

TP de Physiologie Electrocardiogramme

Maël Launay

Assistant Hospitalo-Universitaire

Service d'Explorations Fonctionnelles du système Nerveux

Hôpital Pasteur, CHU de Nice

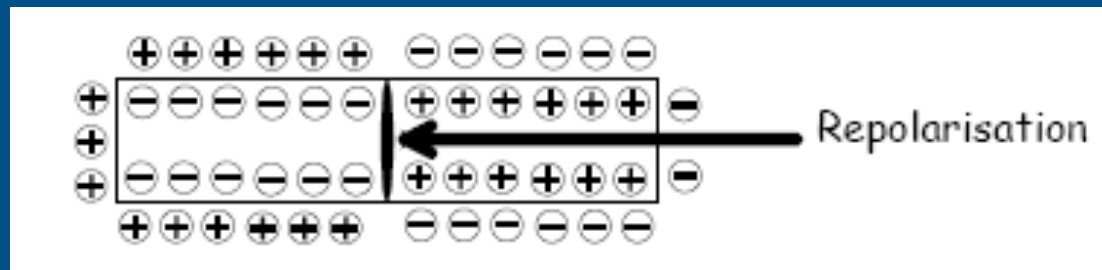
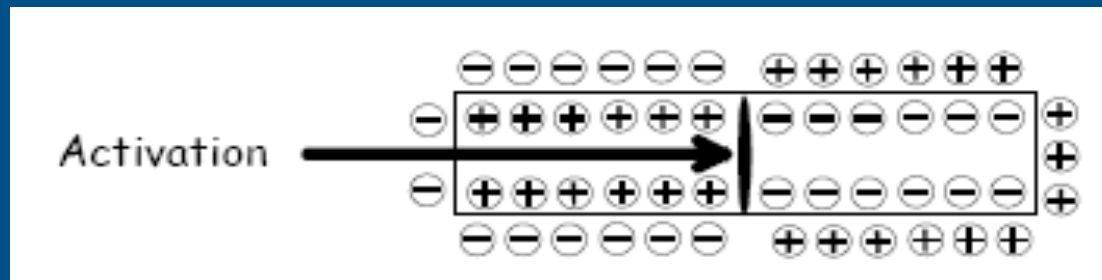
ECG

- Basé sur l'activité électrique des cellules musculaires
- L'ECG enregistre les variations des potentiels électriques entre 2 points éloignés, à la *surface du corps lié à des dépolarisation-repolarisation du muscle cardiaque*.
- Repos: intérieur des cellule chargé négativement .
- Lors du potentiel d'action, inversion de polarisation

