

Chapitre I

LA CARDIOLOGIE

Présentation

Dans ce chapitre, nous introduisons le domaine applicatif en commençant par un flash sur l'anatomie du cœur, son fonctionnement, sa physiologie, ses activités et ses différentes pathologies.

I.1. Anatomie du cœur :

Le système cardiovasculaire a pour fonction d'assurer à l'ensemble de l'organisme la distribution en oxygène et en nutriments. L'organe moteur de ce système est le cœur. Le cœur humain est un organe creux qui mesure en moyenne 13 cm de long sur 8 cm de large, et qui pèse environ 300 grammes chez l'homme adulte, 250 grammes chez la femme. Il se situe dans la partie antérieure caudale du médiastin, la partie centrale du thorax (vers le front de la cavité thoracique et est légèrement déplacé vers la gauche). Sa forme est similaire à un cône inversé (sa base vers le haut et à droite et son apex en bas et à gauche).

Un cœur normal est une puissante pompe musculaire qui propulse le sang vers les organes, les tissus et les cellules de l'organisme pour apporter l'oxygène et les éléments nutritifs à chaque cellule du corps et retirer le dioxyde de carbone et les déchets produits par ces cellules. Il permet de pomper, au repos, environ 4 à 5 litres de sang (chargé d'oxygène au niveau des poumons) par minute. Il possède sa propre énergie électrique et assure lui-même son alimentation en oxygène.

Il est formé essentiellement d'un muscle (*le myocarde*), qui est entouré d'un "sac" séreux (*le péricarde*) et tapissé à l'intérieur par une fine membrane (*l'endocarde*). Il est séparé en deux parties, droite et gauche, par une barrière musculaire, le septum. Chaque partie est composée d'un ventricule et d'une oreillette séparés par la valve tricuspide pour la partie droite, et la valve mitrale pour la partie gauche, donc il comprend quatre cavités. **(Figure I.1) [1]+ [2] + [3]**

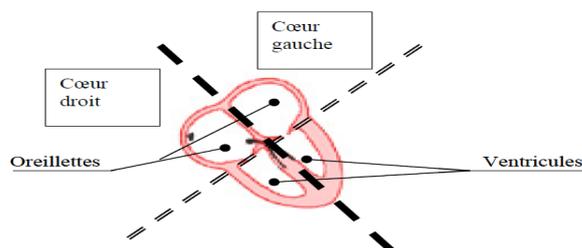


Figure I.1 : Les cavités cardiaques

Le myocarde est la partie véritablement active du cœur, elle est constituée majoritairement de cellules musculaires myocardiques, mais aussi de cellules nodales

pouvant être conductrices, comme elles peuvent générer spontanément des potentiels d'action :

I.1.1. Les cellules musculaires cardiaques :

Les cellules musculaires cardiaques sont des fibres contractiles, soudées les unes aux autres grâce à des disques intercalaires. Elles se distinguent des fibres musculaires striées, non seulement par leurs caractéristiques histologiques, mais aussi par leur fonctionnement. Elles conduisent l'influx électrique. [2]

I.1.2. Les cellules nodales :

Les cellules nodales constituent un groupe de cellules cardiaques réunies par certaines propriétés : peu contractiles, génératrices, conductrices et régulatrices du potentiel d'action (leur potentiel de repos est instable). On distingue essentiellement (figure I.2) :

- **Le nœud sinusal** : c'est une structure de 15 mm sur 5 mm. C'est un ensemble de cellules auto-excitables et synchronisées. Il génère des décharges spontanées à la fréquence de 60 à 100 battements par minute. Il constitue le centre d'automatisme primaire pour le cœur.
- **Le nœud atrio-ventriculaire** : c'est une structure de 6 mm sur 5 mm. Il ralentit l'influx d'un dixième de seconde et protège ainsi les ventricules d'un rythme primaire trop rapide.
- **Le faisceau de His**: longueur de 1 à 2 cm, c'est un centre d'automatisme secondaire. Non seulement il propage l'influx de l'étage auriculaire à l'étage ventriculaire mais aussi, il est capable de décharger spontanément des impulsions de 40 à 60 battements par minute. Il se sépare en deux branches : la branche droite et la branche gauche.
- **Le réseau de Purkinje** : c'est la ramification terminale des deux branches droites et gauches du faisceau de His. Il propage l'influx électrique dans tout le muscle ventriculaire. Il est un centre d'automatisme tertiaire, capable de générer spontanément des impulsions de 20 à 40 battements par minute. [2] + [4]

