

Chapitre III : ELECTROCARDIOGRAMME (ECG)

Généralités

Le myocarde possède une activité contractile automatique propre (c'est-à-dire qu'il n'y a pas besoin de stimulation nerveuse pour déclencher une activité).

Néanmoins cette activité est influencée, « régulée » par les systèmes nerveux sympathique et parasympathique.

Cet automatisme est formé de fibres myocardiques modifiées, riches en sarcoplasme et en glycogène.

3.1. Propriétés électro physiologiques des cellules cardiaques :

Les cellules cardiaques sont entourées d'une membrane siège de mécanismes actifs de passage de différents ions aboutissant à des différences de concentration ionique de part et d'autre de la membrane cellulaire. Ainsi le sodium est 10 fois plus concentré à l'extérieur qu'à l'intérieur de la cellule; la concentration intracellulaire de potassium est 30 fois supérieure à sa concentration extracellulaire; la concentration extracellulaire de calcium est très supérieure à sa concentration intracellulaire.

Les différences de concentration de ces particules chargées électriquement aboutissent à des différences de potentiel entre l'intérieur et l'extérieur de la membrane cellulaire.

Au repos, l'intérieur de la cellule est chargé négativement et sa surface positivement réalisant une différence de potentiel de -90mV : c'est le potentiel transmembranaire de repos. Lorsque la cellule est excitée par un stimulus électrique, mécanique ou chimique, des modifications transitoires de la membrane vont aboutir à une entrée brutale de sodium, suivie d'une entrée de calcium et d'une sortie de potassium. La différence de potentiel passe alors de -90mV à environ $+20\text{mV}$. C'est le potentiel d'action.

Puis survient la phase de repolarisation, plus lente, ramenant la membrane cellulaire dans son état électrique initial.

3.1.1. Potentiel d'action des cellules du myocarde :

Lors de la contraction des cellules cardiaques, des échanges ioniques se déroulent et définissent ainsi le potentiel d'action, présenté sur la **figure 1** qui comprend 5 phases successives :

La phase 0 ou dépolarisation rapide : après une excitation électrique au-dessus du seuil d'activation de la cellule, un flux rapide d'ions Na^+ rentre dans la cellule et inverse rapidement la polarité de la cellule.

La phase 1 ou début de repolarisation : elle est caractérisée par une repolarisation rapide et de courte durée, due à l'inactivation des canaux Na^+ et au flux sortant d'ions de potassium K^+ .

La phase 2 ou plateau : elle correspond à la phase de repolarisation lente. Elle est due à l'entrée lente des ions Ca^{++} dans la cellule qui atténue l'influence des canaux K^+ continuant à sortir, ralentissant ainsi la phase de repolarisation.

La phase 3 ou repolarisation : elle correspond à la phase de repolarisation finale, et se caractérise par la fermeture de canaux ioniques spécifiques qui ramène la cellule au potentiel de repos original.

Durant cette phase, les ions K^+ sont toujours sortants tandis que le potentiel de la cellule tend vers son seuil de repos.

La phase 4 : elle correspond au potentiel de repos, où la cellule est plus facilement excitable.

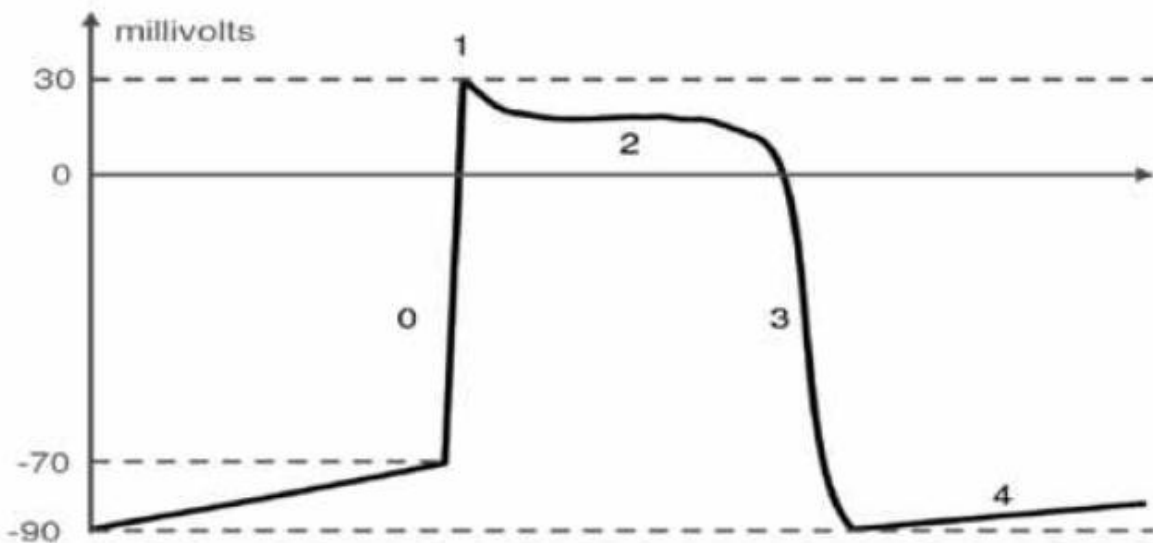


Figure 1. Les cinq phases du potentiel d'action d'une cellule du muscle myocardique.

3.2. Tissu nodal:

Le nœud sinusal ou nœud sino auriculaire nommé Nœud de Keith & flack, structure de 10 mm de diamètre dans l'oreillette droite, là où s'abouche la veine cave supérieure

Le nœud atrio-ventriculaire ou nœud auriculo-ventriculaire nommé Nœud d'Aschoff-Tawara, structure de 5mm de diamètre à la partie postérieure de la cloison inter auriculaire, à proximité de la valve tricuspide, travaille en ralentissant l'onde de dépolarisation du nœud sinusal.

Le faisceau atrio-ventriculaire nommé faisceau de HIS, structure se situant dans la cloison inter ventriculaire et se divisant en branche droite et gauche.

Le réseau de Purkinje, structure qui chemine sur la face interne des deux ventricules(**Fig.02**) .

