

# Electrocardiogramme normal

## PLAN DE LA QUESTION

Introduction

Historique

### I. Bases électrophysiologiques de l'ECG

1. Rappel physiologique : (potentiel de repos et d'action, dépolarisation, repolarisation)
2. Principes de l'ECG (notion de dipôle)
3. Les dérivations (et notion des axes)
4. Activation du cœur

### II. Enregistrement de l'ECG

1. Papier à ECG
2. Les accidents de l'ECG

### III. Lecture d'un ECG

### IV. Description de l'ECG normal

### V. Variations physiologiques chez l'adulte

1. Positions électriques du cœur
2. Aspect de repolarisation précoce
3. Sujets de race noire
4. Position du sujet
5. Respiration
6. Alimentation
7. Obésité
8. Effort
9. Altitude
10. Sportifs de haut niveau
11. Thorax déformés
12. Asthénie neurocirculatoire

### VI. ECG de l'enfant

### VII. ECG du sujet âgé

## Objectifs

- ✓ Connaître les principes de l'électrocardiogramme
- ✓ Connaître les aspects normaux de l'électrocardiogramme
- ✓ Connaître les variations physiologiques de l'électrocardiogramme

# ECG normal

## **Introduction**

L'électrocardiographie est une technique d'exploration de l'activité myocardique, basée sur l'enregistrement et l'interprétation des ECG.

L'ECG est un tracé scalaire qui inscrit en fonction du temps les variations de potentiels induits dans les différents points du corps (spécialement à la surface des téguments) par les fibres myocardiques en activité.

## **Historique**

La période 1842 - 1942 constitue le premier centenaire de l'électrocardiographie, des balbutiements, des premières découvertes scientifiques à l'ECG 12 dérivations. Nous allons essayer de "refaire" l'histoire à travers 11 dates.

### ***1842 : 1er courant électrique d'origine cardiaque***

Carlo Matteucci, physicien italien, montre qu'un courant électrique passe à chaque battement cardiaque.

### ***1856 : 1er potentiel d'action d'origine cardiaque***

Rudolph von Koellicker & Henrich Mueller enregistrent un potentiel d'action, enregistrement fait en mettant en contact un nerf de patte de grenouille avec un cœur isolé : à chaque battement cardiaque, on observait une contraction de la patte de grenouille.

### ***1887 : 1er ECG humain***

Augustus D. Waller, physiologiste anglais, publie le 1er électrocardiogramme humain. En liant à un tube capillaire dans un champ magnétique une électrode posée sur le thorax d'un " cobaye " humain (T. Goswell, son technicien de laboratoire), on voyait varier le niveau liquide dans le tube à chaque battement de cœur.

### ***1893 : " Electrocardiogramme " (presque) pour la 1ère fois***

Willem Einthoven utilise le terme électrocardiogramme " pour la 1ère fois " à une réunion de la Deutsch Medical Association. (Il confiera plus tard que A.D. Waller l'avait utilisé avant lui)

### ***1895 : PQRST***

W. Einthoven met en évidence 5 ondes sur le tracé électrocardiographique, ondes qu'il nomme respectivement P, Q, R, S, T.

### ***1910 : 1ère revue d'électrocardiographie***

Walter James et Williams H. publient la 1ère revue américaine d'électrocardiographie.

### ***1912 : Le triangle d'Einthoven***

W. Einthoven présente pour la 1ère fois devant une société savante, la Chelsea Clinical Society, le célèbre triangle équilatéral formé par les dérivations DI, DII et DIII.

### ***1920 : L'onde de Pardee***

Harold Pardee publie le 1er ECG d'un infarctus aigu du myocarde chez un homme, avec la repolarisation caractéristique dite "onde de Pardee".

### ***1924 : Einthoven Nobel***

W. Einthoven reçoit le prix Nobel de physiologie et médecine pour la mise au point du 1er électrocardiographe.

**1938 : V1 à V6 : position officielle**

La position des dérivations précordiales V1 à V6 est définie par convention par l'AHA et la Cardiac Society of Great Britain.

**1942 : aVR, aVL, aVF**

E. Goldberger ajoute 3 dérivations périphériques, à savoir aVR, aVL et aVF.

**I. Bases électrophysiologiques de l'ECG****1. Rappel physiologique :****a. Potentiel de repos :**

La cellule musculaire est polarisée à l'état de repos. La polarisation est représentée par une charge électrique positive à la surface de la cellule et une charge négative à l'intérieur. Dans ce cas, si 2 électrodes (reliées à un galvanomètre) sont mises à la surface de la cellule elles n'enregistrent aucune différence de potentiel, par contre si une électrode est mise à la surface de la cellule et l'autre à l'intérieur, on enregistrera une différence de potentiel de l'ordre de -90mV. Cette différence de potentiel est appelée **potentiel de repos** ou potentiel de membrane.

**b. Potentiel d'action :**

- ✓ Sous l'effet d'une stimulation, la surface cellulaire se dépolarise, ce qui donne lieu à un courant électrique qui détermine la contraction de la cellule. Ce courant électrique est composé d'une succession de dipôles avec un pôle (-) et un pôle (+), qui parcourent toute la longueur de la cellule (onde de dépolarisation). Ce qui entraîne l'enregistrement d'une onde **rapide** et brève au galvanomètre. Lorsque les charges négatives ont envahi toute la surface de la cellule, on dit qu'elle est **dépolarisée**.
- ✓ Une fois dépolarisée, la cellule récupère progressivement sa charge électrique positive initiale : c'est la **repolarisation**, entraînant l'enregistrement d'une onde **lente**, de sens inverse.

**2. Principes de l'ECG :**

En pratique on ne peut pas placer les électrodes en contact des cellules myocardiques, donc l'enregistrement du potentiel d'action du myocarde repose sur un certain nombre de postulats et de conventions :

1. Les électrodes d'enregistrement sont éloignées du cœur, elles n'enregistrent des variations de potentiels de cellules elles-mêmes, mais seulement les **variations du champ électrique produit à la surface du corps**.
2. On admet que le corps humain constitue un milieu **conducteur homogène**.
3. On admet que le cœur dans son entier soit assimilé à une **fibre musculaire unique**, à condition que les électrodes d'enregistrement soient suffisamment éloignées.
4. Les effets du processus d'activation du cœur sur le champ électrique corporel peuvent être assimilés à ceux d'un **dipôle électrique**. (concept théorique définissant un système constitué de deux charges électriques opposées infiniment rapprochées).

