

L'électrocardiogramme de repos normal

Date de création du document : 2008-2009

Table des matières

1 Les principes de base.....	1
2 Enregistrement de l'ECG.....	2
3 Le parallèle anatomo-électrique.....	3
4 Interprétation de l'ECG.....	4
5 ECG normal.....	5
5 . 1 Rythme et fréquence.....	1
5 . 2 Onde P : dépolarisation auriculaire.....	1
5 . 3 Intervalle PR ou PQ : conduction auriculo-ventriculaire.....	1
5 . 4 Complexe QRS.....	1
5 . 4 . 1 Morphologie	1
5 . 4 . 2 Axe dans le plan frontal.....	1
5 . 4 . 3 Amplitude du QRS.....	1
5 . 4 . 4 Durée du QRS.....	1
5 . 4 . 5 Délai d'apparition de la déflexion intrinsécoïde.....	1
5 . 5 Segment ST.....	1
5 . 6 Onde T.....	1
5 . 7 Intervalle QT.....	1
5 . 8 Onde U.....	1

PRÉ-REQUIS

- Comment est chargée une cellule myocardique au repos ? Réponse : elle est chargée positivement à sa surface et négativement à l'intérieur.
- A quoi correspond le potentiel transmembranaire de repos ? Réponse : c'est la différence de potentiel enregistrée entre l'intérieur (négatif) et l'extérieur (positif) de la cellule myocardique. Il est de -90 mV.
- Qu'est-ce qu'un potentiel d'action ? Réponse : Le potentiel d'action est une brusque modification du potentiel de repos résultant d'échanges ioniques transmembranaires. C'est un phénomène électrique qui naît suite à une stimulation électrique de la cellule.

OBJECTIFS

GENERAL :

- Connaître les principes de base de l'électrocardiogramme (ECG).
- Savoir enregistrer un ECG.
- Savoir interpréter un ECG.
- Connaître les aspects d'un ECG normal.

I LES PRINCIPES DE BASE

L'ECG est l'enregistrement en temps réel de l'activité électrique du cœur.

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.

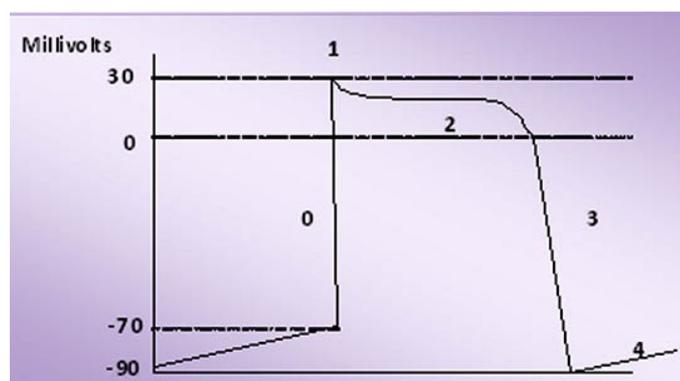
Au repos, l'intérieur de la cellule est chargé négativement et sa surface positivement réalisant une différence de potentiel de -90mV : c'est le potentiel transmembranaire de repos.

Lorsque la cellule est excitée par un stimulus mécanique, chimique ou électrique la surface de la cellule par un jeu de mouvements ioniques (entrée de sodium et calcium, sortie de potassium) se négative : c'est la dépolarisation. Ce changement de polarité rapide (de l'ordre de la milliseconde) constitue la phase 0 du potentiel d'action à laquelle se succèdent :

- la phase 1 de repolarisation initiale
- la phase 2 de dépolarisation maintenue ou plateau
- la phase 3 de repolarisation où la cellule redevient positive à sa surface
- la phase 4 de polarisation stable (sauf pour les cellules automatiques)

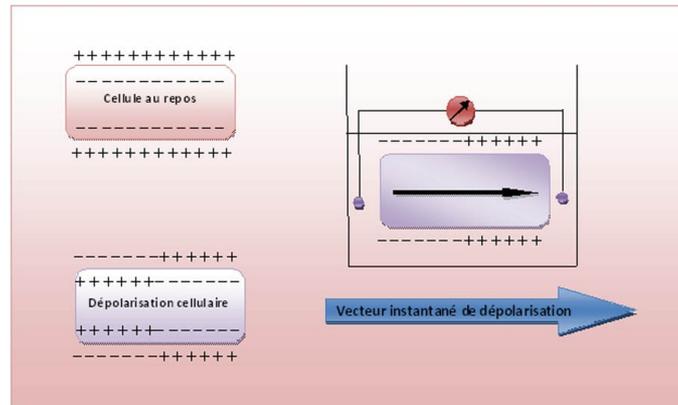
L'ensemble de ces phases constituent le potentiel d'action permettant la contraction de la cellule.