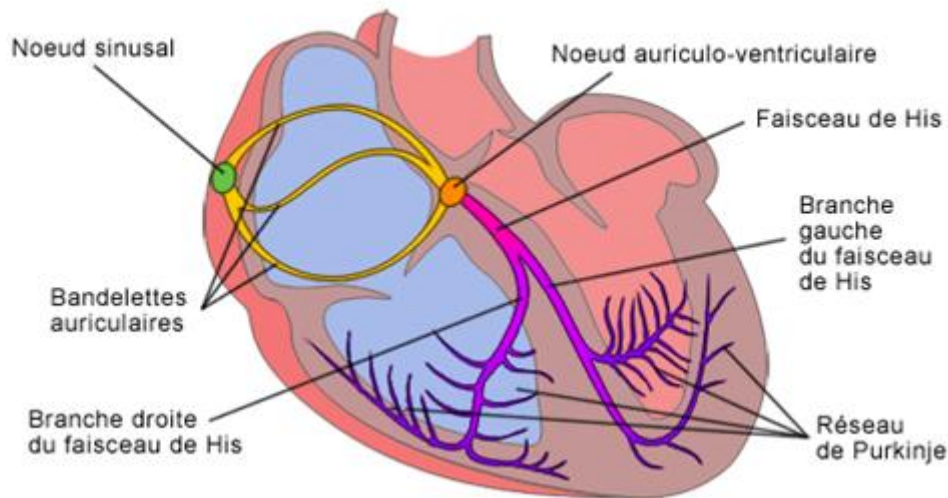


Figure 02 : Tissu nodal du cœur

3.2.1 Fonctionnement nodal

3.2.1.1. Automatisme et conductivité

Le cœur comprend un système de conduction électrique automatique qui assure chacun de ses battements.

Tout le processus d'activation part du nœud sinusal dans les conditions normales. L'activation spontanée se produit dans le nœud sinusal situé en haut de l'oreillette droite comme illustré dans **la figure 02** ci-dessus, dans le nœud sinusal, situé au pied de la veine cave supérieure. Cette onde diffuse ensuite à travers les deux oreillettes, atteint le nœud auriculo-ventriculaire d'ASCHOFF-TAWARA.

L'onde de dépolarisation subit un ralentissement à ce niveau, puis parcourt le système HIS-PURKINJE. Le tronc du faisceau de His se bifurque en deux branches droite et gauche :

La branche droite parcourt la bandelette ensiforme du ventricule droit.

La branche gauche se divise presque immédiatement en deux faisceaux antérieur et postérieur.

Le réseau de Purkinje s'étend en toile d'araignée sous l'endocarde des deux ventricules.

L'onde de dépolarisation atteint enfin le myocarde indifférencié, qui se dépolarise de l'endocarde vers l'épicarde.

Le ralentissement de l'onde de dépolarisation, au niveau du nœud auriculo-ventriculaire, permet aux ventricules d'être stimulés avec un certain retard par rapport aux oreillettes, ce qui favorise le **remplissage ventriculaire**, passif complété en fin de diastole par la contraction auriculaire.

L'activation électrique auriculaire a une durée d'environ 0,10 seconde en moyenne. Le ralentissement auriculo-ventriculaire dure en moyenne de 0,12 à 0,20 seconde, et l'activation des ventricules se fait habituellement de 0,06 à 0,08 seconde.

Lorsque l'onde de dépolarisation à quitter les voies de conduction spécialisées, il se propage dans le myocarde indifférencié. Pendant les deux premiers centièmes de seconde, c'est la région moyenne du septum qui est dépolarisée, de gauche à droite. Puis la partie restante du septum et des ventricules est à son tour activée, à l'exception de la région basale. La dépolarisation se fait à ce niveau de l'endocarde vers l'épicarde. Durant les deux derniers centièmes de seconde, c'est la partie basale des deux ventricules et du septum qui sont activées.

3.3. Technique d'enregistrement de L'ECG

3.3.1. L'enregistrement

Il se fait sur un papier millimétré, déroulant à vitesse constante. Le papier millimétré est composé de carrés de 5 mm x 5 mm. Ces carrés sont subdivisés en carrés plus petits d'1 mm de côté. Dans les conditions standards, le papier est déroulé à la vitesse de 25 mm à la seconde, de sorte qu'un mm correspond à 0,04 seconde, et 5 mm à 0,20 seconde. L'étalonnage standard de l'électrocardiogramme enregistre en ordonnée une déflexion de 10 mm pour un voltage de 1 mv. Un étalonnage correct est indispensable à l'interprétation des tracés.

Afin d'enregistrer l'activité électrique du cœur de manière globale un certain nombre d'électrodes sont nécessaires. On distingue ainsi les électrodes unipolaires et les bipolaires. La ligne théorique reliant 2 électrodes est appelée ligne de dérivation. Ainsi les trois lignes de dérivation constituent les côtés d'un triangle équilatéral dont le centre est occupé par le cœur constituant **le triangle d'Einthoven(Figure.3)**

L'ECG standard comporte au minimum 12 dériviations, 6 dans le plan frontal (les dériviations des membres) : D1, D2, D3, aVR, aVL, aVF, et 6 dans le plan horizontal (les dériviations précordiales) : V1 à V6.

Il se traduit en général par un tracé regroupant 12 dériviations conventionnelles

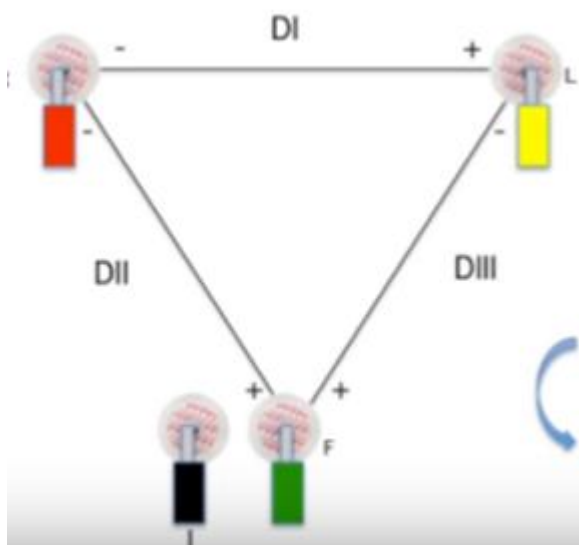


Figure 3. Triangle d'Einthoven

3.3.1.1 Dérivations

Leur utilisation est purement conventionnelle, sans base logique ou scientifique

Il existe deux types de dérivations:

A)-Dérivations frontales ou périphériques :

Ce sont "les dérivations des membres " : D1, D2, D3 (bipolaires) , aVR, aVL, et aVF (unipolaires)

D1, D2, D3 sont des dérivations bipolaires qui traduisent la différence de potentiel entre deux membres :

D1 : entre bras droit (pôle -) et bras gauche (pôle +)

D2 : entre bras droit (pôle -) et jambe gauche (pôle +)
D3 : entre bras gauche (pôle -) et jambe gauche (pôle +)

D1, D2, et D3 décrivent le triangle d'Einthoven(**figure 03 voir ci-dessus**).

aVR, (amplified voltage right) aVL(amplified voltage left), et aVF(amplified voltage foot) sont des dérivations unipolaires et correspondent au membre avec lequel elles sont connectées soit respectivement le bras droit, le bras gauche, et la jambe gauche. C'est la théorie de Wilson et Golberger, où l'électrode exploratrice positive correspond au membre appliqué. Le voltage est alors amplifié (d'où le préfixe a) pour obtenir un tracé de même amplitude que **D1, D2, D3**.

B)- Dérivations précordiales :

Ce sont des dérivations unipolaires fixées en des points définis sur la paroi thoracique désignés par Wilson.

On les nomme pour les dérivations standards : **V1 à V6 (figure 04) :**

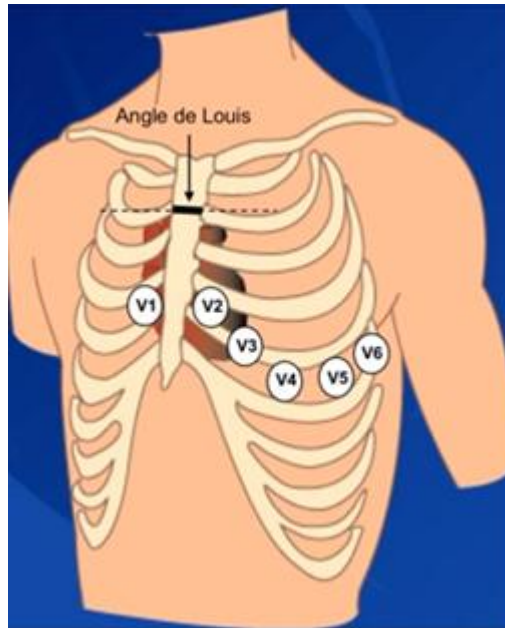


Figure 04 .Dérivation précordiales

V1 est placée sur le 4ème espace intercostal droit, au bord droit du sternum.

V2 est placée sur le 4ème espace intercostal gauche, au bord gauche du sternum.

V4 est placée sur le 5ème espace intercostal gauche, sur la ligne médioclaviculaire.

V3 est placée entre V2 et V4.

V5 est placée sur le 5ème espace intercostal gauche, sur la ligne axillaire antérieure.

V6 est placée sur le 5ème espace intercostal gauche, sur la ligne axillaire moyenne. Il est possible d'utiliser trois dérives précordiales supplémentaires pour explorer la face postérieure du cœur :

V7 , V8, V9 qui sont à placer sur le 5ème espace intercostal gauche, respectivement sur la ligne axillaire postérieure, sur la ligne médioscapulaire, et sur la ligne scapulo-vertébrale.

De même que pour les dérives frontales, il est possible d'apercevoir les régions explorées par ces dérives:

V1 et V2 : les parois ventriculaires droite et septale.

V3 et V4 : les parois antérieures du septum et du ventricule gauche.

V5 et V6 : la paroi latérale du ventricule gauche.

Le tracé E.C.G. est l'enregistrement des courants d'action produits par le muscle cardiaque.

Il se traduit en général par un tracé regroupant 12 dérives conventionnelles

3.3.1.2 .L'Electrocardiographie

A)- Le signal électrocardiogramme (ECG) :

Le signal électrocardiogramme ECG est l'enregistrement de l'activité électrique du cœur. Ce

signal électro physiologique est sous forme d'une série d'ondes électriques, aux **formes** et **durées particulières**, qui se répètent à **chaque cycle cardiaque**. En réalité, ces ondes traduisent les différents phénomènes mécaniques et électriques relatifs au parcours du potentiel d'action et dont les étapes sont successives comme illustré dans la **figure 05**.

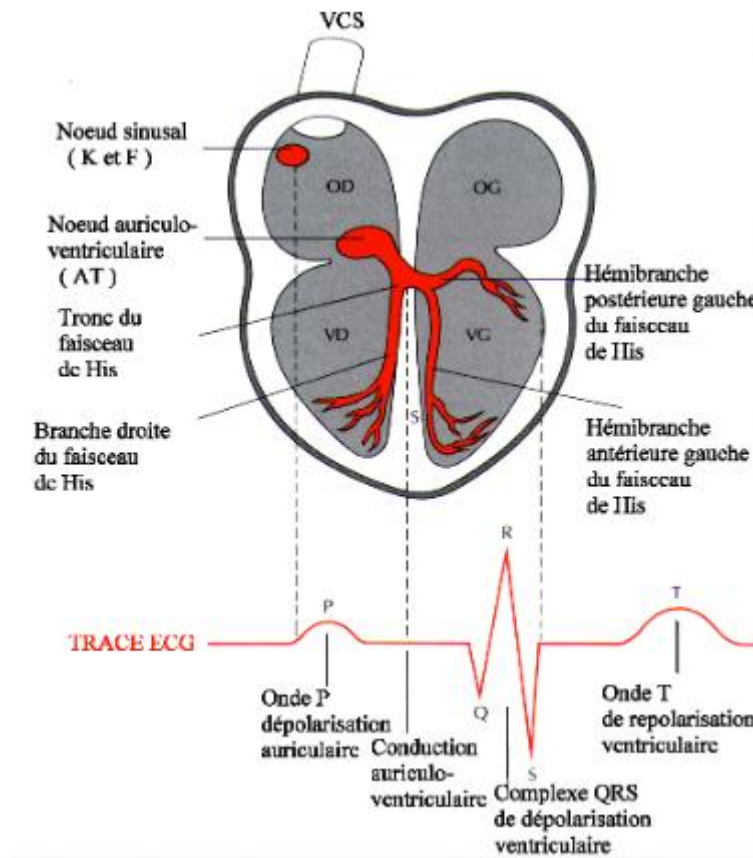


Figure05. Morphologie du signal ECG normal sur un cycle cardiaque.