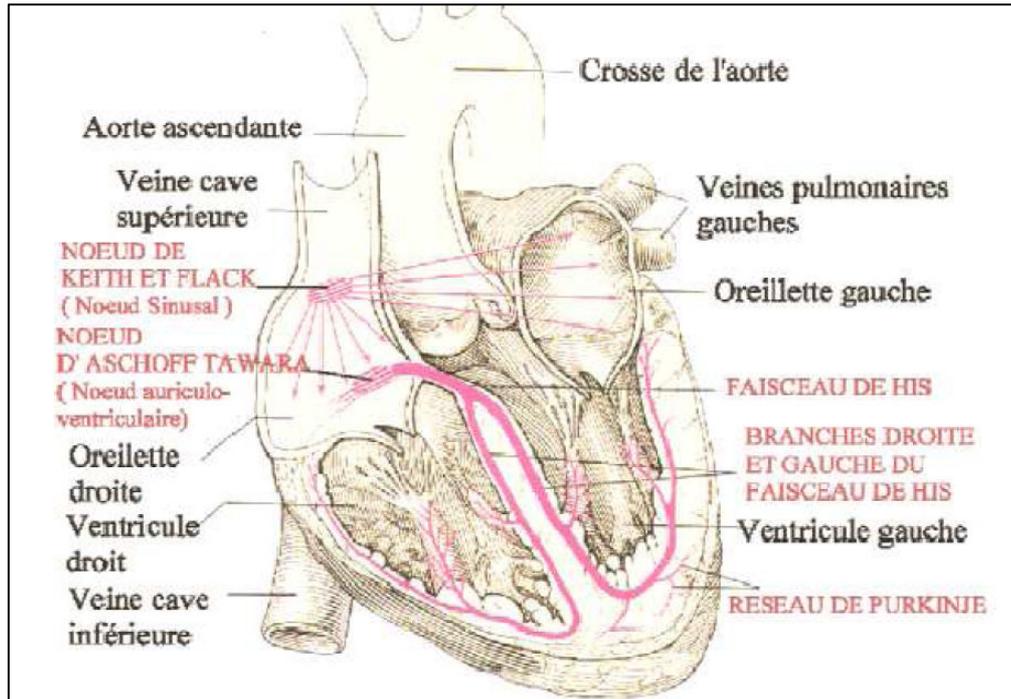


Figure I.2 - Topologie des cellules nodales.

I.2. Fonctionnement du cœur

La fonction du cœur est d'assurer la circulation sanguine dans l'organisme. Après ouverture de la valve tricuspide, ce sang est transféré vers le ventricule droit pour être envoyé vers les poumons via l'artère pulmonaire : c'est "la petite circulation" qui est assurée par la partie droite du cœur. La partie gauche du cœur assure quand à elle "la grande circulation: le sang oxygéné en provenance des poumons arrive dans l'oreillette gauche par la veine pulmonaire. , le sang riche en oxygène est transféré vers le ventricule gauche pour être propulsé vers tout le corps à travers l'aorte. L'activité des deux parties du cœur est totalement synchrone. [1] + [5]

