

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique
Faculté de médecine de Constantine
Département de médecine
Module de Cardiologie**

**Dr A. AKACHAT
Maitre-assistant en Cardiologie
Hôpital Militaire Régional Universitaire de Constantine HMRUC
CDT Abdel Ali BENBAATOUCHE**

Electrocardiogramme normal

Année universitaire 2020-2021

Objectifs pédagogiques

Objectif 1 : Connaitre la définition de l'électrocardiogramme

Objectif 2 : Comprendre et expliquer la physiologie de l'activité électrique du cœur

Objectif 3 : Comprendre les principes de l'électrocardiogramme

Objectif 4 : Comprendre la genèse de l'activité électrique du cœur qui permet d'aboutir au tracé ECG

Objectif 5 : Savoir enregistrer un électrocardiogramme et identifier ses différentes composantes

Objectif 6 : Savoir analyser un électrocardiogramme normal

Plan de cours

1-Introduction

2-Rappel

3 -Les dérivations

4-La genèse de l'ECG

5- Enregistrement de l'électro cardiogramme

6- Nomenclature des déflexions du tracé ECG

7-Lecture de l'ECG

8-Les de normes de l'ECG

1/ INTRODUCTION:

L'électrocardiogramme est un enregistrement sur papier millimétré de l'activité électrique du cœur captée par des récepteurs cutanés externes (les électrodes), qui permettent le recueil des différences de potentiel en fonction du temps

2/RAPPEL :

Le cœur est un muscle strié particulièrement doué d'un automatisme donné par le tissu nodal (figure 1) qui est à l'origine du travail mécanique. La Naissance de la dépolarisation se fait au niveau du nœud sinusal, appelé le Nœud de Keith et Flack situé dans le toit de l'oreillette droite (OD), l'influx dépolarise ensuite les oreillettes => contraction des oreillettes; ensuite l'influx arrive au niveau du nœud auriculo-ventriculaire, puis passe au niveau du faisceau de HIS et au réseau de Purkinje pour assurer la dépolarisation des ventricules => Contraction des ventricules ; puis toutes les cellules se repolarisent.

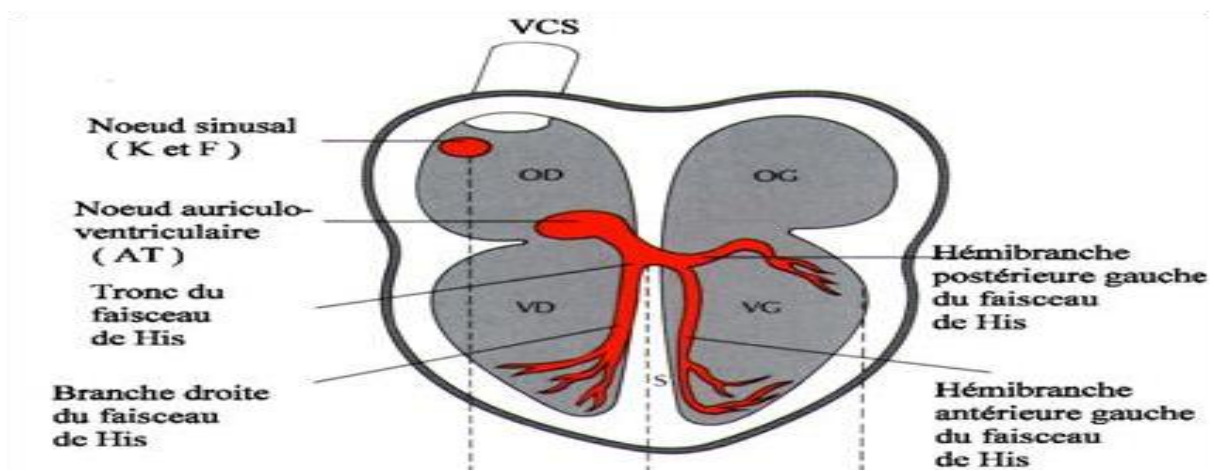


Figure 1 : Localisation du tissu nodal

3/LES DERIVATIONS :

Une dérivation est un circuit électrique comprenant deux électrodes de contact reliées par un galvanomètre permettant la mesure de variation de champs électrique créé par la dépolarisation des différentes parties de cœur (figure 2).

La droite joignant les deux électrodes est appelée : ligne de dérivation

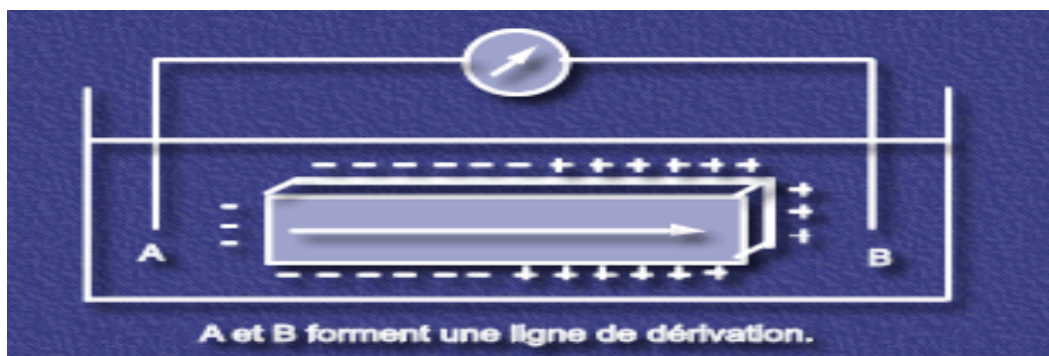


Figure 2 : représentation schématique de la dérivation mesurant la différence de potentiel entre le point B (par l'électrode exploratrice) et le point A (par l'électrode de référence)

L'ECG à 12 dérivations a été standardisé par une convention internationale. Elles permettent d'avoir une idée tridimensionnelle de l'activité électrique du cœur.