B)- Les ondes du signal ECG :

Sur le signal électrocardiogramme ECG, le processus de contraction et de décontraction du myocarde se présentent comme une séquence de déflexions positives et négatives superposées à une ligne de potentiel zéro (ligne de base) qui correspond à l'absence des phénomènes cardiaques comme illustré dans la **figure 05**. Par convention, on attribue aux ondes principales de l'ECG les lettres P, Q, R, S, T suivie parfois d'une onde U

1)-Morphologie

L'onde de base est

soit positive : la propagation de l'activation électrique se fait en direction de l'électrode

soit négative : l'activation électrique se dirige à l'opposé de l'électrode ,

soit isoélectrique : zone de transition ou d'inactivité-.

La morphologie varie en fonction de l'amplitude apparente de l'onde d'activation, qui est sous la dépendance de la direction à partir de laquelle elle est perçue ; la morphologie varie donc en fonction de l'emplacement de l'électrode d'enregistrement. Chaque dérivation est un œil qui regarde le vecteur électrique se déplacer.

2)- Amplitude

Elle résulte de la quantité de matière en action, qui est fonction de la somme de la quantité de matière stimulée et de la quantité de matière traversée.

3)- L'onde de base

Trois déflexions sont reconnaissables, à savoir l'onde P, le complexe QRS, et l'onde T, suivie parfois d'une onde U.

4)-Durée

Chaque déflexion de l'onde de base est caractérisée par sa durée et la durée de chaque onde est déterminée par les caractéristiques conductrices des cellules. Une durée allongée est le signe d'une pathologie de la conduction, que celle-ci soit organique ou fonctionnelle.

5)-Nomenclature du complexe QRS

La présence et la taille relative des différents composants sont désignées par les lettres q, r, s, Q, R, S, T et U. Les grandes déflexions sont désignées par une lettre majuscule appropriée. Les petites déflexions sont désignées par une lettre minuscule appropriée.

La première onde positive est nommée r ou R. Une onde négative est nommée q ou Q si elle précède r ou R, s ou S si elle suit r ou R. Toute onde entièrement négative est dénommée qs ou QS. Toute seconde onde positive est nommée r' ou R'.

Une remarque importante concerne aVR : aVR regarde la cavité cardiaque par sa face endocardique, et la dépolarisation se fait de l'endo vers l'épicarde, en conséquence de quoi aVR est toujours négatif, et un aspect QS peut être normal en aVR.

6)-Tracé normal

Deux obstacles majeurs se potentialisent devant un tracé à interpréter :

d'une part, il existe une grande variété d'images électrocardiographiques différentes pour les 12 dérivations d'un même sujet normal, et d'autre part il existe une grande variété d'images électrocardiographiques d'une dérivation quelconque dans une population de sujets normaux.

7)-Critères de normalité

Ils existent pour les dérivations membres et pour les dérivations précordiales. Durée, amplitude, morphologie, territoire concerné seront successivement analysés.

Cette analyse est cependant étroitement liée aux conditions techniques d'enregistrement.

L'étalonnage de l'appareil doit être tel qu'un test de 1 millivolt provoque un signal rectangulaire de 1 cm de haut. La vitesse de déroulement est habituellement de 25 mm/seconde, chaque millimètre correspond alors à 0,04 seconde, 5 millimètres à 0,20 secondes et 25 millimètres à 1 seconde.

La ligne isoélectrique doit dans la mesure du possible être horizontale et nette, exempte de parasites, et les câbles doivent être branchés dans le bon ordre. De multiples moyens mnémotechniques existent pour cela, le plus simple étant « la Route Nationale traverse la Prairie Ensoleillée » où il suffit de savoir que R = Rouge et Right.

Le tracé doit comporter au minimum les 12 dérivations principales, dans l'ordre : DI, DII, DIII – dérivations bipolaires -, puis aVR, aVL, aVF

- dérivations unipolaires des membres -, puis les six précordiales de V1 à V6.

8)-Règles de base de la lecture rapide

Dépolarisation électrique et repolarisation se succèdent chronologiquement, mais : la repolarisation dépend de la dépolarisation, qui dépend de la conduction, qui dépend de la fréquence cardiaque, qui dépend du rythme. Il faut donc lire un ECG dans l'ordre logique, pour repérer toutes les anomalies et pour proposer une synthèse. Cette synthèse sera d'autant plus précise que le contexte clinique sera précis.

3.4. Eléments (complexe P QRS T et normes d'un ECG

Sur un tracé électrocardiographique (Figure 6)