Le cœur fonctionne d'une façon cyclique (un cycle régulier et à une fréquence au repos pouvant varier de 60 à 90 cycles par minute). Les cycles se perçoivent cliniquement par des battements. À chaque cycle, le myocarde suit la même séquence des mouvements : le sang pauvre en oxygène arrive au cœur par la veine cave. Il y entre par l'oreillette droite en la remplissant (diastole auriculaire), et en est chassé par sa contraction appelée *systole auriculaire* qui le déplace dans le ventricule droit suivant l'ouverture de la valve tricuspide. Après le remplissage complet de ventricule droit (diastole ventriculaire), ce dernier se contracte (*systole ventriculaire*) en propulsant à son tour le sang vers les poumons via l'artère pulmonaire; c'est "la petite circulation"

qui est assurée par la partie droite du cœur. De retour au cœur par les veines pulmonaires, le sang s'accumule dans l'oreillette gauche (diastole auriculaire) puis, lors de la systole auriculaire et une fois la valve mitrale est ouverte, il passe dans le ventricule gauche en le remplissant complètement (diastole ventriculaire) qui lors de la systole ventriculaire l'envoie vers les organes par l'artère aorte; c'est la grande circulation assurée par la partie gauche du cœur. [6]

La systole auriculaire contracte en même temps les deux oreillettes droite et gauche et la diastole les relâche en même temps aussi. C'est pareil pour la systole et la diastole ventriculaire. Donc le cycle cardiaque peut être décomposé en deux grandes étapes, la systole et la diastole. [2]

Le cycle cardiaque est régi par une horloge interne. La cadence de cette horloge est donnée par une impulsion électrique générée au niveau du nœud sinusal, formé par des cellules auto-excitables et situé dans l'oreillette droite. Cette impulsion électrique se propage d'une manière isotropique dans les oreillettes. Elle est ensuite relayée par le nœud auriculo-ventriculaire, situé au niveau du point de jonction entre les ventricules et les oreillettes, qui la propage dans les ventricules (**figure I.3**). C'est la propagation de cette impulsion électrique dans le muscle cardiaque qui assure la régularité et la coordination de la contraction auriculo-ventriculaire. [1] + [7]

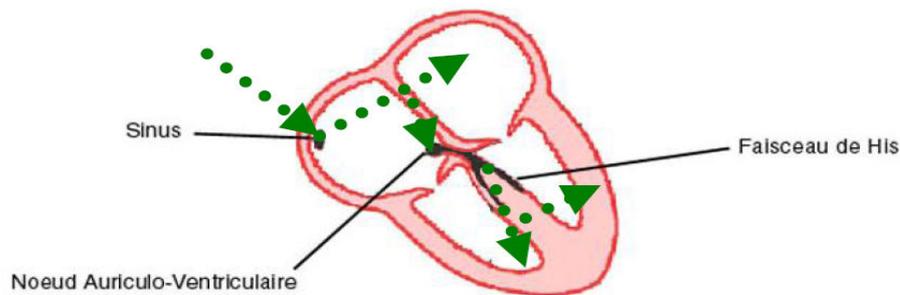


Figure I.3 : Circuit électrique du cœur [3]

I.3. Observation de l'activité électrique cardiaque

La direction du flux et l'amplitude des courants électriques générés par les processus de dépolarisation et de repolarisation de l'ensemble des cellules myocardiques peuvent être détectées par des électrodes disposées sur la surface du thorax. L'analyse de cette activité électrique s'est révélée comme une technique primordiale pour le diagnostic des maladies cardiovasculaires et constitue un outil fondamental dans le monitoring cardiaque. Nous allons expliquer brièvement la relation entre les potentiels

observés à la surface du corps et les potentiels d'action cellulaire, ainsi que les moyens d'observation de cette activité. [8]

I.3.1. Configuration de l'ECG physiologique

L'ECG mesure l'activité électrique du cœur par l'emploi d'électrodes externes mises au contact de la peau sur le torse. L'activité mesurée, formée d'ondes qui permettent d'identifier les phases de systoles et diastoles des oreillettes et des ventricules, rend compte de l'activité cardiaque sous-jacente.