Rappel électrophysiologique

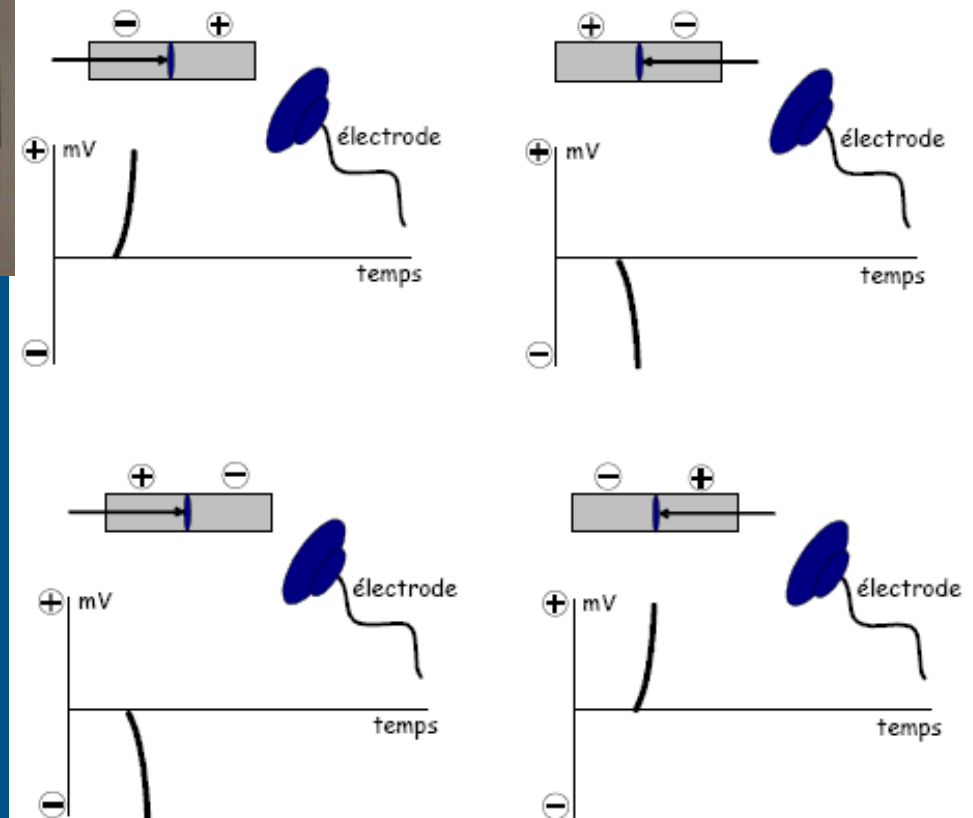
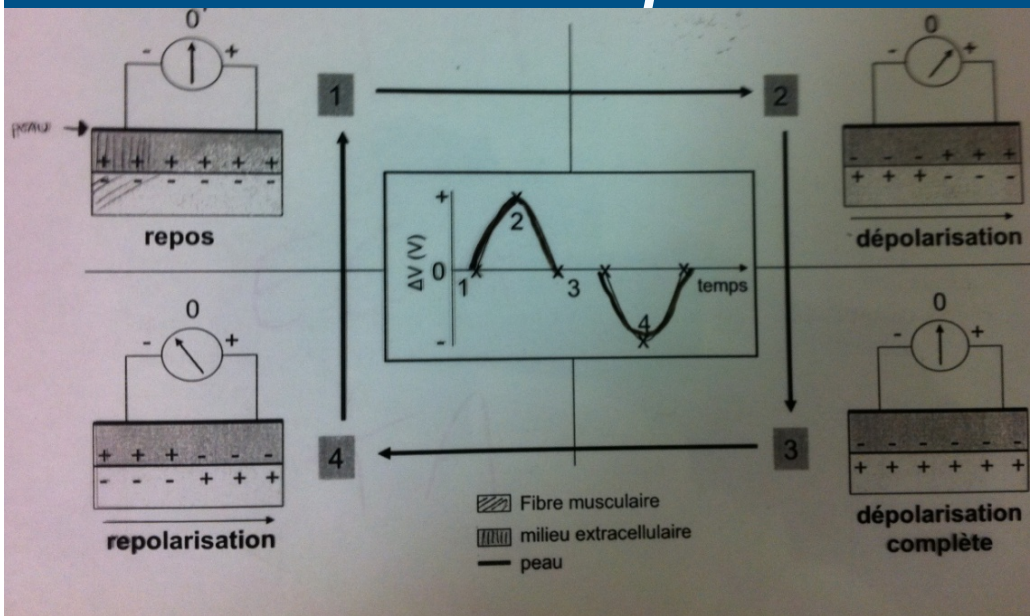
Champ électrique cardiaque

- Dipôles d'activation orienté des cellules dépolarisés vers les cellules au repos.
- Progression d'un dipôle électrique à la surface de la cellule.
- Initiation dans nœud sinusal et progression vers pointe du cœur