L'activation du myocarde se fait de l'endocarde vers l'épicarde (l'électrode à la surface du cœur voit venir vers elle le pôle positif du dipôle → elle enregistre une positivité. (dépolarisation)

La repolarisation se fait en sens inverse de la dépolarisation : de l'épicarde vers l'endocarde, donc le vecteur de repolarisation s'éloigne de l'électrode exploratrice, celle-ci voit le pôle positif du dipôle et enregistre donc une positivité.

### **3. Les dérivations :**

Les variations du champ électrique cardiaque sont enregistrées par des dérivations standardisées. Une dérivation est un circuit électrique comprenant 2 électrodes de contact reliées par un fil conducteur à un galvanomètre.

Une dérivation est dite **bipolaire** quand les deux électrodes sont exploratrices (la droite joignant les deux électrodes est appelée ligne de dérivation). Elle est dite **unipolaire** quand une seule électrode est exploratrice (le ligne de dérivation joint l'électrode exploratrice au centre du cœur).

L'ECG standard comporte 12 dérivations qui recueillent la projection du vecteur représentatif de l'activité électrique du cœur dans le plan frontal et horizontal.

#### **a. Plan frontal :**

Comporte 6 dérivations : 3 bipolaires (D1, D2, D3) ou standard et 3 unipolaires (aVR, aVF, aVL).

#### **Les bipolaires (standard):**

- D1 : bras droit (-) au bras gauche (+)
- D2 : bras droit (-) à la jambe gauche (+)
- D3 : bras gauche (-) la jambe gauche (+)

**Pour faciliter l'analyse des phénomènes observés, Einthoven a émis les hypothèses suivantes :**

1. Les 3 électrodes déterminent les sommets d'un triangle équilatéral dont les cotés sont les lignes des dérivations standard.
2. Ces électrodes sont équidistantes les unes et les autres et équidistantes du centre du triangle.
3. L'activité électrique du cœur prend naissance au centre du triangle qui se confond avec le centre électrique du cœur, ceci veut dire que **l'activité électrique du cœur est représentée par un vecteur :**
  - Qui naît au point 0,
  - Qui est orienté dans le sens de la plus grande différence de potentiel
  - Qui va des zones électronegatives vers les zones électropositives
  - Son amplitude est proportionnelle à la différence de potentiel.

Ce vecteur quand il est représentatif de la dépolarisation des ventricules est appelé axe électrique du cœur ou axe du QRS. Il se projette sur les 3 côtés du triangle et sa projection sur chacun des côtés indique la direction et l'amplitude de la déflexion enregistrée dans la dérivation correspondante.

#### **Les unipolaires :**

Les lignes de dérivation des unipolaires constituent les 3 bissectrices du triangle équilatéral. On distingue : VR (bras droit) VL (bras gauche), et VF (jambe gauche). Donc ces dérivations recueillent dans le plan frontal le même phénomène que les bipolaires, mais le voit sous un angle différent.

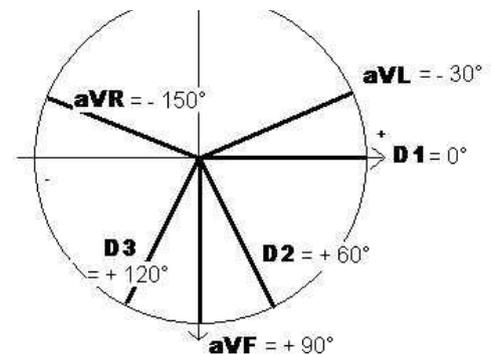
#### **Le triaxe de BAYLEY :**

En partant du principe que les lignes des dérivations bipolaires constituent les côtés du triangle équilatéral, et que les lignes des dérivations unipolaires constituent les bissectrices de ce même

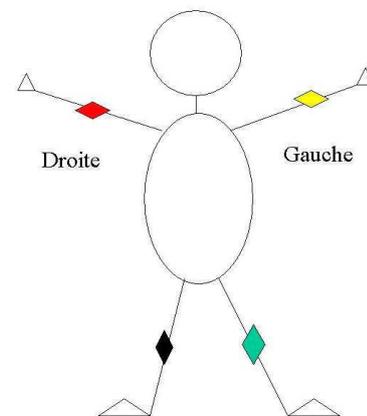
triangle, Bayley a procédé a une simple translation sans changement de sens ni de direction aux différentes lignes par rapport au centre 0 du triangle, soit au centre électrique du cœur, on obtient ainsi le double triaxe.

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

### Double triaxe de Bayley



### DERIVATIONS PERIPHERIQUES



#### 4 électrodes des membres

- (R) pour right (couleur rouge): membre supérieur droit.
- (L) pour left (couleur jaune): membre supérieur gauche.
- (F) pour foot (couleur verte): membre inférieur gauche.
- "Terre", électrode neutre (couleur noire): membre inférieur droit

#### 2 moyens mnémotechniques:

1. Le sang (rouge) sur le bitume (noir),  
le soleil (jaune) sur la prairie (vert).
2. Rien Ne Va Jamais (Rouge Noir Vert Jaune)

#### b. Plan horizontal :

Il est exploré par les dérivations unipolaires précordiales. Qui comportent une électrode exploratrice placée sur le précordium à des points définis selon des repères squelettiques conventionnels liée à une électrode indifférente à une borne de potentiel 0.

Les dérivations précordiales ne sont pas équidistantes du cœur, elles recueillent des potentiels immédiatement sous-jacents donc ne permettent pas le calcul de l'axe électrique du cœur.

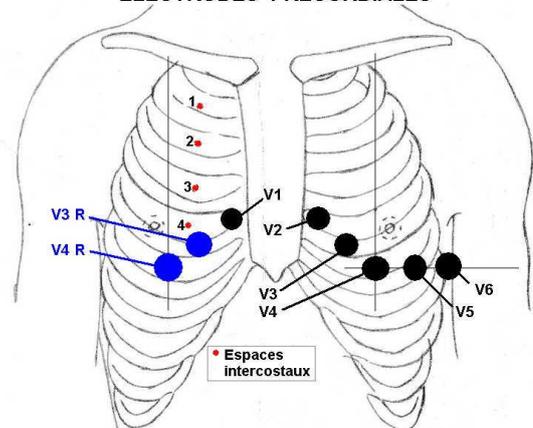
#### Position des électrodes précordiales:

- V1: 4ème espace intercostal, bord droit du sternum (ligne parasternale)
- V2: 4ème espace intercostal, bord gauche du sternum (ligne parasternale)
- V3: à mi-distance entre V2 et V4
- V4: 5ème espace intercostal, ligne médio-claviculaire
- V5: à mi-distance entre V4 et V6, sur la ligne axillaire antérieure
- V6: même niveau horizontal que V4 et V5, ligne axillaire moyenne