Les processus de dépolarisation et repolarisation des structures myocardiques se présentent dans l'ECG comme une séquence de déflexions ou ondes superposées à une ligne de potentiel zéro, appelée ligne isoélectrique. L'ordre et la morphologie de ces ondes dépendent de deux aspects fondamentaux : la structure anatomique d'initiation de l'impulsion électrique (i.e. le nœud sinusal, une structure jonctionnelle, . . .) et la séquence de conduction à travers le myocarde. [9]

Dans le cas physiologique, comme il a déjà été présenté, l'impulsion est initiée dans le nœud sinusal. Le front de dépolarisation auriculaire résultant est représenté dans l'ECG par l'onde P. Cette onde se caractérise au niveau spectral par une composante basse fréquence de faible énergie, qui limite souvent son observation dans plusieurs dérivations ECG, spécialement dans des conditions de bruit. La repolarisation auriculaire est représentée par l'onde Ta et sa direction est opposée à celle de l'onde P. Généralement l'onde Ta n'est pas visible dans l'ECG car elle coïncide avec le complexe QRS d'amplitude plus importante. Ce dernier correspond à la dépolarisation ventriculaire et représente la déflexion de plus grande amplitude de l'ECG.

Il est constitué de trois ondes consécutives (les ondes Q, R et S. Le processus de repolarisation ventriculaire est reflété par l'onde T. Dans certaines occasions, une onde, dite onde U, de très basse amplitude peut être observée après l'onde T. Bien que son origine physiologique n'ait pas encore été démontrée, l'onde U (fréquemment observée chez les athlètes) est souvent associée aux processus de repolarisation ventriculaire tardive. [10]

(La figure I.4) présente la génération d'une activité électrique corrélée aux diastoles et systoles par le cœur. A gauche, formation d'une onde P lors de la systole des oreillettes, à droite, formation d'une onde R par la systole des ventricules ; T correspond à la repolarisation du tissu cardiaque.



Figure I.4 : Génération d'une activité électrique

La figure I.5 représente la corrélation entre le signal ECG et le cycle cardiaque. [1]

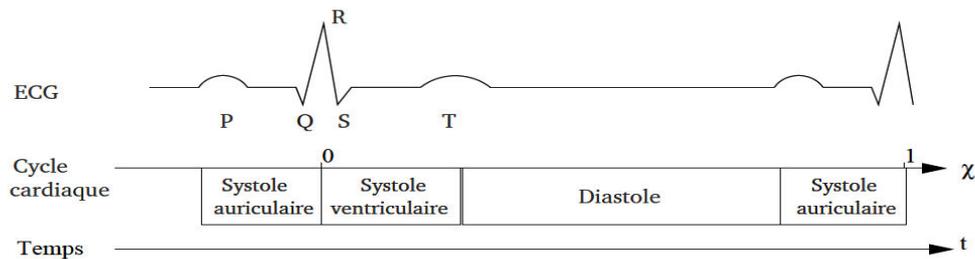


Figure I.5 : La corrélation entre le signal ECG et le cycle cardiaque.

L'enregistrement d'un ECG peut être fait sur plusieurs voies. L'axe électrique du cœur suit la flèche rouge (Figure I.6), les axes mesurés (A, B et C) donnent des informations complémentaires qui permettent de déduire le comportement électrique qui sous-tend les battements. Les voies A et B sont mesurées par des électrodes placées au niveau de la base du cou, respectivement à droite et à gauche et sur la dernière côte, respectivement à gauche et à droite, la voie C par deux électrodes placées l'une dans le dos et l'autre sur le bord d'une côte gauche à l'horizontale de l'électrode dorsale. L'enregistrement Holter utilise en général deux ou trois de ces voies (A, B ou A, B, C). Selon l'angle utilisé pour récupérer l'information ECG, le dipôle de courant mesuré change. Pour obtenir une information optimale, on effectue donc plusieurs enregistrements simultanés, on parle alors d'enregistrements multivoies (**Figure I.6**).