3.1- Les dérivations frontales:

Les dérivations frontales sont au nombre de 6, sont obtenues en plaçant les électrodes au niveau des membres (figure 3). Elles explorent le cœur dans un plan frontal

Les dérivations standards :

- DI : mesure bipolaire entre bras droit(-) et bras gauche(+).
- DII : mesure bipolaire entre bras droit(-) et jambe gauche(+).
- DIII : mesure bipolaire entre bras gauche(-) et jambe gauche(+).

les dérivations bipolaire représentant les cotes de triangle équilatéral d'Einthoven dont le centre représente le centre électrique du cœur (selon l'hypothèse d'Einthoven).

Les dérivations unipolaires des membres :

- aVR : mesure unipolaire sur le bras droit.
- aVL : mesure unipolaire sur le bras gauche.
- aVF : mesure unipolaire sur la jambe gauche.

NB : la dérivation est dite unipolaire quand une seule électrode est exploratrice, l'autre électrode est indifférente grâce à des artifices techniques ; la ligne de dérivation joint l'électrode exploratrice au centre du cœur.

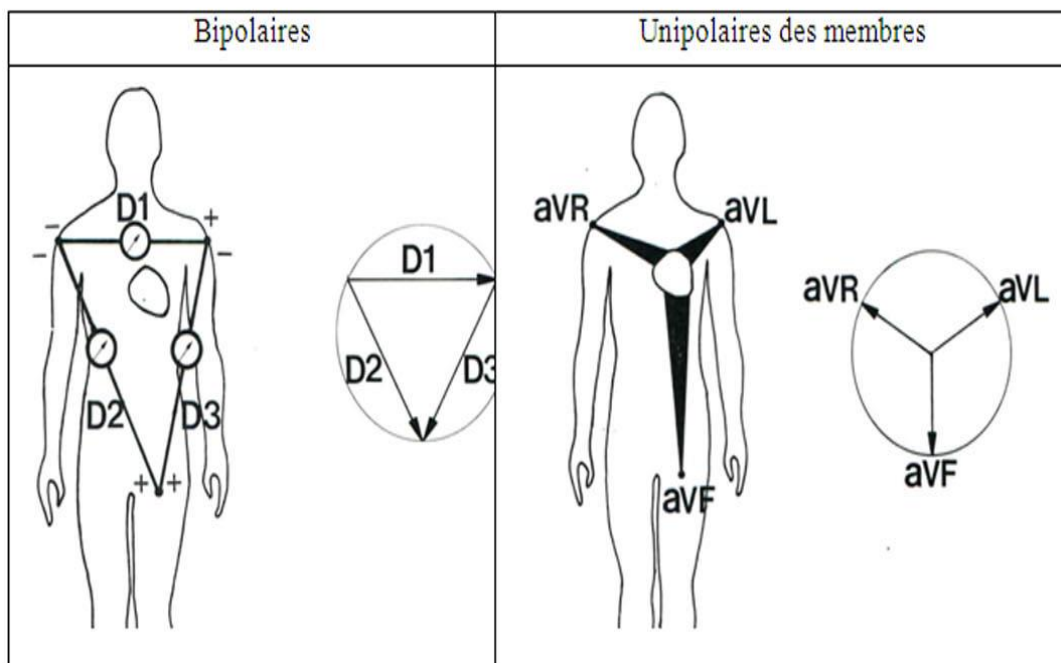


Figure 3 : Les dérivations frontales

-En faisant subir une translation sans changement de direction ni de sens aux différentes dérivation par rapport au centre du triangle d'Einthoven, on obtient le double triaxe de Bayley (figure 4)

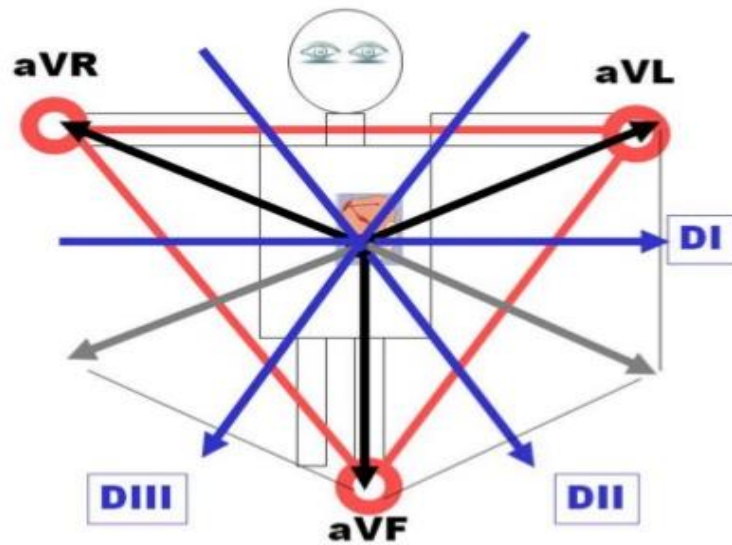


Figure 4 : Le double triaxe de Bayley

En inscrivant ce triaxe dans un cercle orienté par convention dans le sens horaire de 0 à +180 avec le pole positif de DI est à 0 et le pole négatif à 180, on obtiendra ainsi la figure 5.