#### Position des électrodes précordiales complémentaires droites:

- V3R: à mi-distance entre V1 et V4R
- V4R: 5ème espace intercostal, ligne médio-claviculaire droite

### ELECTRODES PRECORDIALES

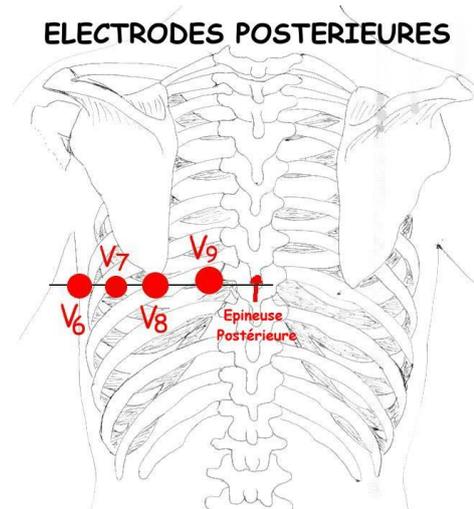


**Position des électrodes précordiales complémentaires postérieures:**

V7: même niveau horizontal que V4, ligne axillaire postérieure

V8: même niveau horizontal que V4, pointe de l'omoplate

V9: même niveau horizontal que V4, entre V8 et les épineuses postérieures du rachis

**4. Activation électrique normale du cœur**

- ✓ L'onde d'activation naît dans le nœud sino-auriculaire (découvert par Keith et Flack en 1907), [situé sous le péricarde, à la partie **antérosupérieure** de l'OD, juste au dessous de l'abouchement de la VCS, s'étendant jusqu'au voisinage de l'abouchement de la VCI]. L'onde d'activation qui en émane se propage en éventail à la vitesse de 1m/s dans les deux oreillettes (il n'est pas démontré que des voies de conduction autonomes et différenciées existent dans les oreillettes).
- ✓ Du fait de la disposition du cœur et de la situation du NSA (en haut, à droite et en avant), la direction moyenne de l'**onde d'activation auriculaire** est **orientée en bas, à gauche et en arrière**. Elle donne naissance à une onde arrondie de faible amplitude : c'est l'onde P qui dure 0.09s, avec un axe de 0 à +80°. La repolarisation auriculaire est (sauf BAV complet) invisible.
- ✓ Arrivée dans la partie inférieure de la cloison interauriculaire, l'onde d'excitation est transmise au nœud auriculo-ventriculaire (NAV) ou nœud d'Aschoff-Tawara (1906) [situé sous l'endocarde de l'OD, en avant de l'abouchement du sinus coronaire et au dessus des attaches de la valve tricuspide septale], elle y subit un ralentissement (20 m/s), puis s'engage rapidement dans le tronc commun faisceau de His (5 m/s) [qui traverse la partie postéro-inférieure de la cloison fibreuse et pénètre dans le SIV le long de l'insertion du septum membraneux], elle bifurque dans les deux branches droite [qui s'enfonce rapidement dans la portion droite de la cloison interventriculaire, parcourt la bandelette arciforme du VD, et se termine dans le pilier ant de la tricuspide] et gauche (qui se divise immédiatement en 2 branches ant et post qui glissent sous l'endocarde septal gauche, le faisceau antérieur se termine dans la paroi antérieure du VG au niveau du pilier mitral antérieur, et le postérieur dans la paroi postérieure ou diaphragmatique au niveau du pilier mitral postérieur) du faisceau de His, pour atteindre les ramifications de Purkinje (qui dessinent un vaste réseau sous toute la surface endocardique des deux ventricules)
- ✓ Il est important de noter que le ralentissement de l'influx à la hauteur de NAV permet aux ventricules d'être stimulés avec un certain retard par rapport aux oreillettes, pour qu'ils puissent se remplir complètement grâce à la contraction auriculaire.
- ✓ L'ensemble NAV, faisceau de His et ses branches et le réseau de Purkinje constitue le système de conduction. Son activation n'a pas de traduction électrique décelable (sur l'ECG de surface) parce que la masse activée est très petite.
- ✓ Du fait de la propagation rapide de l'onde de l'excitation dans les voies de conduction ventriculaire, toutes les différentes parties du myocarde sous endocardique sont activées presque simultanément, ce qui permet une contraction ordonnée et efficace des deux

ventricules. Les parois ventriculaires elles-mêmes sont activées plus lentement (20 – 50m/s) dans une direction perpendiculaire à la paroi : de l'endocarde à l'épicarde :

1. L'activation des parois ventriculaires débute (pendant 0.02s) par la partie moyenne du SIV, de gauche à droite, et le vecteur résultant (**vecteur initial**) est **orienté à droite, en haut vers l'avant**.
2. Ensuite (pendant 0.02 – 0.03s) c'est l'ensemble de la portion restante du septum et des ventricules qui est activées à son tour à l'exception de la région basale, et le vecteur résultant (**vecteur principal**) est orienté à **gauche, en bas, vers l'arrière**. Cela est dû à l'importance du VG dont la masse est double à celle du VD.
3. Pendant les dernières 0.02s c'est la partie basale des deux ventricules et du septum, ainsi que le toit de l'infundibulum pulmonaire qui sont activés, et le vecteur résultant (**vecteur terminal**) est **orienté un peu à droite, en haut vers l'arrière**.

Ce sont les vecteur d'activation du VG qui prédominent et être responsables de l'orientation du **vecteur global d'activation ventriculaire, qui adopte la direction anatomique du VG** à gauche, en bas et en arrière.

- ✓ Les parois ventriculaires se repolarisent dans une direction opposée à celle de la dépolarisation, donc de l'épicarde vers l'endocarde. Il en résulte que l'onde de repolarisation s'inscrit dans le même sens que celle de dépolarisation (positive dans les électrodes qui font face). Comme le processus de repolarisation est plus long que la dépolarisation, l'onde de repolarisation a un développement plus graduel, une amplitude moindre, une configuration plus arrondie et une durée imprécise mais plus longue que les ondes de dépolarisation.

## II. Enregistrement de l'ECG

### 1. Papier à ECG

L'enregistrement se fait sur un papier millimétré, thermosensible, qui se déroule (dans les conditions standard) à la vitesse de 25mm/sec, de sorte qu'en abscisses : 1mm = 0.04 s et 5mm=0.20s. De même, l'étalonnage standard de l'appareil à ECG enregistre en ordonnées une déflexion de 10mm pour un voltage de 1millivolt, soit 1mm = 0.1 mv.