[3] +[11]

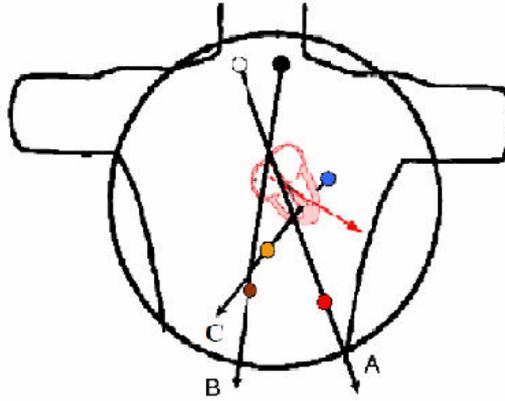


Figure I.6 : Enregistrement d'un ECG 3 voies. [3] + [11]

Outre les formes d'ondes, un battement cardiaque est aussi caractérisé par plusieurs segments et intervalles (**figure I.7**) :

- l'intervalle **PR** : il est mesuré entre le début de l'onde **P** et le début du complexe **QRS**. Cet intervalle représente la dépolarisation des oreillettes et du nœud Atrio-Ventriculaire.
- Le segment **PR** : c'est la période temporelle comprise entre la fin de l'onde **P** et le début du complexe **QRS**. Il représente le temps de transmission du front de dépolarisation par le nœud Atrio-Ventriculaire.
- le segment **ST** : il est compris entre la fin du complexe **QRS** (ou point J) et le début de la phase ascendante de l'onde **T**.
- l'intervalle **QT** : le temps entre le début du complexe **QRS** et la fin de l'onde **T**. Il représente une indication de la longueur des phases de dépolarisation et repolarisation ventriculaire. [8] + [12]

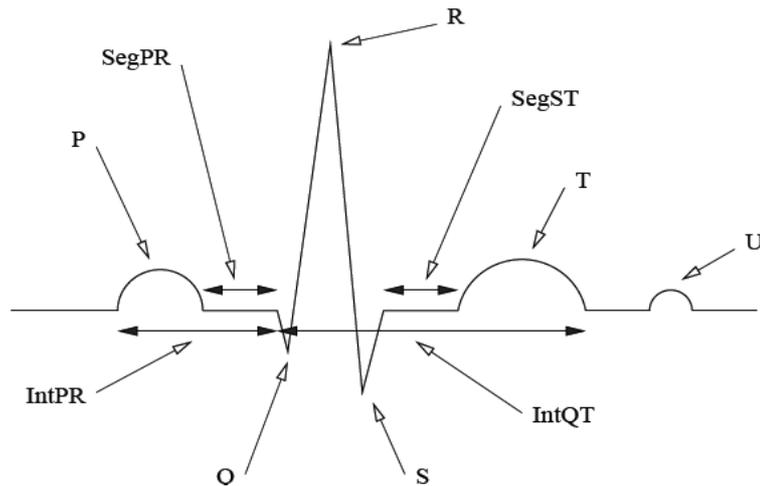


Figure I.7 : Ondes, intervalles et segments dans l'ECG pour un battement physiologique