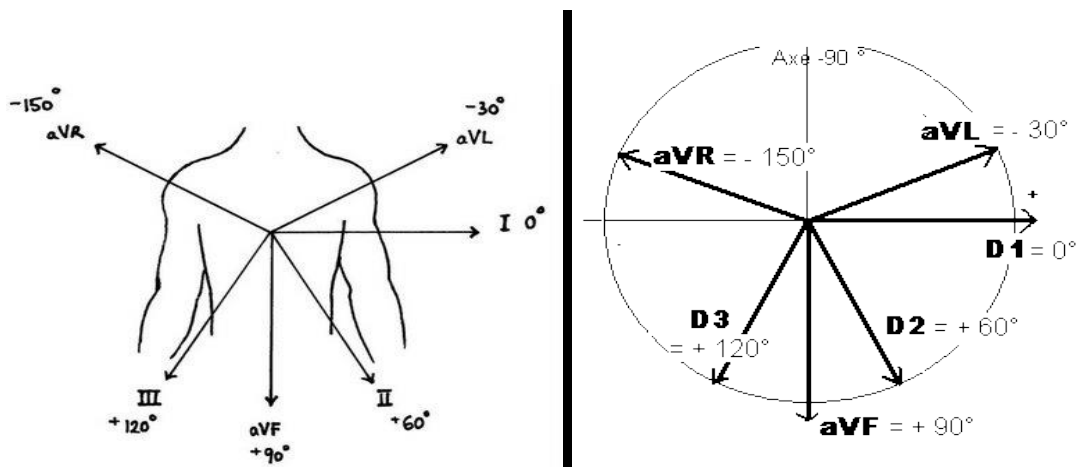


Figure 5: Les dérivation frontales représentées selon le double triaxe de Bayley

Le triaxe de Bayley permet le calcul rapide de l'orientation de l'activité électrique de cœur dans le plan frontal

3.2-Les dérivations précordiales : ces dérivations unipolaires sont obtenues en plaçant les électrodes au niveau de la région précordiale (figure 6). Elles explorent le cœur dans un plan horizontal.

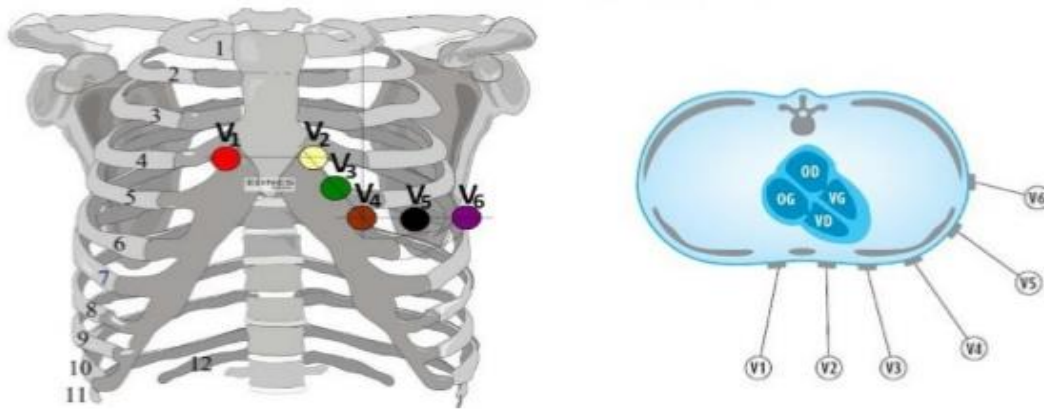


Figure 6 : Les dérivations précordiales

Les dérivations précordiales

- V1 : 4^e espace intercostal droit, bord droit du sternum (parasternal).
- V2 : 4^e espace intercostal gauche, bord gauche du sternum (parasternal).
- V3 : à mi-chemin entre V2 et V4.
- V4 : 5^e espace intercostal gauche, sur la ligne médioclaviculaire.
- V5 : même horizontale que V4, ligne axillaire antérieure.
- V6 : même horizontale que V4, ligne axillaire moyenne.

Autres dérivations:

-Elles sont faites dans certains cas pour affiner, par exemple, le diagnostic topographique d'un infarctus du myocarde(figure 7) :

- V7 : même horizontale que V4, ligne axillaire postérieure.
- V8 : même horizontale que V4, sous la pointe de la scapula (omoplate).
- V9 : même horizontale que V4, à mi-distance entre V8 et les épineuses postérieures.
- V3R : symétrique de V3 par rapport à la ligne médiane.
- V4R : symétrique de V4 par rapport à la ligne médiane.
- VE : au niveau de la xiphoïde sternale.

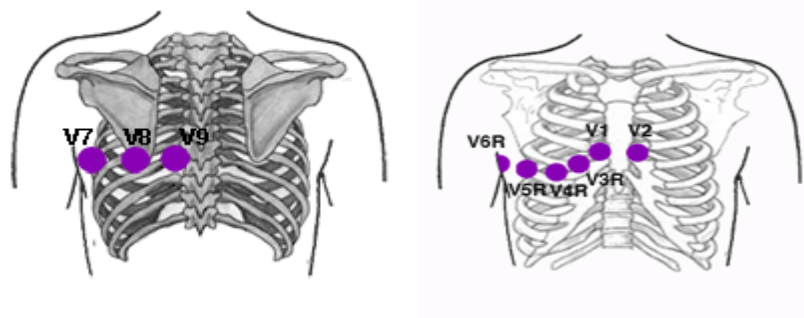


Figure 7 : autres dérivations

4/ LA GENESE DE L'ECG

A un instant donné de la dépolarisation myocardique, il existe des zones électronégatives (fibres dépolarisées) et des zones électropositives (fibres encore à l'état de repos). Ces charges électriques négatives et positives constituent des dipôles (figure 3).