La surface délimitée de part et d'autre de la ligne isoélectrique par une onde électrocardiographique s'exprime en prenant comme unité de mesure de microvolt-seconde, ou plus généralement par l'unité ASHMAN qui vaut 4 microvolts-seconde (1 ashman = surface d'un petit carré de 1 x 1 mm).  $0.04 \text{ s} \times 0.1 \text{ mv} = 0.004 \text{ mv.s} = 4 \text{ microV.s}$

### 2. Les accidents de l'ECG

L'ECG enregistre successivement la dépolarisation et la repolarisation auriculaire qui correspondent à la contraction auriculaire, puis la dépolarisation et la repolarisation ventriculaire qui correspondent à la contraction ventriculaire. Ces phénomènes sont suivis d'un repos électrique qui correspond à la ligne de base iso-électrique.

Lorsque l'appareil est branché, la ligne iso-électrique étant réglée au milieu du papier enregistreur, il apparaît une série de déflexions séparées par des intervalles. Ces déflexions et ces intervalles ont une terminologie précise.

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. Pour qu'une onde soit définie sur le tracé, il faut que ses deux branches franchissent la ligne iso-électrique ; sinon on parle de **crochetage** ou de bifidité.

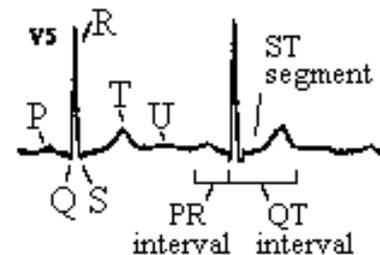
#### Les différentes déflexions sont appelées :

- **Onde P** : déflexion correspondant à la dépolarisation des oreillettes.
- **Onde Ta** : repolarisation des oreillette habituellement non visible.

**Complexe QRS** : ensemble des déflexions correspondant à la dépolarisation des ventricules. Le complexe QRS correspond à trois vecteurs successifs qui représentent l'activation du septum (vecteur initial q), puis l'activation de la portion moyenne des ventricules (vecteur principal R), enfin l'activation des régions basales des ventricules (vecteur terminal s).

Les lettres capitales QRS désignent des déflexions amples  $\geq 5$  mm. Les lettres q.r.s désignent les déflexions  $< 5$  mm.

- **Onde Q ou q** : déflexion négative initiale, précédant la première déflexion positive (r).
- **Onde R ou r** : première déflexion positive,
- **R' ou r'** : 2<sup>ème</sup> déflexion positive
- **Onde S ou s** : 1<sup>ère</sup> déflexion négative succédant à la déflexion positive r. s' : succède r'...
- **Onde QS** : déflexion négative exclusive.



- **Point J** : correspond à la fin de la dépolarisation ventriculaire : c'est le point de jonction entre la fin de QRS et la ligne iso-électrique. Il est normalement iso-électrique ou légèrement décalé dans le même sens que l'onde T, mais sans s'écarter de plus de 1mm du segment P-R précédent. Il marque le début du segment S-T.
- **Onde T** : Elle répond à la fin de la repolarisation ventriculaire.
- **Onde U** : déflexion de signification discutée.

#### Entre ces différentes déflexions s'inscrivent des intervalles qui sont :

- **PR ou P-QR** : correspond au temps de conduction A-V, compté du début de l'onde P au début du complexe ventriculaire.
- **Segment ST** : commence au point J, reste normalement iso-électrique et se termine au début de l'onde T. Correspond au plateau du potentiel d'action d'une cellule isolée.
- **QT** : mesuré du début du QRS à la fin de l'onde T, il représente la durée totale de l'activation ventriculaire.
- **DI (déflexion intrinsécoïde)** : correspond à la fin de la dépolarisation de la paroi myocardique qui fait face à l'électrode exploratrice, donc à la rupture brutale de pente de la déflexion positive (R). Son délai d'apparition représente le temps que met l'onde de dépolarisation à parcourir le myocarde depuis l'endocarde jusqu'à l'épicarde. Elle se mesure uniquement sur les dérivations précordiales : **V1, V2 pour le VD (0.03 sec) et V5, V6 pour le VG (0.05 sec).**

### **III. Lecture de l'ECG**

L'analyse d'un ECG exige l'analyse systématique des éléments du tracé et la connaissance des critères normaux. Avant tout il faut toujours vérifier l'étalonnage. Seront successivement analysés et éventuellement mesurés :

#### **1. Le rythme**

Lorsqu'on parle du rythme cardiaque, on parle à la fois du lieu de genèse de l'activité électrique du cœur et de la régularité ou non de sa propagation. Ainsi, on parle de rythme sinusal régulier lorsqu'il est :

- ✓ **régulier** (espace R-R identique sur tout le tracé, avec des complexes QRS similaires)
- ✓ **sinusal** (l'activité électrique est générée par le nœud sinusal.)

#### **2. La fréquence**

Différentes méthodes existent pour mesurer la fréquence cardiaque sur un ECG.:

##### ✓ **La Méthode Usuelle**

Par cette méthode, on fait une estimation rapide de la fréquence cardiaque. Pour cela, il faut au moins réunir 2 conditions:

- le rythme doit être régulier;
- il faut mémoriser la séquence "300, 150, 100, 75, 60, 50, 43, 38".

##### ✓ **Méthode dite "mathématique" (conseillée notamment en cas de bradycardie)**

$FC = 300 / N$  (N = nombre de grands carreaux entre 2 complexes QRS consécutifs, en prenant une onde (Q, R, ou S) comme repère).

##### ✓ **Nombre de complexes QRS par 6 secondes (en cas de bradycardie également)**

Cinq grands carreaux correspondent à 1 seconde, 30 grands carreaux à 6 secondes. En comptant le nombre N6 de complexes QRS sur 6 secondes, et en multipliant ce nombre par 10, on obtient le nombre de complexes QRS sur une minute.  $FC = 10 \times N6$

#### **3. Calcul du PR**

#### **4. Etude de l'axe, l'amplitude, la durée et la forme des divers complexes (P, QRS, et T)**

*Méthode de calcul des axes électriques (AP, AQRS, AT) :*

En prenant comme exemple l'AQRS, le moyen le plus rapide pour calculer l'axe est de rechercher dans les six dérivations périphériques :

- ✓ La dérivation dans laquelle le complexe QRS a une amplitude nulle ou un aspect isodiphasique : AQRS a une direction perpendiculaire à cette dérivation.
- ✓ La dérivation dans laquelle QRS possède l'amplitude la plus grande. On trouve ainsi le sens de l'AQRS, car ce vecteur est parallèle à cette dérivation si QRS positif, en sens inverse si QRS négatif.