Figure 1 : Potentiel d'action



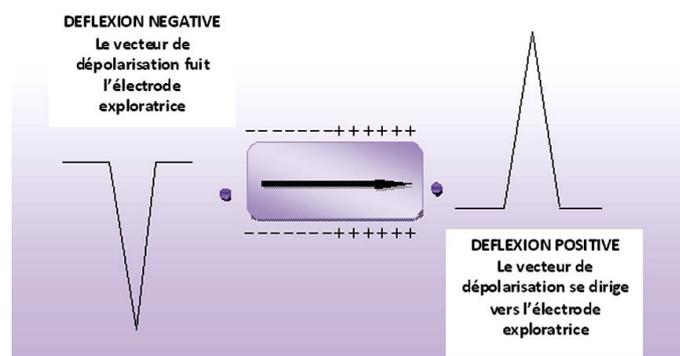
Lors de la dépolarisation de la cellule, il existe une variation du champ électrique entourant la cellule. Comme la dépolarisation se propage d'un point à un autre on assimile cette variation de champ électrique à un *vecteur électrique instantané élémentaire*.

Figure 2 : Vecteur instantané de dépolarisation



Lorsque ce vecteur se dirige vers l'électrode exploratrice, une déflexion positive est enregistrée sur l'ECG. Lorsque ce vecteur s'éloigne de l'électrode exploratrice, une déflexion négative s'inscrit.

Figure 3 : Déflexions positive et négative



Lorsque plusieurs cellules sont dépolarisées simultanément, l'ensemble des vecteurs élémentaires donne un *vecteur résultant* qui déterminera l'axe électrique de l'onde P, du QRS et de l'onde T.

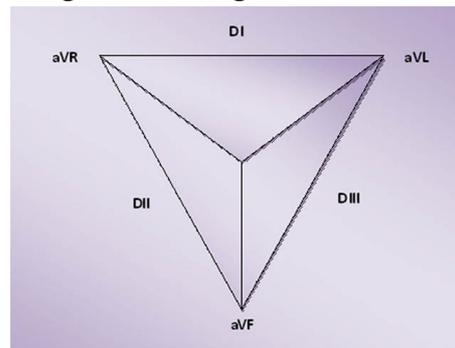
Afin d'enregistrer l'activité électrique du cœur de manière globale un certain nombre d'électrodes sont nécessaires. On distingue ainsi les électrodes *unipolaires* et les *bipolaires*.

• *Les électrodes bipolaires* enregistrent les variations de potentiel entre deux électrodes placées à la surface du corps. Elles étudient l'activité électrique du cœur selon un plan frontal et sont au nombre de 3 :

- **DI** : entre le bras droit et le bras gauche
- **DII** : entre le bras droit et la jambe gauche
- **DIII** : entre le bras gauche et la jambe gauche

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 4: Triangle d'Einthoven



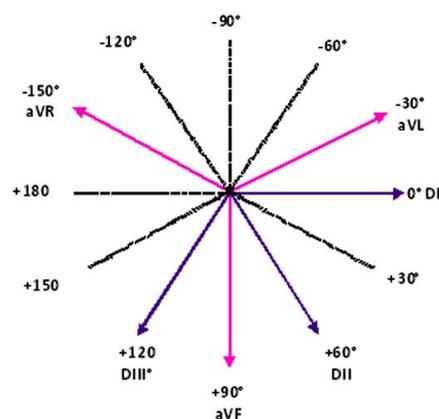
• *Les électrodes unipolaires* enregistrent les variations de potentiel entre une électrode positive placée à la surface du cœur et reliée à une borne centrale de potentiel. On distingue les dérivations des membres et les précordiales.

- les **dérivations périphériques** enregistrent l'activité selon un plan frontal Pour obtenir un tracé d'amplitude similaire aux autres dérivations, il faut les amplifier d'où leur dénomination. Elles sont au nombre de 3:
 - aVR (augmented Voltage Right arm) entre le bras droit et la borne centrale
 - aVL (augmented Voltage Left arm) entre le bras gauche et la borne centrale
 - aVF (augmented Voltage Foot) entre la jambe gauche et le borne centrale

La ligne de ces trois dérivations passe par un sommet du triangle et son centre.

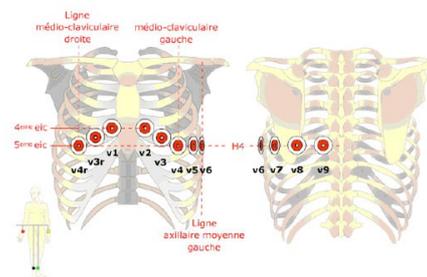
Si on translate l'origine des 6 lignes de dérivations décrites on obtient ceci :

Figure 5 : Dérivations périphériques



- les **dérivations précordiales** enregistrent l'activité selon un plan quasi horizontal. Leur localisation doit être précise afin de pouvoir comparer les ECG successifs. Elles sont au nombre de 12 mais souvent seules les 6 premières sont mises en place.
 - V1 : 4^{ème} espace intercostal droit au bord droit du sternum
 - V2 : 4^{ème} espace intercostal gauche au bord gauche du sternum
 - V3 : à mi-distance entre V2 et V4
 - V4 : 5^{ème} espace intercostal gauche au niveau de la ligne médio-claviculaire gauche
 - V5 : sur la ligne axillaire antérieure à la hauteur de V4
 - V6 : sur la ligne axillaire moyenne à la hauteur de V4
 - V7 : sur la ligne axillaire postérieure à la hauteur de V4
 - V8 : à la pointe de l'omoplate à la hauteur de V4
 - V9 : au bord gauche du rachis à la hauteur de V4
 - V3R : symétrique de V3 sur l'hémithorax droit
 - V4R : symétrique de V4 sur l'hémithorax droit
 - VE : épigastrique (pointe du processus xiphoïde)