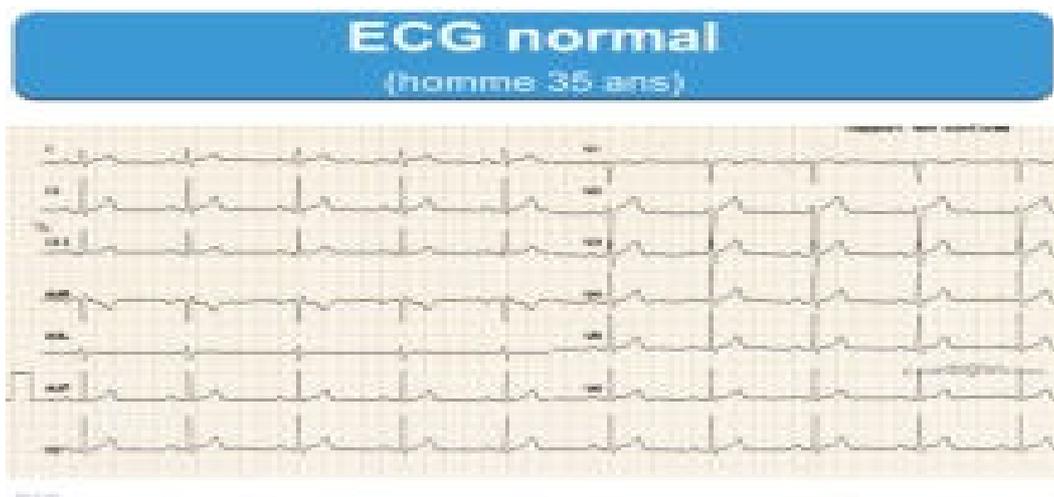


Figure I.8 : ECG normal. [12]

Les principaux critères qui permettent d'affirmer qu'un ECG est normal sont:

- L'onde P est de type sinusal (amplitude max de 2,5 mm et durée < 0,12 s).
- L'intervalle P-R est isoélectrique, de durée normale (0,12 – 0,20 s) et constante.
- La fréquence des QRS est comprise entre 60 et 100/mn.
- Les complexes QRS sont tous positifs.
- Les QRS sont tous fins ($\leq 0,12$ s).
- L'onde T est positive.
- L'intervalle Q-T est normal (entre 0,30 à 0,44 sec chez l'homme et 0,45 sec chez la femme). [13] + [4]

I.4. Pathologies cardiaques

Comme tout organe vivant, le cœur peut être touché par certaines maladies qui nuisent à son fonctionnement. Nous pouvons distinguer cinq catégories principales de pathologies cardiaques:

- ✚ **la communication intra-cavitaire** : Normalement, les deux parties du cœur sont complètement isolées grâce au septum, et aucun transfert sanguin direct n'est possible. Cependant, suite à des malformations, un échange sanguin peut avoir lieu entre les deux ventricules ou les deux oreillettes. Une intervention chirurgicale est parfois nécessaire pour rétablir l'étanchéité des deux parties ;
- ✚ **le dysfonctionnement des valves** : Une des valves cardiaques peut présenter des dysfonctionnements conduisant à des reflux sanguins lors de la systole. La chirurgie est souvent indispensable pour rétablir un fonctionnement correct de la valve ou la remplacer par une valve mécanique ;
- ✚ **l'inflammation** : L'inflammation du myocarde et de l'endocarde, dénommées respectivement la myocardite et l'endocardite, ne nécessitent qu'un traitement médical. L'inflammation des valves requiert en revanche une opération chirurgicale pour changer les valves touchées ;
- ✚ **le dérèglement du rythme cardiaque** : Ce dérèglement peut se manifester à titre d'exemple par des extrasystoles. Un traitement médical peut être administré pour corriger le rythme cardiaque. Dans des cas plus extrêmes, le recours à la chirurgie est indispensable pour implanter un stimulateur cardiaque artificiel (le pacemaker) ;
- ✚ **l'ischémie et l'infarctus du myocarde** : Des plaques d'athérome, des dépôts graisseux, peuvent se former au niveau des artères coronaires. Des caillots sanguins peuvent accroître la taille des plaques d'athérome : c'est la thrombose. La sténose de ces artères peut conduire à une ischémie du muscle cardiaque, *i.e.* celui-ci peut manquer d'oxygène. En cas d'ischémie grave, les cellules cardiaques peuvent se nécroser. Le cœur perd alors sa capacité de battre, entraînant la mort du patient (par exemple, suite à une fibrillation ventriculaire). Pour cette pathologie, une intervention chirurgicale pour revasculariser le cœur est inéluctable. [1] + [14]

Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons en particulier au quatrième type et précisément aux extrasystoles. Nous définissons dans la suite les quatre extrasystoles majoritairement existantes.