Cette méthode permet de déterminer rapidement la direction et le sens de l'axe.

Cette méthode permet de calculer l'axe électrique moyen de chacun des accidents de l'ECG, soit P, QRS et T.

## **5. Etude de la morphologie du ST et de la durée du QT**

### **IV. Description de l'ECG normal**

#### **1. Rythme cardiaque**

- Le **rythme** cardiaque normal est **sinusal**, c'est-à-dire commandé par la décharge régulière ou à peu près régulière du NSA.
- Sa **fréquence** varie largement d'un sujet à l'autre, entre **60 et 100 par minute**.

#### **2. Auriculogramme :**

L'impulsion originaire du NSA active l'OD puis l'OG. L'onde P et la repolarisation auriculaire définissent la systole auriculaire.

- **Durée de l'onde P** : elle est toujours **<0.12 sec** (il faut la mesurer dans la dérivation standard où elle est la plus large, souvent **D2**).
- **Son amplitude** : ne doit pas excéder **2mm (0.2mv)** dans la dérivation où elle est la plus ample (généralement **D2, V1**).
- **Sa forme** : elle peut être positive, négative ou diphasique selon les dérivations, en fonction de la direction de son vecteur moyen. Elle a en règle un contour arrondi et régulier qui peut être interrompu par de discrets crochétages. Elle peut être pointue dans certaines dérivations frontales surtout chez les sujets jeunes.
- **Sa direction** : **l'axe de l'onde P** varie entre **-0° à +80°**, donc elle est **toujours positive en D1**, (*sauf situs inversus, inversion des fils ou rythme ectopique*) **et en D2** (*sauf si rythme rétrograde*) ; **et toujours négative en aVR**. Par contre en D3, aVL et aVF, elle peut être positive, négative ou diphasique, la négativité étant fréquente en D3, rare en aVL et exceptionnelle en aVF.

**En V1**, elle peut être positive ou diphasique, elle est positive dans les autres dérivations précordiales. La fréquence du diphasisme augmente fortement avec l'âge, et **on peut observer des ondes P purement négatives après 50 ans**.

**En V6**, elle est en règle positive ou plate, si elle est négative en V6, elle peut signer un rythme auriculaire gauche. Dans ce cas l'activation des oreillettes prend naissance dans la partie basse de l'OG et se dirige ensuite vers l'OD.

- **La repolarisation auriculaire** : est normalement masquée par le QRS. Elle peut être visible en cas de BAV, durée de 0.15 – 0.45 sec et amplitude <0.08 mm. Son axe est opposé à celui de l'onde P. En cas de dilatation auriculaire la repolarisation atriale peut modifier le segment ST.

#### **3. Intervalle PR**

L'intervalle PR inclus le temps de conduction intra-auriculaire, auriculo-ventriculaire nodal et la conduction dans le tissu de His-Purkinje.

Chez l'adulte et l'adolescent, **le PR peut varier de 0.12 à 0.20 sec**. Ces limites ne varient ni avec le sexe ni avec l'âge. Par contre chez des sujets jeunes vagotoniques il peut aller jusqu'à 0.24sec dans les fréquences basses (<60).

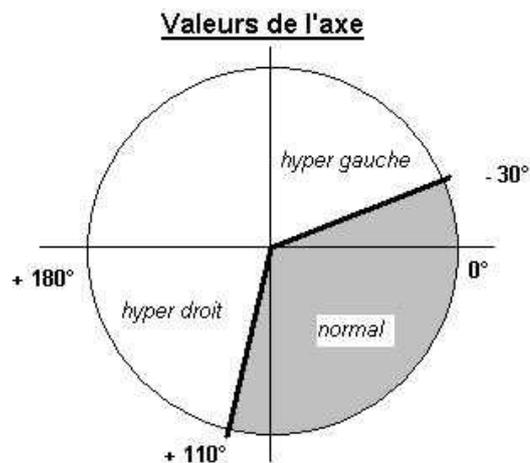
**Chez l'enfant avant 10 ans il va de 0.10 à 0.18 sec.**

#### 4. Complexes QRS

**4.1. Durée des QRS :** elle apparaît plus longue en dérivations précordiales, surtout à droite, ce qui est dû au fait que les vecteurs initiaux et terminaux de la dépolarisation ventriculaire sont souvent perpendiculaires au plan frontal. **L'usage est de mesurer cette durée dans la dérivation standard où est la plus longue, elle varie entre 0.06 et 0.10 sec.** Elle est plus courte chez l'enfant et diminue légèrement lorsque la fréquence cardiaque augmente.

**4.2. Déflexion intrinsécoïde :** Elle se mesure uniquement sur les dérivations précordiales : **V1, V2 pour le VD (0.04 sec) et V5, V6 pour le VG (0.05 sec).** Son délai d'apparition n'est guère influencé par le sexe ni par l'âge.

**4.3. Axe moyen de QRS dans le plan frontal :** la direction de l'axe moyen de QRS dans le plan frontal varie de  $-30^{\circ}$  à  $+110^{\circ}$ . Elle n'est pas influencée par le sexe, mais de façon importante par l'âge, sa valeur moyenne va de  $60^{\circ}$  à l'adolescence pour atteindre  $20^{\circ}$  vers la 7<sup>ème</sup> décennie. L'orientation normale de  $+90^{\circ}$  à  $+110^{\circ}$  est rare et n'existe qu'avant 30 ans, et que l'orientation  $-30^{\circ}$  à  $0^{\circ}$  est rare avant 30 ans, et devient ensuite plus fréquente (20% à 60 ans). Indépendamment de l'âge, la direction de AQRS est influencée par la morphologie corporelle : en moyenne les sujets longilignes et maigres ont un AQRS plus à droite que les brévillignes et les obèses.



#### 4.4. Morphologie et amplitude des QRS

##### Dans les dérivations périphériques

###### - Morphologie des QRS :

La positivité ou la négativité d'un ensemble QRS dans les périphériques dépend de l'orientation de l'AQRS. **Chez le sujet normal, il est toujours négatif en aVR et positif en D2**, variable en D1, D3, aVF, aVR. La fréquence d'une onde Q1, S3 et surtout l'association Q1S3 augmente avec l'âge, au contraire la fréquence d'une onde S1, Q3 ou l'association S1Q3 diminue fortement avec l'âge.