Figure 6 : Dérivations précordiales



II ENREGISTREMENT DE L'ECG

Avant d'enregistrer un ECG il faut s'assurer de connaître le fonctionnement de l'appareil enregistré. Il faut demander au patient de s'allonger et de se détendre de manière à réduire les interférences pouvant provenir des muscles squelettiques. Avant de fixer les électrodes on peut être amené à raser les poils en excès afin d'assurer un bon contact électrique.

Une fois les électrodes correctement fixées, il faut vérifier que les paramètres de l'appareil sont bien réglés : la vitesse de déroulement du papier est habituellement de **25mm/s** soit 1 mm représentant 0,04 s. et l'étalonnage habituellement utilisé est de **10 mm pour 1mV**. Le papier utilisé pour l'impression de l'ECG est un **papier millimétré** avec des petits carreaux de 1 mm de côté réalisant de plus grands carreaux de 5mm de côté délimités par des lignes en gras.

Enfin avant d'interpréter un ECG il est important de s'assurer de sa **qualité** : absence de défaut d'étalonnage (signal amorti ou amplitude incorrecte), stabilité de la ligne de base, absence d'interférence, cohérence du tracé (absence d'inversion des électrodes).

III LE PARALLÈLE ANATOMO-ÉLECTRIQUE

L'activité électrique naît au niveau du nœud sinusal (nœud de Keith et Flack) situé à la partie supérieure de l'oreillette droite dont les cellules ont la propriété de se dépolariser spontanément. Cette dépolarisation survient environ 60 à 100 fois par minute. La dépolarisation du nœud sinusal ne provoque aucune onde identifiable sur l'ECG.

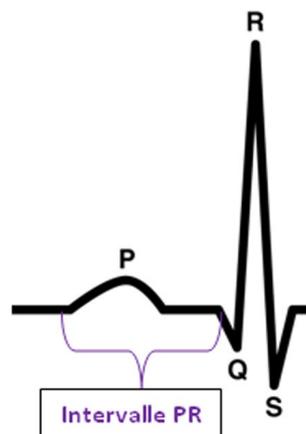
La première onde détectable, l'**onde P**, apparaît quand l'influx se propage au myocarde auriculaire, dépolarisant les oreillettes. L'électricité se dirige vers la plupart des électrodes créant une déflexion positive à l'exception d'aVR qui voit s'éloigner le courant créant ainsi une onde P négative.

Figure 7 : Onde P



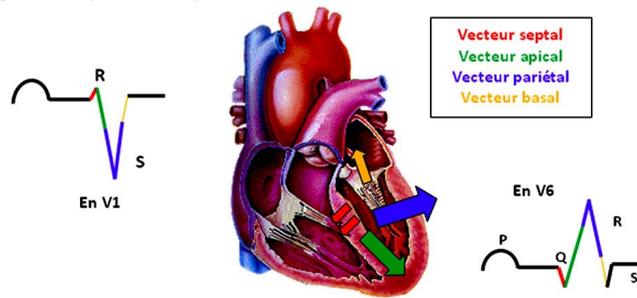
L'influx atteint ensuite le nœud auriculo-ventriculaire dit d'Aschoff-Tawara à la jonction oreillette et ventricule droits, proche de la valve septale tricuspide et de l'abouchement du sinus coronaire. L'activation de ce nœud tout comme le nœud sinusal ne provoque aucune onde identifiable sur l'ECG et se traduit par un retour à la ligne isoélectrique avant l'onde suivante R ou Q. L'**intervalle PR** correspond ainsi à l'espace entre le début de l'onde P et le début de l'onde suivante R ou Q et traduit le temps nécessaire à l'influx pour traverser les oreillettes et le nœud auriculo-ventriculaire.

Figure 8 : Intervalle PR



Après la traversée du nœud auriculo-ventriculaire l'influx atteint le faisceau de His : le tronc puis les branches droite et gauche jusqu'au réseau de Purkinje. La traversée du faisceau de His est à l'origine de la dépolarisation septale et des deux ventricules.