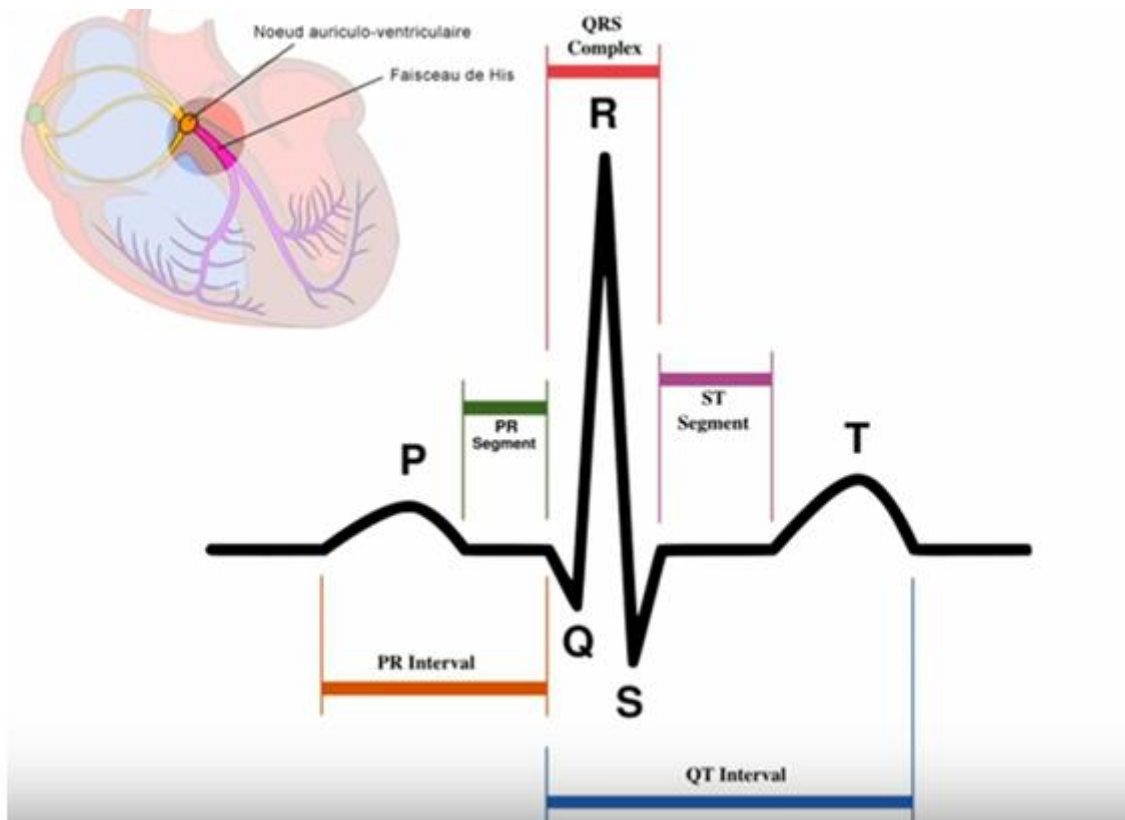
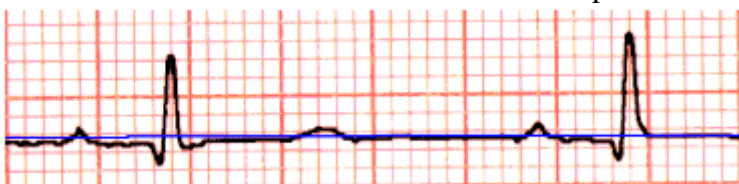


Figure 6. Complexe P QRS T

le premier repère est **la ligne isoélectrique**. Elle est la ligne de base correspondant à l'absence de phénomène électrique. Au-dessus de celle-ci, on parle d'onde positive, en dessous, d'onde négative. Une onde peut être aussi diphasique si une partie de celle-ci se situe au-dessus et l'autre partie au-dessous de la ligne isoélectrique.

Toutes les ondes se mesurent du début de leur phase initiale, à la ligne isoélectrique



L'onde P : Elle est l'onde de dépolarisation auriculaire.

Elle est de forme arrondie, souvent positive, de faible amplitude (1 à 3 mvolts) et de moins de 0,12 seconde en D2.



Le complexe QRS :

Il correspond à l'activation et à la dépolarisation des ventricules de l'endocarde vers l'épicarde, il est constitué de trois segments :

L'onde Q : première déflexion négative : activation septale.

L'onde R : première déflexion positive : activation pariétale du VG.

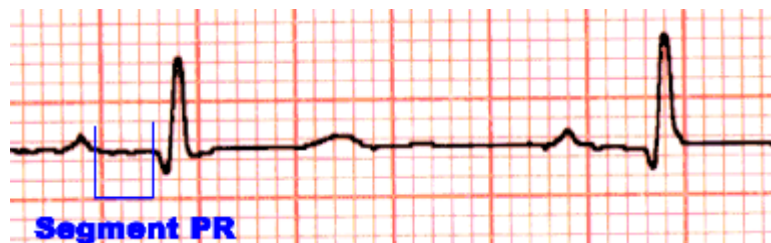
L'onde S : déflexion négative qui suit l'onde R : activation basale du VG. La durée de l'ensemble QRS varie de 0,06 à 0,1 seconde (3 à 5 petits carreaux) et se mesure du début du QRS jusqu'à la fin de l'onde S ou R, selon le cas.

L'amplitude se mesure en mm et, par convention, une onde d'amplitude < 5 mm s'écrit en minuscules : q, r, s. Cette convention permet de décrire différents aspects : qRS, QrS, QS, RS, rSr'



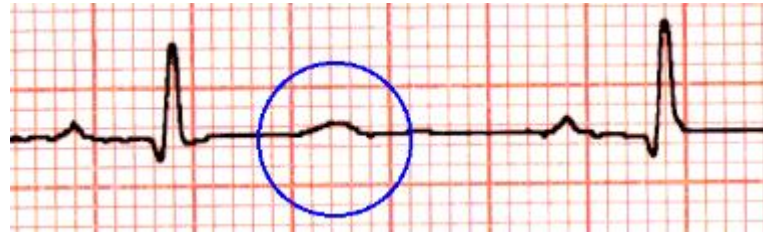
Le segment PR : Il correspond à la pause d'1/10e de seconde entre l'activation auriculaire et l'activation ventriculaire, par le passage de l'influx du Nœud auriculo-ventriculaire au faisceau de His.

Il se mesure de la fin de l'onde P jusqu'au début du QRS et correspond à 0,03 à 0,04 seconde (moins de 2 petits carreaux).



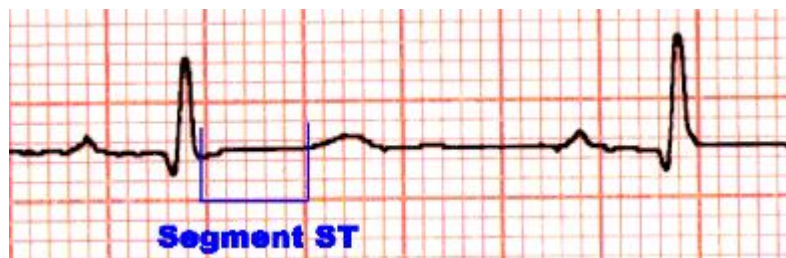
L'onde T : Elle est la période de repolarisation ventriculaire

C'est l'inhibition de l'excitation ventriculaire de l'épicarde vers l'endocarde. Elle est asymétrique, d'une branche ascendante légèrement oblique et d'une branche descendante plus abrupte. Son amplitude est inférieure à 2 mm.



Le segment ST : Il correspond à la période d'excitation uniforme des ventricules jusqu'à la phase de récupération des ventricules.