La somme vectorielle de ces dipôles donne un *vecteur résultant instantané*, dont la direction, le sens, et l'amplitude permettent d'expliquer la morphologie des différents accidents de l'ECG dans les différentes dérivations. Par convention, lorsque ce vecteur se dirige vers l'électrode exploratrice, une déflexion « positive » s'inscrit. Inversement, lorsque ce vecteur fuit l'électrode exploratrice, une déflexion « négative » s'inscrit. Un vecteur orienté perpendiculairement à l'électrode exploratrice donne une déflexion isodiphasique (déflexions de même amplitude et de polarité inverse : -/+ ou +/-) ou nulle (figure 8).

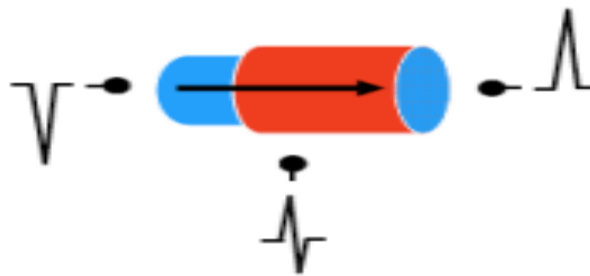


Figure 8 : Vecteur instantané résultant de la somme de dipôles

La succession de l'ensemble des vecteurs instantanés permet la construction de l'ECG dont la morphologie se répète à chaque battement cardiaque et sera analysée sur un système précis de *dérivations* ECG (figure 9 ,10 et 11)

4.1-L'activation auriculaire :

L'activation auriculaire se déclenche à la suite de la dépolarisation du nœud sinusal et se propage radialement, en tache d'huile à travers le myocarde auriculaire adjacent donnant un vecteur instantané orienté de haut en bas, de la droite à gauche (figure 9). Elle donne sur l'ECG l'onde P.

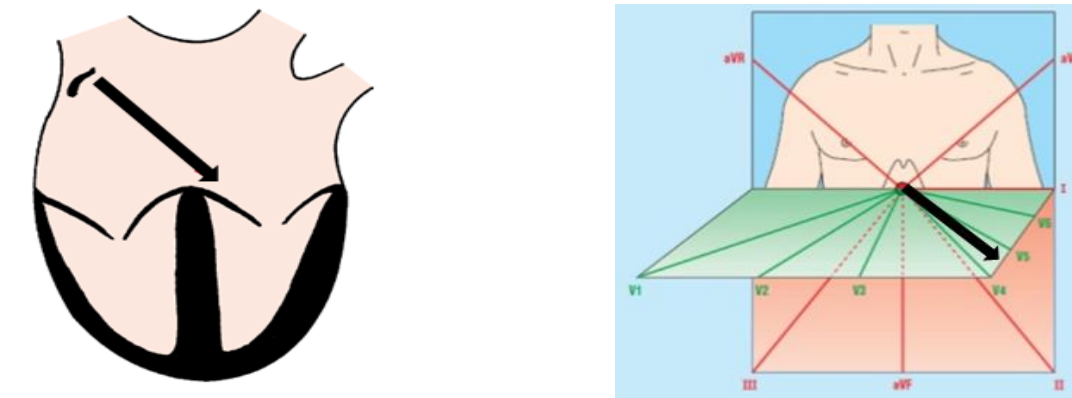


Figure 9 : représentation schématique de vecteur instantané résultant de la dépolarisation des deux oreillettes

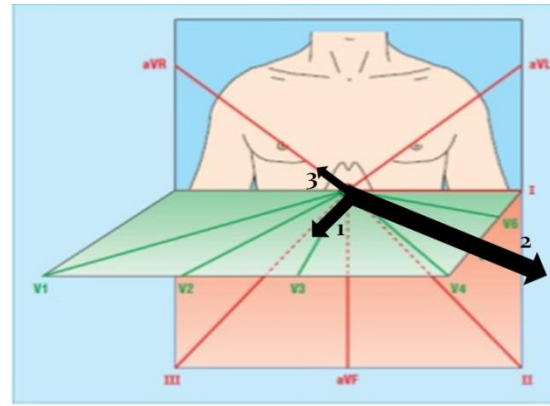
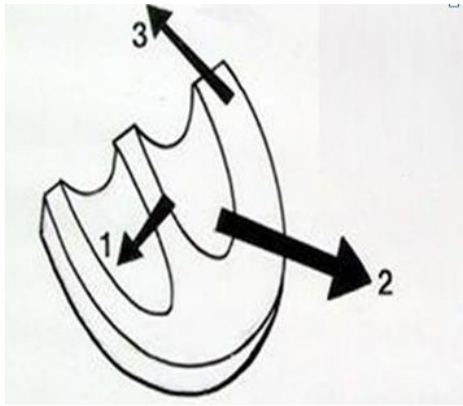


Figure 10 : représentation schématique des vecteurs instantanés résultant de la dépoliarisation des différentes parties des deux ventricules :

1-vecteur septal .2-vecteur principal .3-vecteur terminal

4.2-L'activation ventriculaire :

L'onde d'activation arrive au niveau de nœud auriculo ventriculaire où elle subit un certain retard avant qu'elle s'engage dans le faisceau de His pour dépoliariser les deux ventricules.