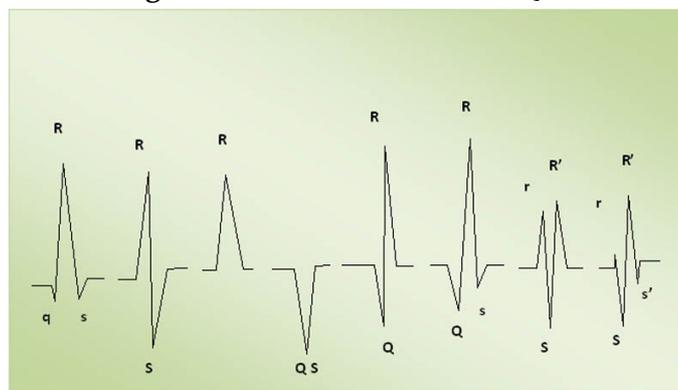
Figure 9 : Dépolarisation septale



La dépolarisation septale se fait selon un vecteur initial (dit **vecteur septal**) allant de la gauche vers la droite et le bas donnant une première déflexion positive appelée **onde R** (comme en V1) ou négative appelée **onde Q** (comme en V6) en fonction de la localisation de l'électrode exploratrice. Puis la dépolarisation se fait selon un vecteur en direction apicale (dit **vecteur apical**) puis en direction pariétale ventriculaire gauche (**vecteur pariétal**) puis en direction basale (**vecteur basal**) vers l'arrière et le haut donnant le **complexe QRS**.

Par nomenclature, les ondes de grande amplitude sont en majuscule. La première déflexion négative est une **onde Q**, la première déflexion positive une **onde R**, toute onde négative suivant une onde R une **onde S** et toute onde positive survenant après une onde S est dite **onde R'** d'où la possibilité de complexes de morphologie différentes :

Figure 10 : Nomenclature des QRS

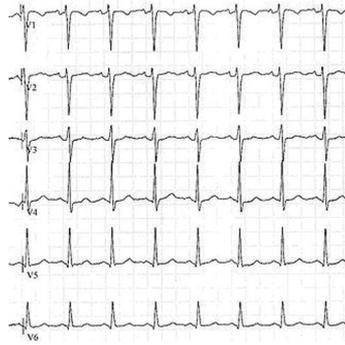


La branche droite du faisceau de His conduit l'influx au ventricule droit tandis que la branche gauche du faisceau de His se divise en hémibranches antérieure et postérieure conduisant l'influx au ventricule gauche. Les voies de conduction se terminent par les fibres du réseau de Purkinje qui conduisent l'onde de dépolarisation rapidement à travers les deux ventricules. Le complexe QRS enregistré correspond à la dépolarisation des 2 ventricules. Il est positif ou négatif selon que l'onde R ou S est dominante.

Le ventricule gauche ayant une masse musculaire plus développée que celle du ventricule droit, le voltage généré par sa dépolarisation déterminera la forme du complexe QRS. Ainsi, les dérivations situées à droite verront une quantité de voltage relativement faible se diriger vers elles lors de la dépolarisation du ventricule droit et une quantité plus importante s'éloigner lors de la dépolarisation du ventricule

gauche d'où un complexe à prédominance négative et inversement pour les dérivations situées à gauche.

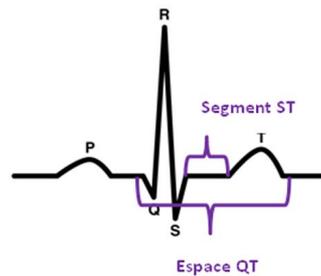
Figure 11 : Zone de transition



Le **segment ST** correspond à la période transitoire pendant laquelle aucun influx ne pourra traverser le myocarde. Il débute à la fin de l'onde S jusqu'au début de l'onde T.

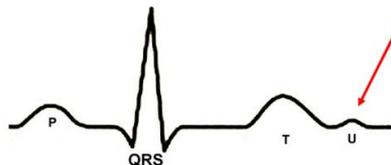
Enfin l'**onde T** représente la repolarisation du myocarde ventriculaire. La repolarisation se fait de l'épicaire vers l'endocarde et correspond à la repositivisation de la surface des cellules myocardiques. L'espace QT peut être mesuré entre le début de l'onde Q et la fin de l'onde T.

Figure 12 : Espace QT et segment ST



Une **onde U** (déflexion positive) peut suivre l'onde T. Elle traduirait la repolarisation ventriculaire lente.

Figure 13 : Onde U



IV INTERPRÉTATION DE L'ECG

L'analyse doit être méthodique et systématique. Elle comporte l'étude de :

- la fréquence et le rythme
- l'onde P : durée et amplitude
- l'intervalle PR : durée
- le complexe QRS : morphologie, durée, axe
- l'intervalle ST : morphologie, durée · l'onde T : morphologie, amplitude, durée
- l'espace QT : durée et morphologie · l'onde U

V ECG NORMAL

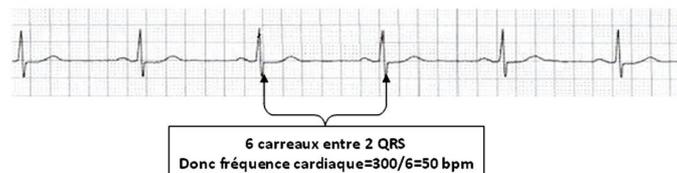
V.1 RYTHME ET FRÉQUENCE

Pour étudier le rythme, il faut examiner une dérivation ayant un tracé avec au moins 12 complexes (DII souvent). Le rythme cardiaque normal est le rythme sinusal dans lequel le nœud sinusal initie la contraction cardiaque en délivrant des impulsions à la fréquence de 60 à 100 battements par minute. Les principales caractéristiques du rythme sinusal sont :

1. Une fréquence cardiaque comprise entre 60 et 100 bpm
2. Chaque onde P suivie d'un complexe QRS et inversement
3. Une onde P positive en DII et négative en aVR

Quand on parle de **fréquence cardiaque** on parle en fait de la fréquence ventriculaire. Elle se mesure donc en comptant le nombre de complexes QRS par minute. Soit on peut s'aider d'une règle graduée, soit de manière plus approximative en divisant 300 par le nombre de grands carrés séparant 2 complexes QRS.