- **Amplitude des QRS** : elle est en général maximale en D2 et ne doit pas dépasser 20mm

L'amplitude de **R en D1** <14mm ou à 10mm si axe à droite (>+60°)

L'amplitude de **R en aVL** augmente avec l'âge, en général <5 mm (axe >+60°),

<10mm (0 à +60°)

< 13mm (axe < 0)

L'amplitude de **R en aVF** diminue avec l'âge, en général <20mm (axe à droite)

< 12mm (0 à +60°)

< 4mm (axe à gauche de 0)

L'amplitude de **l'onde Q** est <2mm en D1, <3mm en D2, <5mm en D3, et <3.5mm en aVF.

- **Indice de Lewis = (R1+S3)-(S1+ R3)** [vn : -14 à +17mm, voire +20mm si axe <0°]

- **Indice de White-Bock** = est analogie, sauf que S peut être remplacée par Q si elle est plus profonde. *Globalement (P1+N3)-(N1+P3)* (P l'amplitude la plus positive, N la plus négative)

##### Dans les dérivations précordiales

###### - Morphologie des QRS :

**Les précordiales droites** (V1, V2, V3) explorent la partie antérieure du VD et la moitié antérosupérieure du septum. L'aspect dans ces dérivations est rS avec une augmentation progressive de l'amplitude de l'onde r de V1 à V3. L'onde r positive correspond essentiellement à l'activation du septum, l'onde S négative correspond à l'activation du VG qui masque l'activation de la paroi antérieure du VD.

Chez un petit nombre de sujets normaux, l'activation tardive de l'infundibulum pulmonaire et de la crête supraventriculaire du VD oriente les derniers vecteurs de QRS vers le haut, à droite et légèrement vers l'avant. Dans ce cas il peut exister une onde r' physiologique en V1 (7% des enfant et adolescents, 4% des adultes), en règle de faible amplitude inférieure à celle de l'onde S et de l'onde r initiale.

**Les précordiales gauches** (V5, V6, V7) explorent la paroi latérale ou la paroi libre du VG dans sa partie basse. L'aspect habituel de ces dérivations est qRs où l'onde q correspond à l'activation du septum, l'onde R correspond à l'activation du VG et l'onde s est liée à l'activation des régions basales des ventricules et du septum. Lorsqu'il existe un aspect qR, le vecteur d'activation basale, perpendiculaire aux électrodes exploratrices n'est pas visible.

Les précordiales V4, V5 explorent la pointe du cœur (du VG). Elles enregistrent un aspect qRS ou qR proche de celui de V6, V7.

**L'amplitude des ondes r** augmente de V1 à V5, puis diminue de V5 à V7. Inversement, **l'amplitude des ondes s** augmente de V1 à V2 puis diminue de V2 à V7.

Les précordiales V3-V4 comportent un isodiphassisme où l'amplitude de l'onde R est à peu près égale à celle de l'onde S, et forment **la zone de transition** qui peut se déplacer à gauche ou à droite selon les positions électriques du cœur ou selon la prédominance électrique d'un ou des deux ventricules. Parfois cette zone de transition est impossible à préciser. Généralement elle est aux alentours de V3 dans 75%, à gauche (V5, V6) dans 15% et à droite (V1, V2) dans 10% des cas.

#### - **Amplitude des QRS :**

Les amplitudes des complexe QRS et de leurs divers composants en dérivations précordiales varient dans de larges limites chez les sujets normaux, en fonction de l'âge, du sexe, de la morphologie corporelle et thoracique, de la situation du cœur par rapports aux points de dérivations liés à des repères osseux. Les influences du sexe et de l'âge apparaissent ici particulièrement importantes, les amplitudes étant dans l'ensemble moins élevées chez la femme que chez l'homme et décroissantes avec l'âge. La limite supérieure de la normale varie en fonction de ces deux facteurs.

**Le rapport d'amplitude R/S** est en général  $<1$  en précordiales droites et  $>1$  à gauche. Mais un rapport  $>1$  en V1 est possible chez des enfants ou des adolescents jeunes, l'onde R prédominante sur l'onde S, est généralement de faible amplitude dans ces cas. En précordiales gauches, le rapport R/S est presque toujours  $>1$  en V5, à 2 en V6 et à 3 en V7.

On a proposé divers indices permettant de rechercher une hypertrophie ventriculaire en mesurant l'amplitude du complexe QRS dans les dérivations précordiales.

#### ✓ **Indice de Sokolow-Lyon : S V1 + R V5 ou V6** (la plus ample). (limite sup 35)

La limite supérieure de 35 n'est valable que chez la femme à partir de 15 ans et chez l'homme après 50 ans. Elle doit être repoussée à 40 dans le sexe féminin avant 15 ans et à 45 dans le sexe masculin avant 50 ans.

#### ✓ **Indice de Blondeau-Heller : SV2 + RV7** (limite sup 35)

### **5. Segment ST**

Le segment ST a une **durée** imprécise car, si son début est nettement marqué par un raccordement du complexe QRS, angulaire (point J) ou parfois arrondi en précordiales, sa terminaison se perd dans la branche initiale de l'onde T. Dans les dérivations précordiales, il est très court, du fait de la précocité de la repolarisation dans ces régions.

**Le niveau du segment ST** est celui du point J ou en cas d'imprécision de ce point celui de la partie la plus horizontale du segment. En principe le segment ST est isoélectrique et pour apprécier son niveau, il faut le comparer à celui du segment T-P qui le suit et non le PR qui le précède. En fait, il existe fréquemment chez les sujets normaux de légers décalages soit vers le bas soit vers le haut :

- ✓ Une discrète dépression du point J et de la partie initiale du segment ST n'est pas rares en dérivations périphériques et précordiales gauches surtout lorsque le rythme cardiaque est relativement rapide.
- ✓ A l'inverse une surélévation du segment ST de faible amplitude est assez commune dans les dérivations précordiales droites, et peut aussi s'observer en périphériques. Quand l'onde T est très ample, on peut observer un sus-décalage du ST, qui ne doit pas dépasser le quart de la hauteur de l'onde T.