Le terme d'extrasystole est utilisé pour distinguer une contraction cardiaque prématurée. Celle-ci est due à une activation électrique prématurée qui naît en dehors du système normal, c'est à dire naissant d'un territoire myocardique différent du nœud sinusal (activité "ectopique"). Donc les extrasystoles sont des battements cardiaques prématurés et ectopiques naissant dans le tissu auriculaire (une **extrasystole atriale**), ventriculaire (une **extrasystole ventriculaire**) ou jonctionnel (**extrasystole jonctionnelle** ou hissienne) qui sont assez rares mais souvent méconnues ou confondues avec des extrasystoles auriculaires.

L'extrasystole représente l'arythmie la plus fréquente, elle peut se rencontrer à tous les âges de la vie, et même au stade fœtal. Sa fréquence augmente avec l'âge. Les extrasystoles peuvent provenir de n'importe quelle zone myocardique. Leur détection peut se faire dès l'auscultation ou la prise du pouls mais l'électrocardiogramme est nécessaire pour préciser son siège. [13] + [15]

Une extrasystole qui naît dans le myocarde auriculaire c'est une **extrasystole atriale**, ventriculaire **extrasystole ventriculaire** ou plus rarement à la jonction AV **extrasystole jonctionnelle** ou hissienne.

Selon la position de l'extrasystole dans le rythme sinusal de base, on peut décrire différents caractères communs à toutes les extrasystoles, le plus important c'est la durée de leur cycle (couplage).

Le couplage : Le degré de prématurité d'une extrasystole s'exprime par son temps de couplage avec le complexe qui la précède : c'est l'intervalle séparant le début du complexe sinusal du début de l'extrasystole (intervalle P - P' pour une extrasystole atriale ; intervalle R - R' pour une extrasystole jonctionnelle ou ventriculaire).

L'intervalle de couplage peut être :

- court, lorsque le complexe extrasystolique survient pendant ou immédiatement après la repolarisation du complexe précédent.

- long, lorsque l'extrasystole survient à distance de l'onde T précédente.

Le couplage peut être fixe, lorsque la durée du cycle extrasystolique est identique pour toutes les extrasystoles de même origine, ou variable. [15] + [4]

I.4.1. Trois types d'extrasystoles:[13] + [15] + [4]

I.4.1.1. Les extrasystoles auriculaires (ESA):

Une activité auriculaire prématurée, non sinusale, originaire de l'oreillette droite ou gauche. L'influx dépolarise le muscle auriculaire de proche en proche et descend habituellement par voie antérograde, via le **nœud AV** et le **faisceau de His**, vers les ventricules. Le diagnostic d'extrasystole atriale repose sur ces éléments :

- ✓ L'existence d'une onde P', prématurée par rapport au cycle atrial de base.
- ✓ la morphologie de cette onde P', qui est différente de celle des ondes sinusales.
- ✓ la durée de l'intervalle P'R', supérieure ou égale à 0,12 seconde.
- ✓ des complexes QRS de morphologie identique au rythme sinusal.

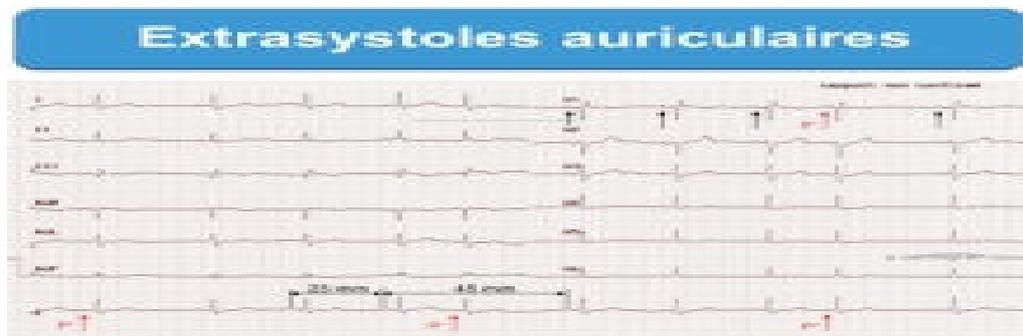


Figure I.9 : Extrasystoles Auriculaires.