Figure 14 : Calcul simplifié de la fréquence cardiaque

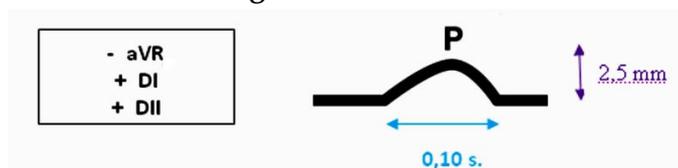


La fréquence normale est entre 60 et 100 bpm. Une fréquence inférieure à 60 bpm est appelée **bradycardie**, supérieure à 100 bpm est appelée **tachycardie**.

V.2 ONDE P : DÉPOLARISATION AURICULAIRE

Sa durée est inférieure à 0,10 s. et son amplitude inférieure ou égale à 2,5 mm maximale en DII et V1. L'onde P sinusale est toujours **négative en aVR** et positive en DI et DII.

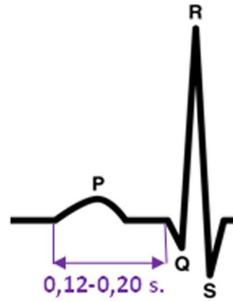
Figure 15 : Onde P



V.3 INTERVALLE PR OU PQ : CONDUCTION AURICULO-VENTRICULAIRE

Entre le début de l'onde P et le début du complexe QRS. Il est isoélectrique et sa durée est comprise entre 0,12 et 0,20 s. Il diminue si la fréquence cardiaque augmente et augmente avec l'âge.

Figure 16 : Intervalle PR

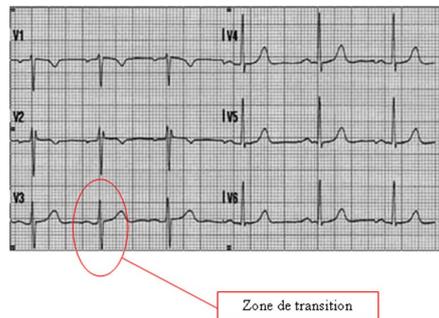


V.4 COMPLEXE QRS

V.4.1 Morphologie

L'onde R croît de V1 à V6 où elle est habituellement maximale. La dérivation où les ondes R et S ont la même amplitude est dite zone de transition.

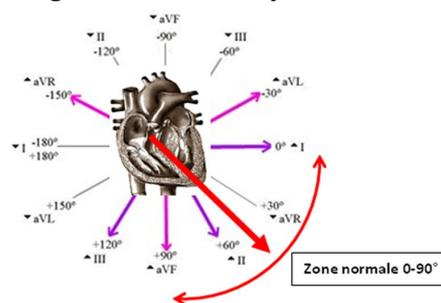
Figure 17 : V3 Zone de transition



V.4.2. Axe dans le plan frontal

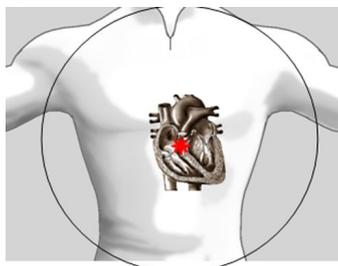
L'axe moyen du QRS est la résultante de tous les vecteurs instantanés résultant de la dépolarisation ventriculaire. Le vecteur moyen du QRS se dirige vers le bas et la gauche du malade.

Figure 18 : Axe moyen du QRS



Pour déterminer la direction du vecteur, il faut imaginer une sphère centrée sur le nœud auriculo-ventriculaire :

Figure 19 : Calcul de l'axe (1)



On y figure la dérivation DI réalisée en plaçant une électrode positive au niveau du bras gauche et négative au niveau du bras droit. Ainsi on peut déterminer que la moitié droite de la sphère est négative et la moitié gauche positive.

Lorsqu'une onde positive de dépolarisation se dirige vers une électrode positive, on enregistre une déflexion positive à l'ECG. Donc si le complexe QRS est positif en DI le vecteur résultant se dirige vers la moitié gauche de la sphère.

