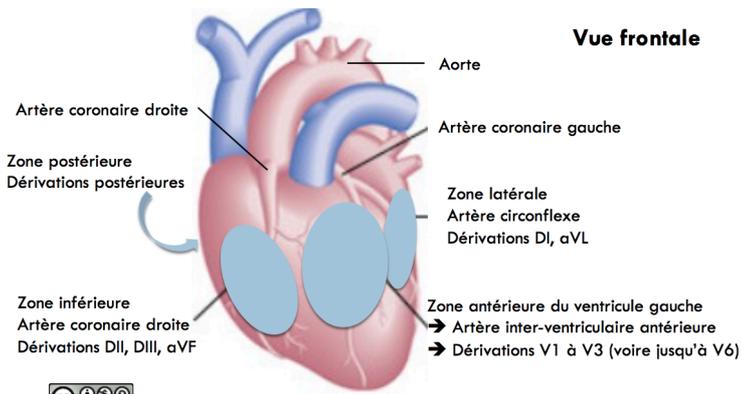
- ✓ Tracés obtenus chez **une personne en bonne santé** → définition des **tracés normaux**
- ✓ Tracés obtenus chez **une personne malade** → **relation symptômes / anomalies des tracés**
- ✓ Tracés obtenus chez **une personne malade qui décède** → **relation lésion anatomique / anomalies des tracés** (autopsie)
- ✓ Tracés obtenus après **induction de lésions expérimentales chez l'animal** de laboratoire → **relation lésions induites / anomalies de tracés**

2. Applications médicales

L'**infarctus** est la lésion qui correspond à l'interruption de la vascularisation (**ischémie**). Elle entraîne une modification de la structure d'un tissu qui **semble infiltré (infarci)**.

→ **La zone infarctée du myocarde ne produit plus de potentiels d'action.**

En pratique médicale :



Des groupes de dérivations révèlent les anomalies cardiaques survenant dans un territoire vascularisé par une artère coronaire. Certains **groupes de dérivations** étudient mieux que d'autres **certaines artères coronaires**.

L'aorte donne naissance à l'artère coronaire droite (qui irrigue entre autre la face postérieure du cœur) et à l'artère coronaire gauche (qui donne l'artère circonflexe et l'artère interventriculaire antérieure).

| | Zone inférieure | Zone antérieure | Zone latérale |
|----------------------|--------------------------------|--|---------------------------|
| Groupe de dérivation | DII, DIII, aVF | V1 à V3 (voir jusqu'à V6) | aVL, DI |
| Artère | Artère coronaire droite | Artère inter ventriculaire antérieure | Artère circonflexe |

Les principaux éléments médicaux tirés de l'ECG sont :

- Le **rythme** et la **fréquence cardiaque** ;
- **L'orientation de l'axe électrique** : renseigne sur des modifications de la masse musculaire essentiellement et des anomalies de conduction ;
- Les **défauts de perfusions du myocarde** (grâce aux modifications du complexe QRS dans les dérivations qui sont face à cette artère) ;
- Les **troubles électrolytique** (ex : kaliémie, calcémie) ;
- L'**effet de certains médicaments**.