L'activation ventriculaire débute à la partie moyenne de la face gauche du septum inter-ventriculaire donnant un vecteur septal orienté de gauche à droite et d'arrière en avant. L'activation gagne rapidement les parois libres des ventricules grâce au réseau de Purkinje et se fait de l'endocarde vers l'épicarde créant ainsi un vecteur dit principal dirigé en bas, en arrière et vers la gauche car le myocarde y est plus épais qu'à droite. L'activation des parois libres est suivie de l'activation des zones les plus postérieures des deux ventricules et du septum inter-ventriculaire, le vecteur résultant appelé vecteur terminal est orienté en haut, vers l'arrière et la droite (figure 10).

L'activation ventriculaire se traduit à l'ECG par plusieurs onde appelées complexe QRS.

4.3-La repolarisation ventriculaire :

L'onde de repolarisation suit la dépoliarisation. Du fait de la pression intra cavitaire des ventricules, la repolarisation des couches sous endocardiques subit un retard par rapport aux couches sus épicaudiques, ce qui donne une repolarisation se faisant de l'épicarde vers l'endocarde se traduisant à l'ECG par l'onde T qui a généralement le même sens que le complexe QRS.

NB : La repolarisation auriculaire est contemporaine de la dépoliarisation ventriculaire ; à l'ECG, elle est masquée par le complexe QRS.

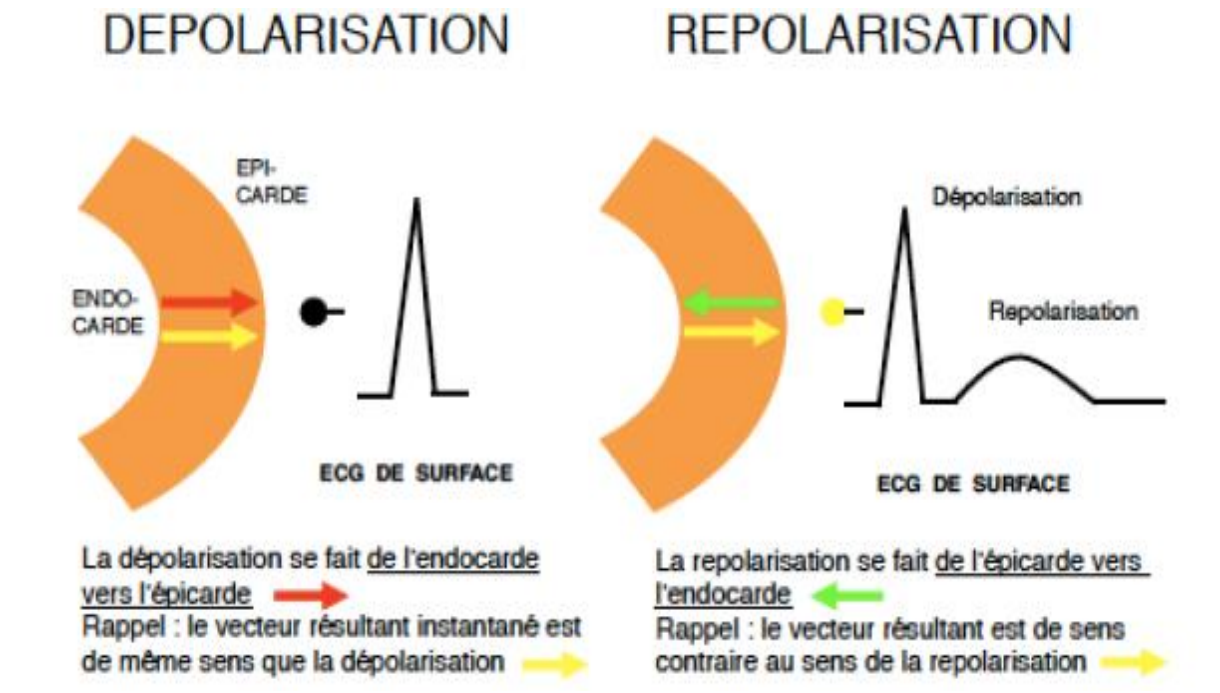


Figure 11 : Explication électromécanique de la repolarisation du myocarde

5/ ENREGISTREMENT DE L'ELECTROCARDIOGRAMME

Matériel

- gel
- 6 paires précordiales ou patch
- 4 bracelets (figure 11.a)

Réglage de l'appareil :

- 1cm = 1 millivolt : par convention
- vitesse de déroulement du papier : 25 mm / seconde (figure 11.b)

Installation du patient

- allongé le malade sur le lit ou table d'examen en décubitus dorsal, bras le long du corps, le plus détendu possible (figure 11.c) (sinon risque de parasitage sur ECG)
- il ne faut pas que ses pieds touchent le lit,
- demander au patient de respirer calmement.