Figure 20 : Calcul de l'axe (2)

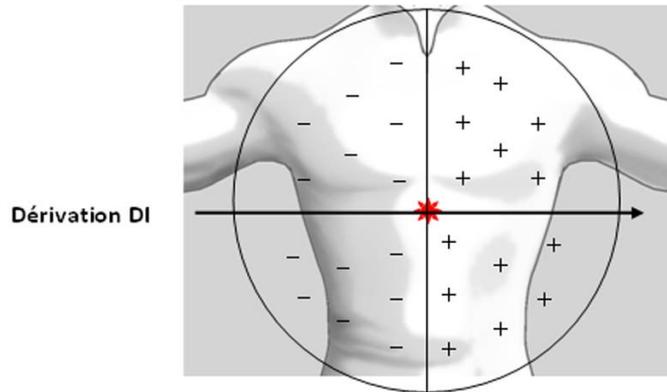
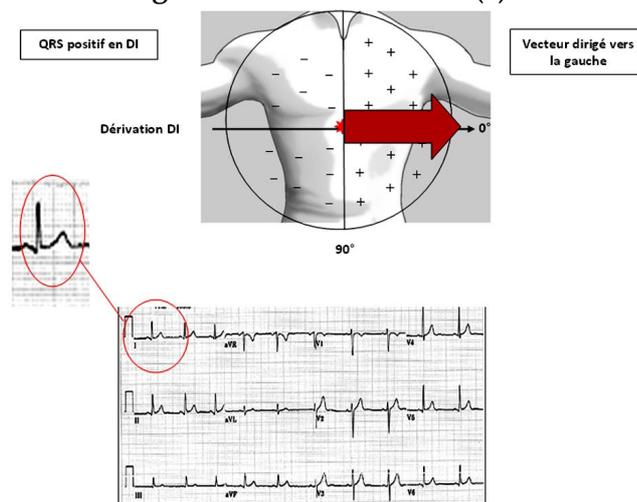


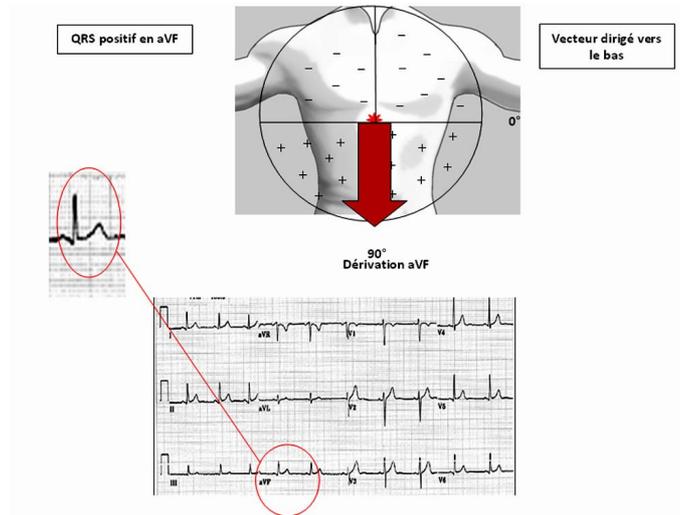
Figure 21 : Calcul de l'axe (3)



De la même manière, on y figure la dérivation aVF réalisée en plaçant une électrode positive au niveau du pied gauche. Ainsi on peut déterminer que la moitié supérieure de la sphère est négative et la moitié inférieure positive.

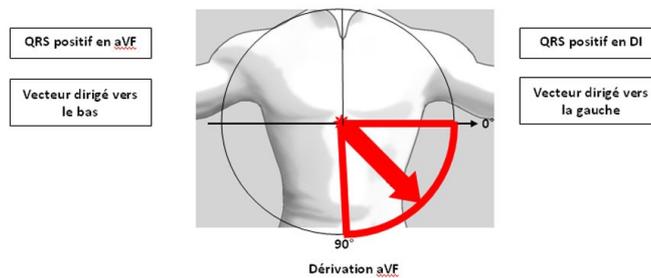
Lorsqu'une onde positive de dépolarisation se dirige vers une électrode positive, on enregistre une déflexion positive à l'ECG. Donc si le complexe QRS est positif en aVF le vecteur résultant se dirige vers la moitié inférieure de la sphère.

Figure 22 : Calcul de l'axe (4)



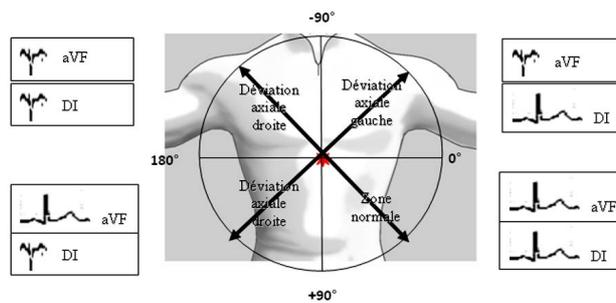
En associant les deux on obtient donc un vecteur dirigé vers le bas et la gauche soit dans la zone normale.