On le mesure de la fin de l'onde S ou R jusqu'au début de l'onde T. Il est normalement horizontal ou légèrement oblique +/- isoélectrique. Un sus-décalage ou un sous-décalage de plus d'1 mm par rapport à la ligne isoélectrique est anormal



L'onde U : C'est le témoin d'une repolarisation tardive de zones myocardiques d'amplitude inscrite entre celle de l'onde P et de celle de l'onde T. Elle est inférieure à $\frac{1}{4}$ de l'amplitude de l'onde T.



L'intervalle PR : C'est le temps de conduction auriculo-ventriculaire.

C'est le temps nécessaire à l'influx pour dépolariser les oreillettes puis franchir le Noeud auriculo-ventriculaire et le tronc du faisceau de His.

Il se calcule à partir du début de l'onde P en allant jusqu'au début du QRS.

Il est de 0,12 à 0,23 seconde.



L'intervalle QT : C'est l'intervalle de dépolarisation (QRS), d'excitation (ST) et de repolarisation (T) des ventricules.

Il se mesure du début du QRS jusqu'à la fin de l'onde T.



3.5. ECG normal

-Le premier élément à observer est la ligne isoélectrique ou ligne de base, (en rouge sur le schéma ci-dessous)

La position (en dessous ou en dessus) des différentes ondes par rapport à cette ligne isoélectrique.

3.5.1. Electrocardiogramme à fréquence normale

L'extrait ECG ci-dessous montre une fréquence normale (60/min), un rythme régulier (car les espaces entre les QRS sont identiques) et sinusal (car chaque onde P est suivi d'un QRS).

Trois questions sont incontournables :

- **Quelle est la fréquence cardiaque ?**

Une fréquence normale se situe entre 50 à 100/minute. En dessous de 50/min, nous parlons de bradycardie, au-dessus de 100/min, nous parlons de tachycardie.

- **Est-ce que le rythme cardiaque est régulier ou irrégulier (arythmie) ?**

Sur un ECG normal, l'espace entre 2 QRS est toujours le même quel que soit le moment de l'enregistrement (en vert sur le schéma suivant). Cette question est fondamentale pour détecter les arythmies.

- **Est-ce que le rythme est sinusal (ou normal) ?**

Chaque onde P doit être suivie d'un QRS. Cette question va permettre de repérer des troubles de la conduction entre les oreillettes et les ventricules.

L'extrait ECG ci-dessous montre une fréquence normale (60/ min), un rythme régulier (car les espaces entre les QRS sont identiques) et sinusal (car chaque onde P est suivi d'un QRS).



3.6. Troubles du rythme cardiaque

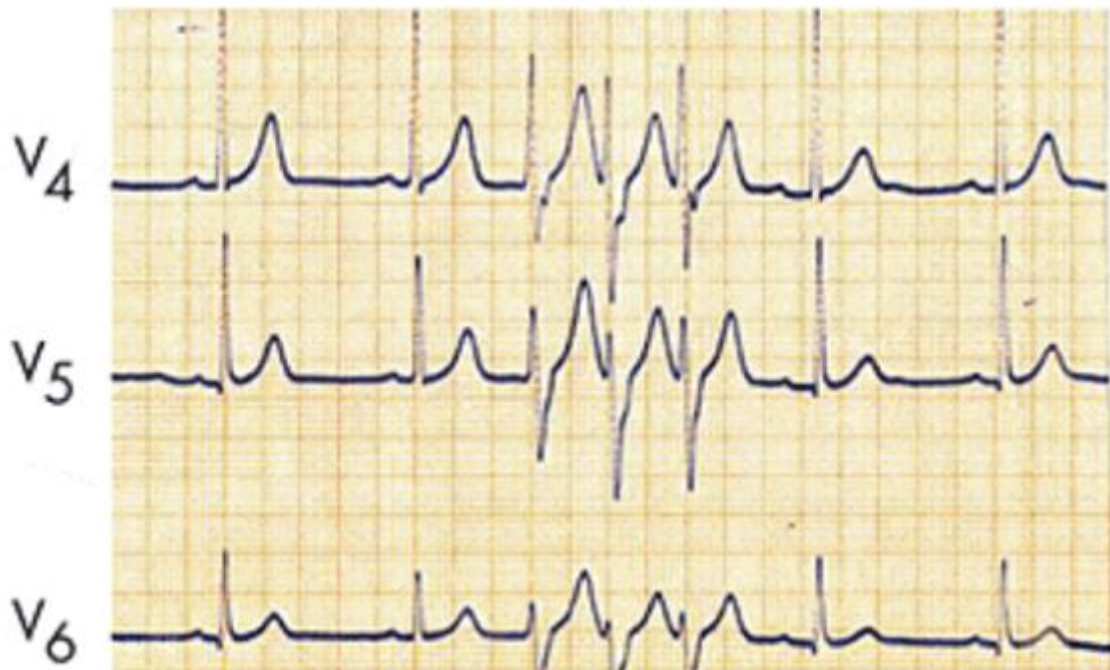
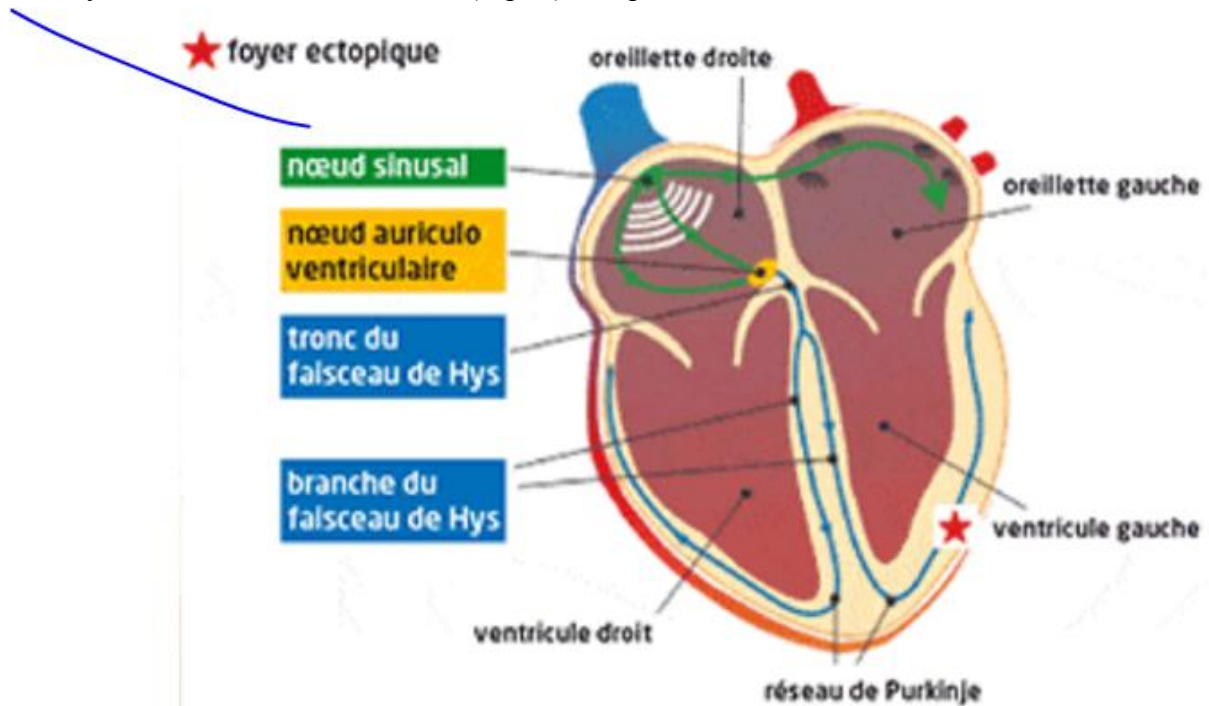
Ils désignent des battements du cœur trop lents (**bradycardie**), trop rapides (**tachycardie**) ou irréguliers (**arythmie**). Ils sont d'origines variées et non dénués de conséquences en absence de prise en charge rapide et efficace : des extrasystoles ventriculaires en passant par une tachycardie sinusale (suite à un effort physique par exemple) jusqu'à la fibrillation ventriculaire (arrêt cardiaque).