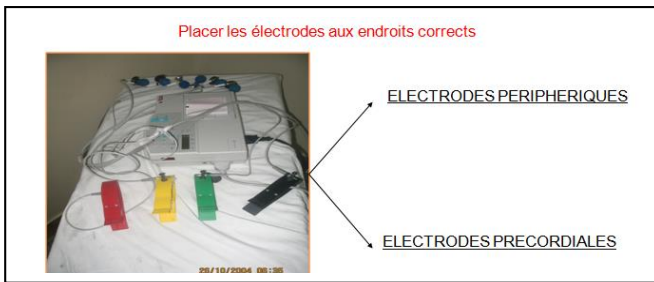
Emplacement des électrodes

Électrodes périphériques : bras et jambes (mise en place aux extrémités distales)

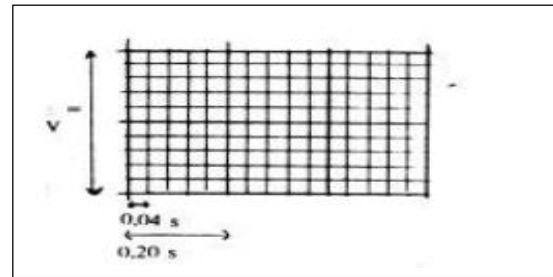
Bras droit : fiche rouge **Bras gauche**: fiche jaune

Jambe droite : fiche noire **Jambe gauche** : fiche verte

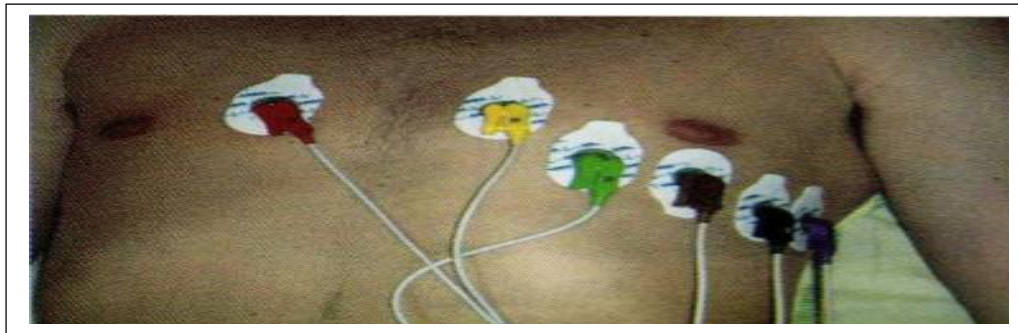
Électrodes précordiales : voir dessus



-a-



-b-



-c-

Figure 11: L'enregistrement de l'ECG

6/ NOMENCLATURE DES DEFLEXIONS DU TRACE ECG :

Le tracé comporte (figure 12) :

- Une ligne de base horizontale ou ligne iso électrique
- une série de déflexions successives correspondant à la le dépolarisation et la repolarisation des différentes parties de myocarde.

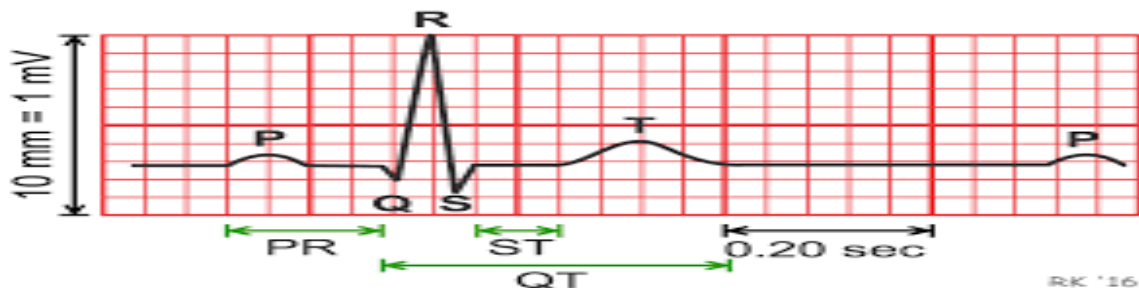


Figure 12 :Nomenclature des différentes parties de tracé ECG

Onde P : correspond à la dépolarisation auriculaire.

Espace PR : représente le temps de conduction auriculo ventriculaire.

Le complexe QRS : correspond à la dépolarisation ventriculaire, il comprend :

Onde Q (ou q) : elle est la 1^{ère} déflexion négative.

Onde R (ou r) : c'est la 1^{ère} déflexion positive.

Onde S (ou s) : c'est une déflexion négative qui suit l'onde R., la seconde est désignée par R'.

La désignation QS est réservée à un complexe exclusivement négatif.

Le complexe QRS peut avoir plusieurs formes selon l'axe et l'orientation de l'activité électrique : qRs, qR, R, RS, rS, QS...figure 12)

La déflexions supérieures à 5 mm sont désignées par des lettres majuscules Q, R, S, et celles inférieures à 5 mm par des lettres minuscules q,r ,s.