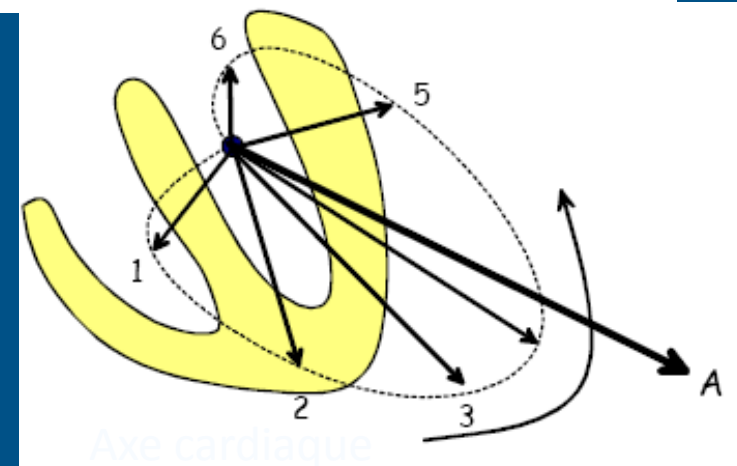
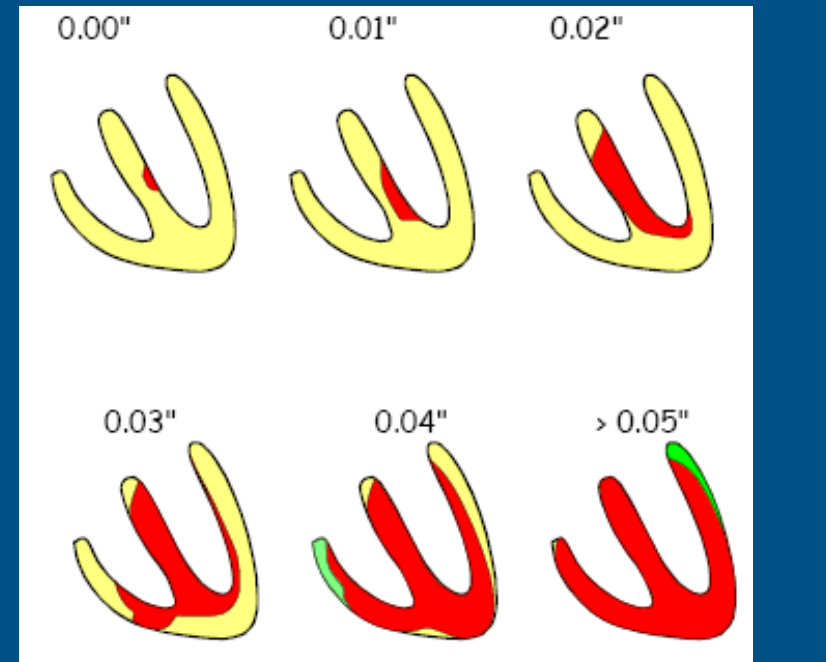
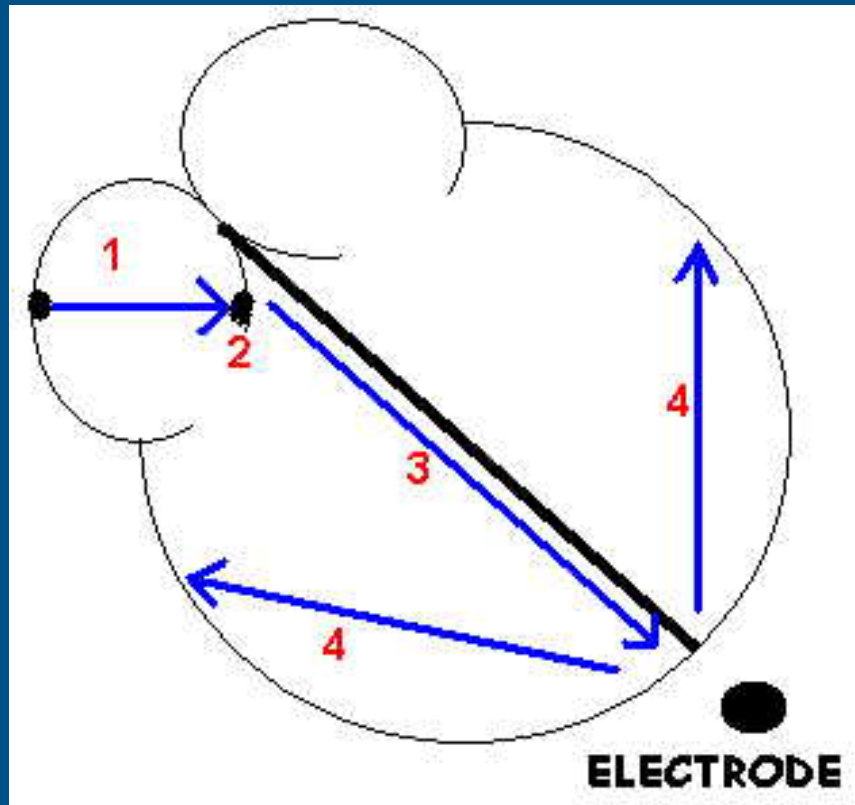
Rappel électrophysiologique