3.6.1. Extrasystoles

D'une manière générale, les extrasystoles sont des contractions prématurées issues d'un foyer ectopique (**Un foyer ectopique désigne une excitation cardiaque anormale**) qui peut être situé au niveau auriculaire, auriculo-ventriculaire ou ventriculaire.

Dans le cas des extrasystoles ventriculaires ou ESV (étoile rouge), cela correspond à la dépolarisation (contraction) spontanée d'un petit groupe de cellules situées au niveau des ventricules. Elles peuvent être uniques et isolées, nombreuses ou par salves avec un risque majeur de passage en fibrillation ventriculaire. Sur l'ECG suivant, nous pouvons apercevoir

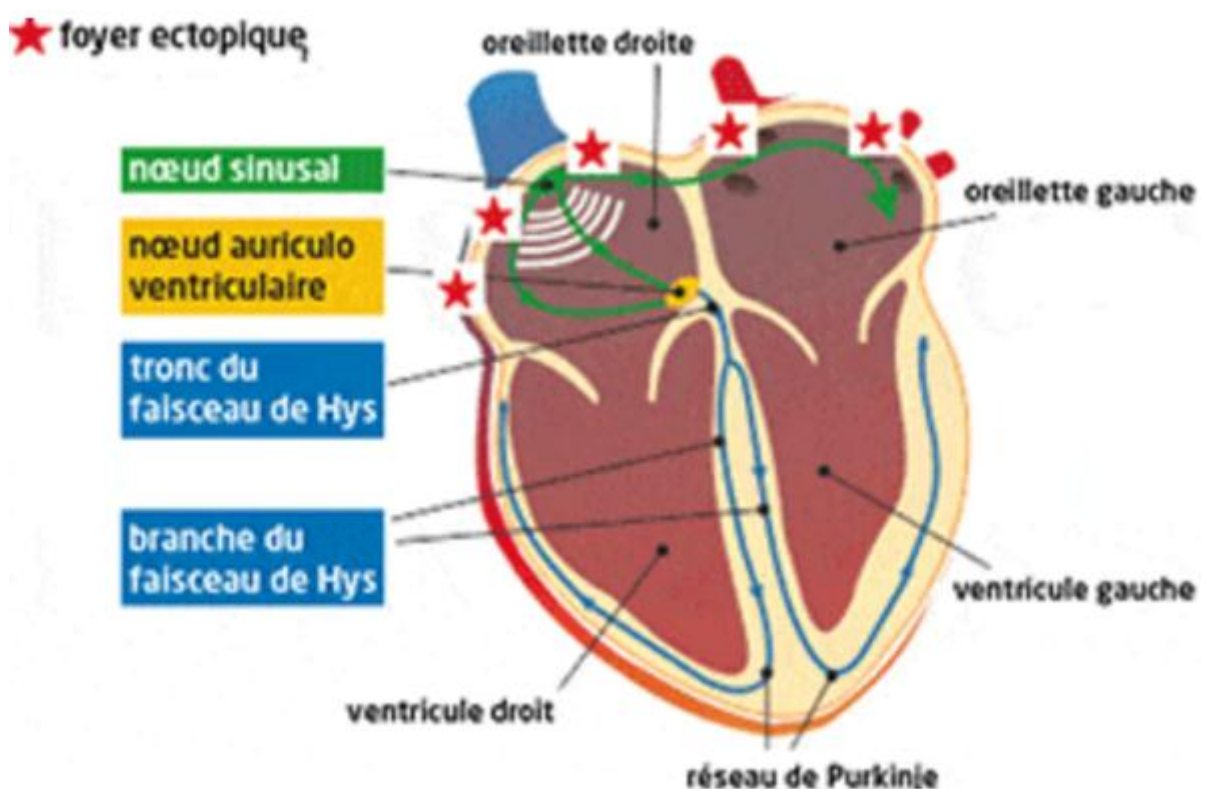
extrasystoles ventriculaires d'affilé (triplet) non précédées d'une onde P.