Figure 23 : Mesure de l'axe : vecteur final



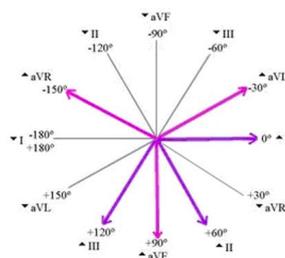
Le quadrant situé entre 0° et 90° est dit normal. En dehors de ce quadrant on parle de **déviatiion axiale gauche** si le vecteur est situé dans le quadrant supéro-gauche et de **déviatiion axiale droite** lorsque le vecteur est situé dans les deux quadrants droits.

Figure 24 : Déviatiions axiales



Lorsque la dépolarisation se fait dans une direction perpendiculaire à une dérivation donnée, la déflexion est isoélectrique c'est-à-dire que les portions positives et négatives du complexe QRS sont à peu près égales. Afin d'affiner la direction du vecteur, il faut rechercher une dérivation dans laquelle le QRS est isoélectrique. Ainsi on prendra la perpendiculaire à cette dérivation que l'on reportera dans le quadrant déterminé grâce à aVF et DI.

Figure 25 : Dérivatiions isoélectriques



Ainsi quand l'axe est dans la **zone normale**,

- si **DIII** est isoélectrique, l'axe est à **+30°**
- si **aVL** est isoélectrique, l'axe est à **+60°**
- si **aVF** est isoélectrique, l'axe est à **0°**
- si **DI** est isoélectrique, l'axe est à **+90°**.

Quand il y a une **déviatiion axiale droite**,

- Si **DI** est isoélectrique, l'axe est à **+ou -90°**
- Si **aVR** est isoélectrique, l'axe est à **+120°**
- Si **DII** est isoélectrique, l'axe est à **+150°**
- Si **aVF** est isoélectrique, l'axe est à **+ ou -180°**
- Si **aVL** est isoélectrique, l'axe est à **-120°**
- Si **DIII** est isoélectrique, l'axe est à **-150°**.

Quand il y a une **déviatiion axiale gauche**,

- Si **aVF** est isoélectrique, l'axe est à **0°**
- Si **DII** est isoélectrique, l'axe est à **-30°**
- Si **aVR** est isoélectrique, l'axe est à **-60°**
- Si **DI** est isoélectrique, l'axe est à **-90°**.

V.4.3. Amplitude du QRS

Dans les dériviatiions frontales, elle est très variable, ne dépassant pas 15mm en DI et 12mm en aVL. On parle de **microvoltage** lorsque dans ces dériviatiions l'amplitude est inférieure à 5mm.

Dans les dériviatiions précordiales, on utilise des critères :

- **Indice de Sokolov-Lyon:** SV1 + RV5 (normale < 35 mm sauf chez le sujet jeune) au-delà le tracé est compatible avec une hypertrophie ventriculaire gauche
- **Indice de Lewis:** (RDI-RDIII) + (SDIII-SD1) (normale comprise entre - 14 et + 17). Les valeurs < -14 traduisent une hypertrophie ventriculaire droite et supérieures à +17 une hypertrophie ventriculaire gauche.
- **Indice de Cornell :** SV3 + RaVL. (valeurs normales: < 20 chez la femme et < 28 chez l'homme).
- Rapport R/S <1 en V1 et >2 en V6.

V.4.4. Durée du QRS

Elle est inférieure ou égale à 0,10 s. Au-delà, il existe un trouble conducteur intraventriculaire.

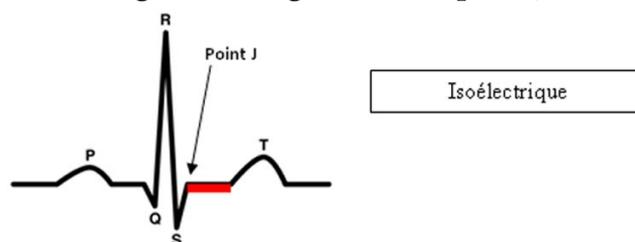
V.4.5. Délai d'apparition de la déflexion intrinsécoïde

Ce délai d'apparition représente le temps que met l'onde de dépolarisation à parcourir le myocarde, depuis l'endocarde jusqu'à l'épicarde; il est d'autant plus long que le myocarde est plus épais. Cette déflexion intrinsécoïde se mesure sur les dérivations précordiales en regard des ventricules : précordiales droites V3R - V1 - V2 pour le calcul de la déflexion intrinsécoïde du ventricule droit ; précordiales gauches V5 - V6 - V7 pour le calcul de la déflexion intrinsécoïde du ventricule gauche. La mesure de la déflexion intrinsécoïde se fait **du début de QRS** (pied de l'onde q ou pied de l'onde R en l'absence d'onde q) **jusqu'au sommet de l'onde R**. Il est inférieur ou égal à **0,03 seconde** dans les dérivations explorant le ventricule droit (en particulier V1), et à **0,055 seconde** dans les dérivations explorant le ventricule gauche (en particulier V6). Cette différence entre les ventricules droit et gauche s'explique par la différence d'épaisseur de leur paroi musculaire, respectivement 2,5 et 12 mm

V.5 SEGMENT ST

C'est la portion horizontale de la ligne de base séparant le complexe QRS de l'onde T. Le segment ST va **du point J**, fin du complexe QRS, au début de l'onde T. Le segment ST correspond à la phase de la repolarisation ventriculaire pendant laquelle les cellules ventriculaires sont toutes dépolarisées : il n'y a donc *a priori* pas de propagation électrique, le segment est alors **isoélectrique**.