Champ électrique cardiaque



Vecteurs cardiaques d'activation et de repolarisation

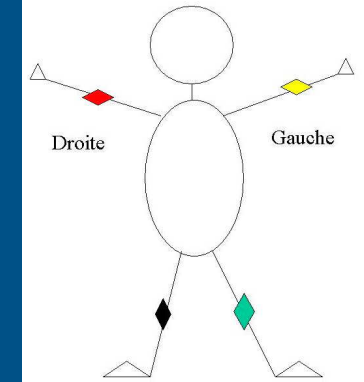
Séquence d'activation du myocarde



Triangle d'Einthoven

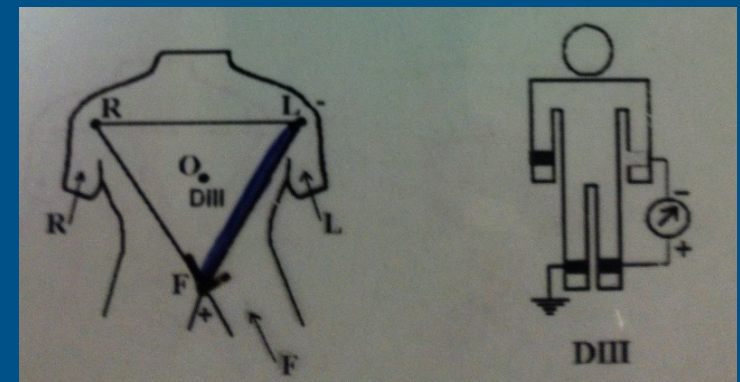
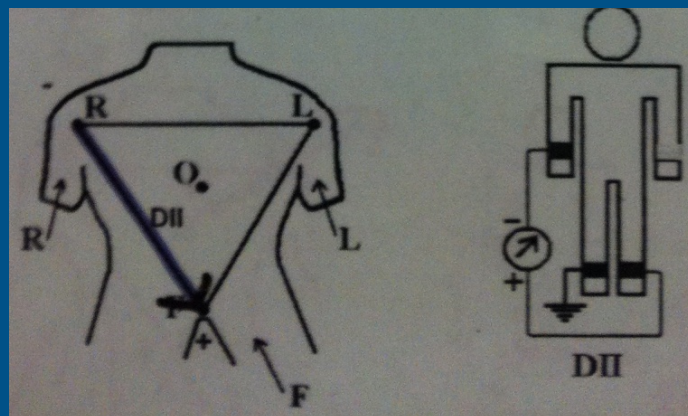
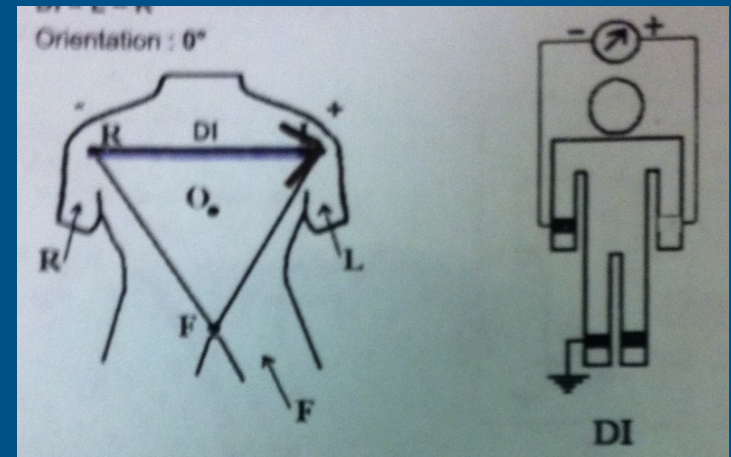
Dérivations périphériques ds plan frontal