I.4.1.2. Les extrasystoles nodales (ou jonctionnelles) (ESJ)

Une activité jonctionnelle prématurée, originaire du **nœud AV** (extrasystole nodale) ou du tronc du **faisceau de His** (extrasystole hisienne).

Sur l'électrocardiogramme de surface, l'activité auriculaire est rétrograde et l'onde P' est de morphologie différente de l'onde P sinusale (négative). Elle se situe avant, dans ou après le complexe QRS. Les ESJ sont rares. Le diagnostic d'extrasystole jonctionnelle repose en principe sur les critères suivants:

- ✓ un complexe QRS prématuré, de même aspect que celui du complexe QRS de base.
- ✓ au voisinage de ce QRS, soit aucune onde P', soit une onde P' de type rétrograde, située soit après le complexe QRS, soit immédiatement avant lui, avec un intervalle P'R' inférieur à 0,12 seconde.

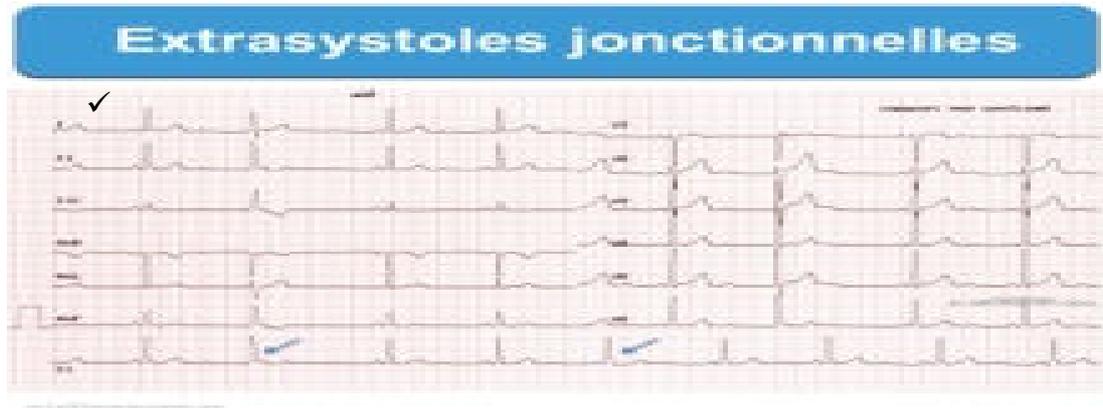


Figure I.10: Extrasystoles Jonctionnelles.

I.4.1.3. Les extrasystoles ventriculaires (ESV)

C'est une contraction prématurée d'un foyer ectopique, née dans l'une des branches du faisceau de His ou en un point quelconque du myocarde ventriculaire. Le diagnostic d'extrasystole ventriculaire (ESV) repose sur les deux éléments suivants :

- ✓ L'existence d'un complexe QRS prématuré et élargi (plus de 0,12 seconde), différent des complexes QRS de base.
- ✓ l'absence d'onde P prématurée avant le complexe QRS.



Figure I.11 : Extrasystoles ventriculaires

Résumé

Définir l'anatomie du cœur, son fonctionnement et son électrophysiologie était le but principal de ce chapitre, la source électrique du cœur, les points de stimulation cardiaque et son parcours qui sont très utiles pour comprendre la naissance du signal ECG et le sens de ses différentes ondes (P, O, R, S, T).

Comprendre l'interprétation d'un ECG et l'interprétation d'une déformation dans ce dernier qui présente des anomalies cardiaques et connaître les différents paramètres discriminants comme la largeur du complexe QRS, le segment PR et le rythme R-R est un point très important.

Reconnaitre telle anomalies, a un grand intérêt dans le domaine médical. Le chapitre suivant explique en détail les HMMs qui sont utilisé comme une méthode de classification et de reconnaissance.