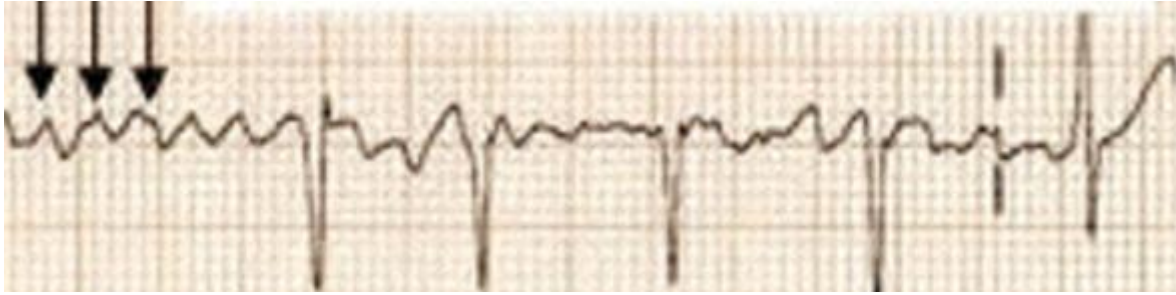


3.6.2. La fibrillation auriculaire

La fibrillation auriculaire est la contraction irrégulière, anarchique et rapide (environ 300/mn) des oreillettes du cœur (flèches noires sur l'ECG). Cela s'explique par une hyperexcitabilité des oreillettes liée la présence de nombreux foyers ectopiques (étoiles rouges) au niveau des oreillettes qui déchargent en même temps. Les ventricules tentent de suivre ce rythme infernal

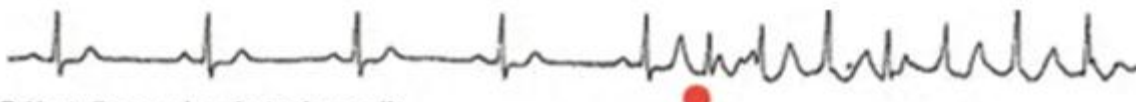
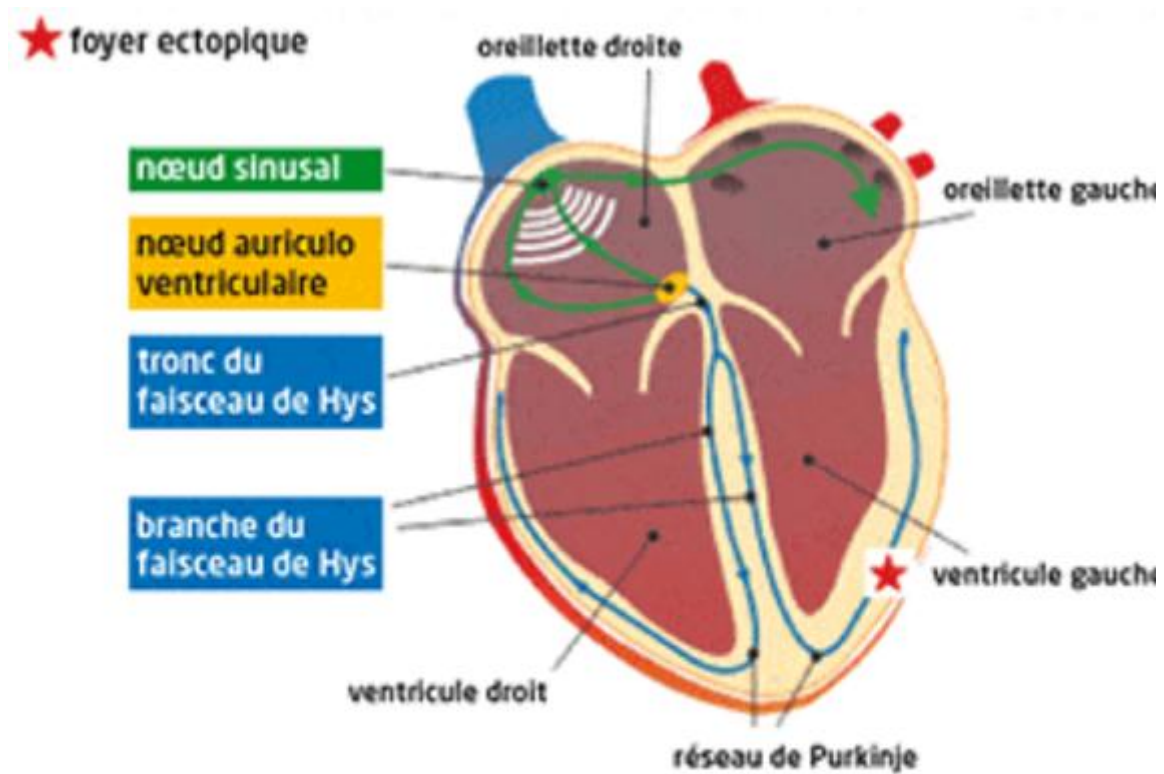
des oreillettes et par conséquent se mettent à battre irrégulièrement. Cela s'appelle l'**arythmie complète par fibrillation auriculaire** (ACFA). Lorsque le rythme des ventricules est très rapide et irrégulier, cela s'appelle la **Tachyarythmie Complète par Fibrillation Auriculaire** (TACFA). Cela nécessite une prise en charge rapide car les oreillettes ne se contractent plus efficacement et le sang stagne. Le risque majeur est la formation d'un **thrombus**, source d'un AVC ou d'une embolie pulmonaire. Un traitement par anticoagulant et antiarythmique, voire un choc électrique externe, doit être mis en place rapidement.





3.6.3. Tachycardie ventriculaire

Le rythme naît au niveau d'un foyer ventriculaire (FC supérieure à 120/min), qui est régulier, rapide avec des QRS larges (étoile rouge). Cela peut être plus ou moins bien toléré par le patient et il existe un risque majeur de passage en fibrillation ventriculaire (donc d'arrêt cardiaque). Un traitement médicamenteux doit être mis en place rapidement.



Début d'une crise de tachycardie

3.6.4 Fibrillation ventriculaire

La fibrillation ventriculaire correspond à une décharge simultanée d'une multitude de foyers **ectopiques** au niveau des ventricules (étoiles rouges). Il en résulte une activité électrique complètement anarchique et désordonnée. Il n'y plus de contractions ventriculaires efficaces, le sang n'est plus éjecté dans la circulation générale : c'est une des causes d'arrêt cardio-respiratoire.

C'est une urgence absolue qui nécessite une réanimation rapide et efficace avec un massage cardiaque externe, une défibrillation précoce et une ventilation manuelle. Le traitement de la fibrillation ventriculaire est le choc électrique externe afin de resynchroniser toutes les cellules du myocarde.