Figure 26 : Segment ST et point J



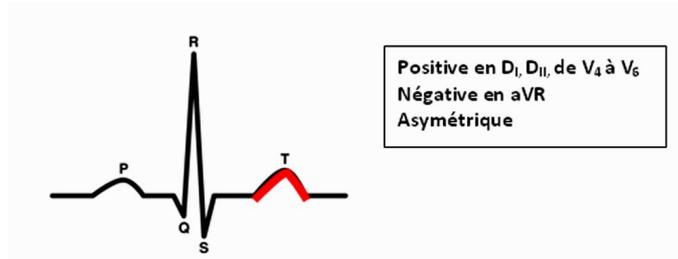
Il faut connaître toutefois la fréquence des sus-décalages de ST et du point J pouvant atteindre 3-4 mm dans les précordiales chez des sujets jeunes, de sexe masculin et vagotoniques indemnes d'affection cardiaque : on parle de **repolarisation précoce** .

V.6 ONDE T

L'onde T correspond au courant de repolarisation des ventricules. Cette onde succède au complexe QRS après retour à la ligne isoélectrique. Chez l'adulte sain, l'onde T est **positive en D I , D II , de V 4 à V 6 et négative en aV R**. Son aspect est **asymétrique**

avec une pente ascendante lente et descendante raide. Son amplitude est inférieure à 5 mm en périphérie et 10 mm en précordial.

Figure 27 : Onde T : caractéristiques



V.7 INTERVALLE QT

Cet intervalle correspond au temps de systole ventriculaire, c'est à dire de l'excitation des ventricules jusqu'à la fin de leur relaxation. Sa **durée normale** varie avec la fréquence cardiaque. Le QT se mesure du **début** du complexe QRS à la **fin** de l'onde T (dit QT_m, m pour mesuré). Le QT_c ou QT corrigé se calcule soit par la formule de Bazett $QT_c = QT_m / \sqrt{RR'}$, soit à l'aide d'une règle à ECG (QT_c donné pour chaque fréquence cardiaque). Le rapport maximal toléré (QT_m/QT_c) est de 120%.

Pour une fréquence cardiaque à 60 bpm, sa durée avoisine 400 millisecondes.

Figure 28 : Intervalle QT

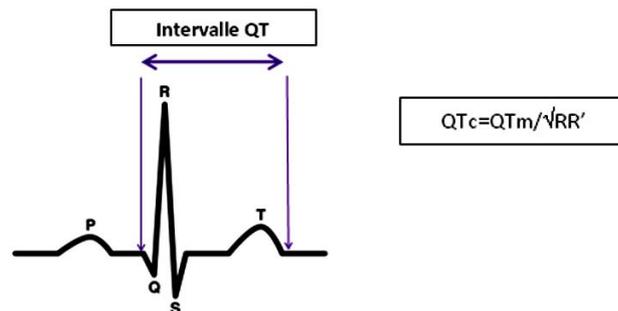


Figure 29 : Mesure du QT_m et QT_c

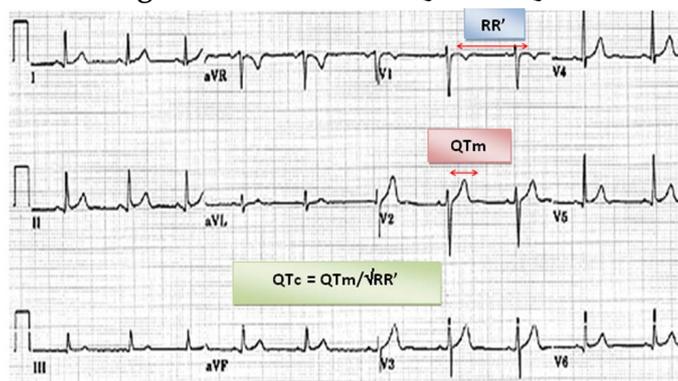
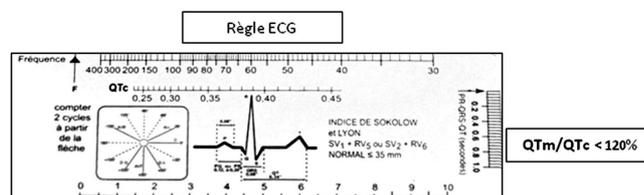


Figure 30 : Règle à ECG



V.8 ONDE U

Inconstante elle suit l'onde T, de même sens mais d'amplitude moindre. Son origine est discutée.

BIBLIOGRAPHIE

- Andrew R. HOUGHTON et David GRAY. 2003. Editions MASSON : Maîtriser l'ECG de la théorie à la clinique.
- Dale DUBIN.1999.Editions MALOINE : Lecture accélérée de l'ECG.
- Référentiel : Collège National des Enseignants de Cardiologie.