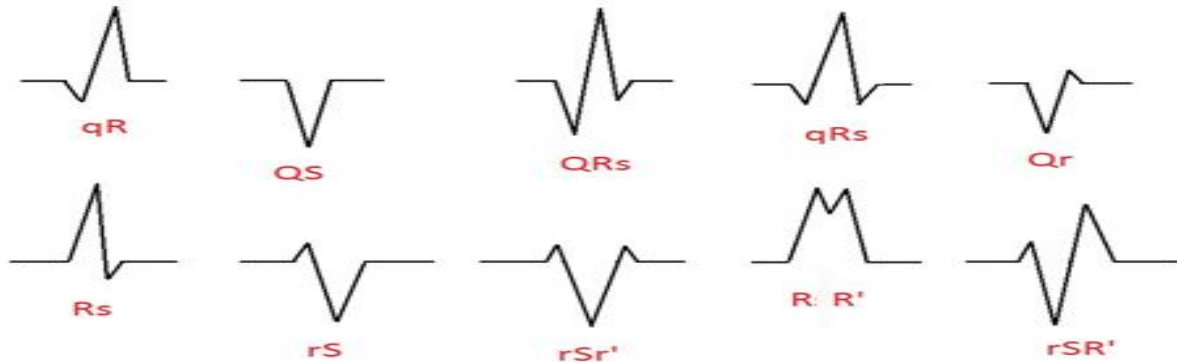


Figure 12 : Les différents aspects du complexe QRS

Point J : Il correspond au point de raccordement entre la fin de QRS et le début du segment RST (il est sur la ligne isoélectrique).

Le segment ST : segment entre la fin de complexe QRS et le début de l'onde T

L'onde T : représente la repolarisation ventriculaire.

L'intervalle QT : commence au début de l'onde Q et se termine à la fin de l'onde T. Il représente l'activité ventriculaire.

7/ LECTURE DE L'ECG :

La lecture de l'électrocardiogramme, doit être méthodique. Le tracé s'inscrit sur une bande de papier quadrillé dont l'abscisse est le facteur temps et l'ordonnée le voltage (figure 13).

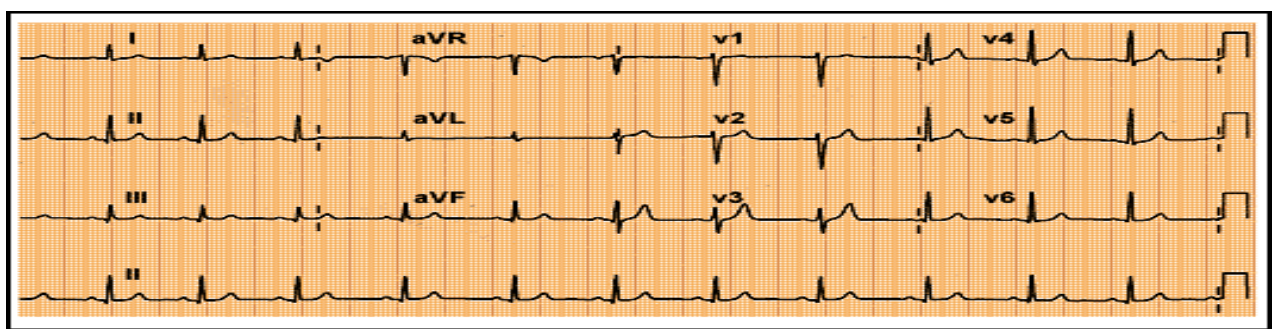


Figure 13: Aspect d'un ECG normal

Un petit carreau en abscisse correspond à 4/100 (0.04) de seconde, un 1 cm en ordonnée correspond à 1 millivolt (mv).

On doit vérifier d'abord la bonne qualité du tracé : étalonnage correct (1 mv= 1cm), bonne connexion des fils, la stabilité de la ligne de base et l'absence d'artefact (tremblement musculaires parasites, mauvaise conduction au niveau des électrodes...etc.)

On étudiera ensuite :

- **le rythme** : sa régularité, son origine sinusal ou non.
- **la fréquence** : valeur (nombre de cycles par minute)
- **Onde P** : durée et amplitude.
- **Espace PR** : durée de l'intervalle PR ou PQ
- **Complexe QRS** :
 - axe dans le plan frontal (direction de l'activité électrique ventriculaire)
 - durée du complexe
 - amplitude des déflexions Q, R, S, selon les dérivations (intérêt des indices : SOKOLOV, Cornell et LEWIS)
 - morphologie
 - **Le segment ST** : position du segment ST par rapport à la ligne isoélectrique.
 - **Onde T** : morphologie et sens de l'onde T.
 - **Espace QT** : durée variable avec la fréquence cardiaque.

NB :

La synthèse de ces informations permet de proposer un diagnostic électrocardiographique qui doit toujours être confronté aux données cliniques et si besoin aux autres examens complémentaires. Un électrocardiogramme normal n'est pas synonyme de cœur normal et inversement, certaines anomalies électrocardiographiques ne correspondent à aucune cardiopathie.

8/LES DE NORMES DE L'ECG :

-Le rythme : si sinusal :

-Onde P doit être positive en DII

-les QRS sont précédés d'onde P

+/- rythme régulier (PP +/- constant)

-La fréquence : normale au repos entre 50-100 cycles/min

-inférieure à 50, c'est une bradycardie sinusale, supérieure à 100, c'est une tachycardie sinusale. Il y a plusieurs méthodes pour calculer la fréquence cardiaque :

*la fréquence cardiaque se calcule en divisant 300 par le nombre de gros carrés, de 5 mm séparant deux complexes QRS (figure 14).

*La méthode dite de 300, 150, 100, 75, 60,50 : la plus utilisée (figure 9)

*La règle de 6 secondes : utilisée surtout en cas de rythme irrégulier. On calcule le nombre de complexe QRS sur 6 secondes et on le multiplie par 10.