## 6. L'onde T

- **Morphologie** : c'est une déflexion lente et une onde généralement monophasique, de forme asymétrique comportant : **une branche initiale à faible pente, un sommet mousse et arrondi et une branche terminale à pente plus forte.** *Elle peut être biphasique +- ou -+ lorsque la ligne de dérivation est perpendiculaire à son axe électrique (surtout en D3, aVL, aVF et V1, V2). Chez l'enfant et l'adolescent on peut observer en dérivations précordiales droites et moyennes des aspects dits « infantiles » comportant une bifidité plus ou moins accentuée. « Aucune onde T symétrique n'est normale. »*
- **Axe moyen de T dans le plan frontal** : il varie de  $-10^\circ$  à  $+70^\circ$  (très rarement  $<0$  ou  $<60$ ) donc généralement (0 –  $+60$ ), ce qui fait que **T est toujours positive en D1 et D2 et toujours négative en aVR.** Elle est variable en D3 (souvent négative chez les obèses et en cas de position électrique horizontale). En aVL et aVF elle est le plus souvent positive : 97%. L'axe de T et du QRS sont généralement peu éloignés (angle  $<60^\circ$ ) surtout si AQRS est proche de  $+30^\circ$ .
- **Axe moyen de T dans le plan horizontal** : l'onde T est toujours positive en précordiales gauches (V5, V6). En revanche, elle est de sens variable en précordiales droites et moyennes. En V1, T peut être négative 90% avant 10 ans, 30% après 40 ans. 3 fois plus chez le sexe féminin. Au-delà de V1, une négativité est très rare, et ne dépasse qu'exceptionnellement V2 (après l'âge de 15 ans), mais s'observe dans environ 15% des cas avant 10 ans.
- **Amplitude de l'onde T** : elle varie dans de larges limites. On remarque généralement que des ondes T de grande amplitude peuvent exister de V2 à V4, et relativement plates en D1, D2 et V5, V6. Dans le plan frontal T est maximale en D2 (1-4mm) et T en D1 > T D2. Elle est anormalement ample si  $>7$ mm et anormalement basse si  $< 0.5$ mm.

## 7. Intervalle QT

La durée du QT est mesurée du début du QRS à la fin de l'onde T (qui peut être précisée par le croisement entre la ligne de la pente descendante de T et la ligne isoélectrique).

Il varie dans de larges limites chez les sujets normaux (selon le sexe et la fréquence cardiaque). C'est pourquoi plusieurs auteurs ont cherché à relier la durée du QT à celle du RR par diverses formules dont la plus simple et la plus utilisée est celle de Bazett :  $QT_c = QT / \sqrt{RR}$  (s)

**La valeur du QT représente la valeur du QT à 60/min sa durée supérieure est 0.39s chez l'homme et 0.44s chez la femme. Il est habituellement mesuré en D2, V2, V3.**

Le QT peut être calculé dans les 12 dérivations pour calculer la dispersion du QT qui est définie par la différence entre la plus grande et la plus petite valeur mesurée.

La formule de Bazett ne doit être utilisée que si l'ECG est enregistré au repos dans un état physiologique stable, car la durée du QT dépend aussi de l'influence du système nerveux autonome. (effet indirect en agissant sur la fréquence cardiaque et direct en modifiant le processus de dépolarisation et de repolarisation).

## 8. L'onde U

L'onde U n'est pas toujours identifiable sur les tracés usuels. C'est en précordiales moyennes qu'elle est la plus visible. C'est une onde arrondie débutant de 0.02 à 0.04 sec après la fin de T et dure 0.16 à 0.25 sec. Elle est positive et son amplitude est de 5 à 50% de celle de T.

## V. Variations physiologiques chez l'adulte

### 1. Positions électriques du cœur

La position anatomique du cœur dans le thorax varie en fonction de la morphologie des individus. Cette variation est liée aux mouvements que le cœur peut faire autour de trois axes principaux. Ces différentes variations anatomiques correspondent à autant de variétés électriques. Les trois rotations possibles sont :

1. **L'axe antéro-postérieur** : où la rotation du cœur se fait dans le plan frontal, soit dans le sens horaire (verticalisation du cœur) ou anti-horaire (horizontalisation du cœur).
2. **L'axe longitudinal ou anatomique** : dans lequel la rotation peut être horaire avec dextrorotation (amenant le VD plus en avant et plus en haut, et le VG plus en arrière plus bas), soit antihoraire ou lévoration (VD en bas et à droite et VG plus en haut).
3. **L'axe transversal** : dans lequel la pointe du cœur se place en avant par rapport à la base du cœur, ce qui donne les positions pointe en avant et pointe en arrière.

Dans certains cas, le cœur peut tourner autour de plusieurs axes.

#### 1.1/ selon l'axe antéropostérieur :

- ✓ **Rotation horaire ou cœur vertical** : Les ondes R amples en D2, D3, aVF, .On remarque que les dérivation inférieures recueillent ce vecteur d'activation aussi enregistré par les précordiales gauches d'où les QRS en D2, D3, aVF ressemblent à ceux de V5,V6, V7. Les ondes R moins amples en D1, aVL, avec S en aVL.
- ✓ **Rotation antihoraire ou cœur horizontal** : Les ondes R amples en D1, aVL, avec des ARS ressemblant à ceux enregistrés en précordiales gauches (V5-V7). Les ondes R sont moins amples en D2, avec S en D3 et aspect diphasique en aVF.

#### 1.2/ selon l'axe longitudinal :

- ✓ **Rotation horaire (VD en haut et en avant)** : ondes Q et R amples en inférieur, contre absence d'ondes Q en D1, aVL et en précordiales gauches, avec ondes S. d'où **S1Q3**
- ✓ **Rotation antihoraire** : Les ondes Q présentes en D1, aVL et en précordiales gauches, et absentes en inférieur. Présence d'onde S en inférieur. **Q1S3**

#### 1.3/ selon l'axe transversal :

- ✓ **Pointe en avant** : les ondes Q sont visibles en D1, aVL, D2, D3, aVF, et moins profondes qu'en précordiales gauches. **Aspect Q1Q2Q3**. Les ondes R amples en D1, D2, aVF et dans les précordiales gauches. Aspect diphasique en D3, aVL.
- ✓ **Pointe en arrière** : Les ondes Q sont absentes en D1, aVL, D2, D3, aVF, avec des R diphasique et des S amples. **Aspect S1S2S3**.

### 2. Aspect de repolarisation précoce

Une variante normale, dite **repolarisation vagotonique**, observée surtout chez les sujets jeunes et plus souvent dans la race noire. Importante surélévation du ST jusqu'à 3, voire 4 mm, concave en haut, (souvent avec crochetage de la branche descendante de R), suivi d'une onde T ample et symétrique, deV3-V5, pouvant prêter à confusion avec un courant de lésion sous-épicaire.

### **3. Sujets de race noire**

Dans 20 à 40% peuvent exister des anomalies de la repolarisation en précordiales et moyenne à type de :

- inversions de T étendues prolongeant chez l'adulte des aspects infantiles.
- Repolarisation de type vagotonique
- Morphologies aplaties ou arrondies des ondes T.