*L'utilisation de la règle : la fréquence se mesure en 25 mm/s sur 2 intervalles successifs, entre la 1ère et la 3ème onde P (figure 15)

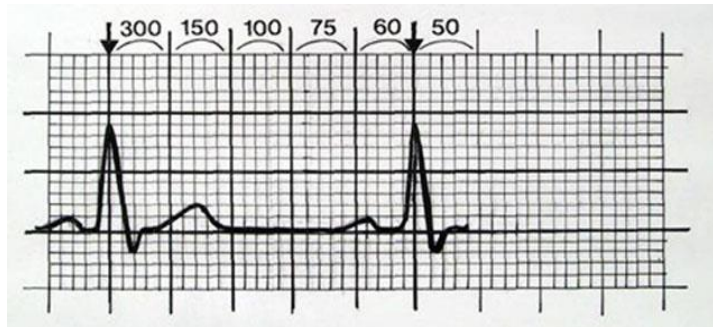


Figure 14 : Diviser 300 par le nombre de carrés de 5 mm séparant 2 complexes QRS Dans cet exemple $300/5=60$



Figure 15 : la règle de l'ECG

-L'onde P :

Sa durée normale est inférieure ou égale à 0.11 s.

Son amplitude normale est inférieure ou égale à 2.5 mm.

-L'intervalle PR :

La durée normale de l'intervalle PR est comprise entre 0.12 et 0.20 s. Il se mesure du début de l'onde P au début du complexe QRS.

-Le complexe QRS :

Axe : se calcule uniquement dans un plan frontal.

*La méthode rapide de calcul de l'axe de QRS consiste à repérer la dérivation où le QRS est le plus positif et à vérifier l'exactitude sur la dérivation perpendiculaire sur le double triaxe de Bayley (voir TP)

*Sa valeur normale se situe entre -30 et +100 ; en dehors de ces limites, on parle de déviation axiale gauche ou droite

Durée : elle est en moyenne de 0,08 s ; elle doit rester inférieure à 0,12 s.

L'amplitude : *Dans les dérivations frontales, l'amplitude est très variable.

*L'indice de Lewis est calculé selon la formule :

$(R_{DI} + S_{DIII}) - (R_{DIII} + S_{DI})$, sa valeur normale est comprise entre -14 et +17 mm .

Au delà de +17 ; cet indice est en faveur de l'hypertrophie ventriculaire gauche.

Au deçà de -14 mm : cet indice est en faveur de l'hypertrophie ventriculaire droite.

* Une amplitude inférieure à 5 mm dans l'ensemble de ces dérivations fait parler de microvoltage.

* Dans les dérivations précordiales, on calcule l'indice de Sokolow :

l'amplitude de S en V1 plus celle de R en V5 ou V6 en choisissant celle la plus ample (S en V1+R en V5 ou V6). Il est inférieure ou égale à 35 mm, sauf chez le sujet jeune, au-delà, le tracé est compatible avec une hypertrophie ventriculaire gauche (HVG).

*Un autre indice, celui de Cornell qui correspond à la somme de R en aVL et S en V3, il doit être inférieur à 20 mm chez la femme et à 28 chez l'homme, au-delà, le tracé est compatible avec une hypertrophie ventriculaire gauche (HVG).

Morphologie : *Elle est variable selon les dérivations.

* il faut retenir l'absence d'onde q en précordiales droites, celle-ci peut apparaître dans les autres dérivations où elle doit rester fine (<0,04s) et peu profonde (inférieure à ¼ de l'amplitude de QRS) sauf en aVR et DIII où elle peut être prédominante. L'onde Q en DIII diminue ou même disparaît en inspiration profonde, c'est l'onde Q positionnelle.

NB : Si l'onde Q est large et profonde, elle doit être présente dans deux dérivations contigües pour être considérée comme pathologique

* Le rapport R/S est inférieur à 1 en V1 et supérieur à 2 en V6. Dans le cas contraire, le tracé suggère une hypertrophie ventriculaire droite (HVD).

* L'onde R croît de V1 à V5, et l'onde S décroît de V2 à V6 .La dérivation où l'onde R a une amplitude égale à celle de l'onde S est appelée zone de transition, et se situe généralement en V3-V4.

* Dans les dérivations frontales, la morphologie est beaucoup plus variable, selon l'axe électrique.

-Le segment ST :

Le segment est normalement isoélectrique. Il faut connaître toutefois la fréquence des sus-décalages de ST et du point J pouvant atteindre 2 à 3 mm dans les précordiales moyennes (V2-V5) chez des sujets souvent normaux.

-L'onde T :

L'onde T est habituellement de faible amplitude (maximum < 2/3 du complexe QRS et minimum > 10% de l'onde R) asymétrique avec une pente ascendante plus faible que la pente descendante, et généralement de même sens que QRS ; elle est normalement positive en DI, DII, aVF en V2 à V6 en et négative en aVR. Une onde T diphasique ou négative en DIII, aVL et V1 doit être considérée comme physiologique.

-L'intervalle QT :

Il se mesure du début de complexe QRS à la fin de l'onde T, varie en fonction de l'âge, le sexe et surtout de la fréquence et se corrige selon la formule de Bazett : $QTc = QTm / \sqrt{RR}$ en seconde ou $QTc = QTm / \sqrt{60/FC}$.

Il doit être inférieur à 0.43s chez l'homme et à 0.45 chez la femme

Références :

1- Standardization of precordial leads. Joint recommendations of the American Heart Association and the Cardiac Society of Great Britain and Ireland » *Am Heart J.*

1938;15:235-9

2- Guide Pratique de l'ECG - J.Sende. Ed.ESTEM. 2003.