### **4. Position du sujet**

Le passage en orthostatisme peut modifier l'aspect de la repolarisation ventriculaire, surtout chez les sujets jeunes et névrotiques. En 10min après orthostatisme peuvent apparaître :

- aplatissement ou inversion de T en D2, D3, ou même dépression du ST
- rarement déformations des T en précordiales gauches.

Les retour en décubitus efface ces déformations (en plus de 10 min).

### **5. Respiration**

La respiration normale peu s'accompagner de variations cycliques intéressant la fréquence cardiaque (surtout chez les jeunes), parfois l'amplitude des QRS et rarement des ondes T.

L'inspiration profonde modifie le QRS surtout en D3 et a tendance à réduire les ondes Q physiologique ou même les supprimer.

L'hyperventilation volontaire peut aboutir à une inversion de T surtout en précordiales moyennes et gauches et en D1, D2, surtout chez les sujets jeunes, émotifs ou ceux qui ont une repolarisation vagotonique.

L'épreuve de Valsalva peut modifier l'aspect de la repolarisation (aplatissement de T en D1, D2 plutôt qu'en précordiales), alors que la simple suspension de la respiration n'a pas d'effet, surtout après 40 ans.

### **6. Alimentation**

30 à 60 min après les repas peuvent survenir des altérations de la repolarisation à type de T plates en standard en et précordiales gauches.

### **7. Obésité**

Peuvent s'observer des ondes R peu amples, axe dévié à gauche et T plates.

### **8. Effort**

Le maximum des déformations s'observe au cours de l'effort ou en période de récupération. Peuvent être observées :

- tachycardie sinusale
- tendance à la verticalisation des axes de P, QRS et T.
- augmentation de l'amplitude de P et inclinaison descendante du PR.
- Décalage vers le bas du point J, proportionnel à la tachycardie pouvant atteindre 2mm, suivi d'un ST ascendant se raccordant sans cassure à l'onde T ; ce segment croise la ligne isoélectrique à un point X précoce. (QX<<XT)
- Modifications inconstantes des QRS et de T
- Augmentation de l'amplitude de U
- Apparition de d'ESV ou ESA, monomorphes et peu nombreuses.

### **9. Altitude**

chez les populations vivant à haute altitude, certains traits de l'ECG suggèrent une HVD : déviation axiale droite, aspect S1S2S3, QRES à prédominance de positivité avec R' en précordiales droites.

### **10. Sportifs de haut niveau**

On peut observer au repos :

- une bradycardie sinusale,
- allongement du PR, parfois même BAV 2' avec période de Wenckebach,
- grandes R en précordiales gauches et grandes S à droite,
- possibilité de T amples ou inversées en inférieur et en précordiales gauches.

Ces anomalies sont corrigées par l'effort, en particulier les troubles de la conduction et les anomalies de l'onde T.

### **11. Thorax déformés**

- Dépression sternale (thorax en entonnoir) : déviation axiale droite modérée, P négative en V1, déplacement à gauche de la zone de transition, QRS insolites en V1 : qr ou rsr'.
- Syndrome du dos plat : avec étroitesse du diamètre thoracique antéropostérieur → BBD incomplet.

### **12. Asthénie neurocirculatoire**

Dans les états de névrose cardiaque, peuvent exister des déformations de l'ECG intéressant surtout la repolarisation à type de :

- sous-décalage ascendant, ou sus-décalage concave.
- aplatissement et déformation de T surtout en précordiales gauches.
- Négativité de T peu ample et asymétrique en inférieur et à droite.

Ces anomalies sont volontiers labiles soit spontanément soit sous l'effet de l'hyperventilation, de l'effort et après administration de potassium.

## **VI. ECG de l'enfant**

### **1. Nouveau né**

Les caractéristiques principales du tracé du nouveau né sont :

- Fréquence rapide de 100 à 180/min au repos ;
- Durée des ondes et des intervalles courte : P 0.04-0.08s, PR 0.07-0.14s, QRS 0.04-0.08s ;
- Le complexe QRS montre une prépondérance du VD :  $\hat{A}QRS$  de  $+90$  à  $+180^\circ$  dans le plan frontal, en précordiales droites la positivité est prédominante ou exclusive avec des aspects R, Rs, RS, en précordiales gauches les aspects sont variables souvent absence d'onde q et S prédominante.
- Les voltages des QRS peuvent être relativement élevés en dérivations périphériques et précordiales droites avec des ondes R allant jusqu'à 20mm en D2, D3 ou aVF, ainsi qu'en V1, jusqu'à 30mm en V2, en revanche elle ne dépasse guère 13 mm en V6.
- L'aspect de la repolarisation ventriculaire évolue très vite entre la naissance et la première semaine : pendant les premières 24h T négative en D1, parfois en précordiales gauches et positive en précordiales droites, après 24 h, elle devient positive en D1, en précordiales gauches et elle se négative en précordiales droites.

### **2. L'enfance**

- La fréquence cardiaque diminue lentement (pouvant atteindre 160 entre 3 et 5 ans).
- La durée des ondes et des intervalles s'accroît très progressivement ;
- L' $\hat{A}QRS$  vire rapidement vers la gauche : entre 0 et  $+110^\circ$  à l'âge de 3 mois et garde ensuite une direction à peu près stable.
- En V1, l'onde R décroît rapidement pour augmenter en précordiales gauches :
  - $RV1 > RV6$  avant 6 mois
  - $RV1 = RV6$  de 6 mois à 01 an
  - $RV1 < RV6$  après 01 an
  - $RV1 < SV1$  après 05 ans.
- La repolarisation ne se modifie pas : onde T demeure négative en précordiales droites, pouvant s'étendre jusqu'à V4 (à 5ans), V3 (10ans), V2 (12 ans), V1 (16 ans), en précordiales gauches les ondes T sont toujours positives après l'âge de 3 mois.
- Le Sokolow est repoussé à 45 avant 20 ans.

## **VII. ECG du sujet âgé**

A mesure que l'on avance dans l'âge on note une réduction des amplitudes des QRS, déplacement vers la gauche de l' $\hat{A}QRS$ , allongement léger du PR et du QT et de la durée de P.

Les ECG normaux chez les grands vieillards sont plus nombreux chez femme que chez l'homme.

## Bibliographie

- ✓ Gay J, Desnos M, Benoit P. L'électrocardiogramme. Paris: Frison-Roche, 1990
- ✓ C. Chapelon-Abric *Méthode d'analyse des électrocardiogrammes de surface douze dérivations Encyclopédie Médico-Chirurgicale 11-003-C-10 (2004)*