DERIVATIONS PERIPHERIQUES



1) Dérivation périphériques bipolaires standards: DI, DII, DIII

- DI : entre bras gauche (+) et bras droit (-)
- $DI = L - R$
- DII : entre jambe gauche (+) et bras droit (-)
- $DII = F - R$
- DIII : entre jambe gauche (+) et bras gauche (-)
- $DIII = F - L$
- Loi d'Einthoven : $DI + DIII = L - R + F - L = F - R = DII$

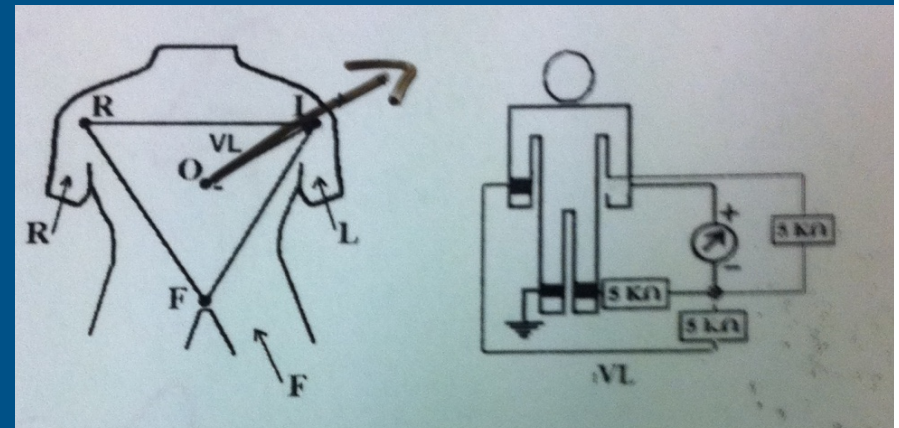
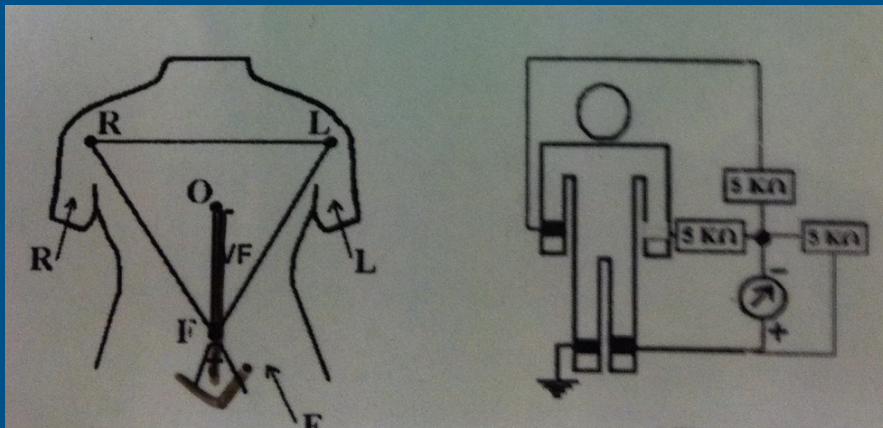
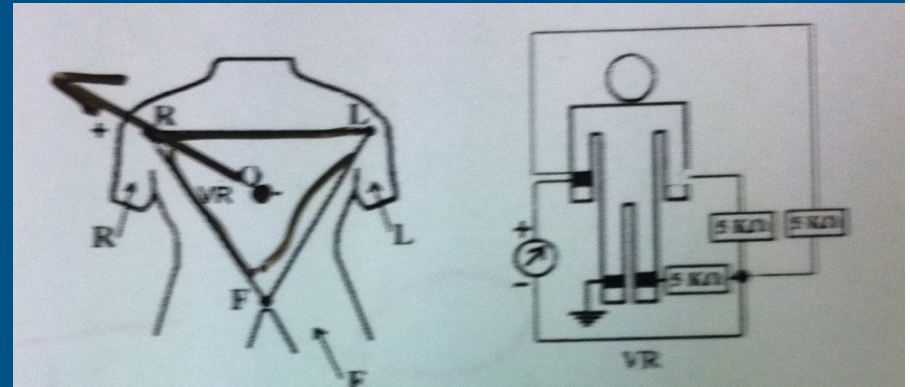


Triangle d'Einthoven

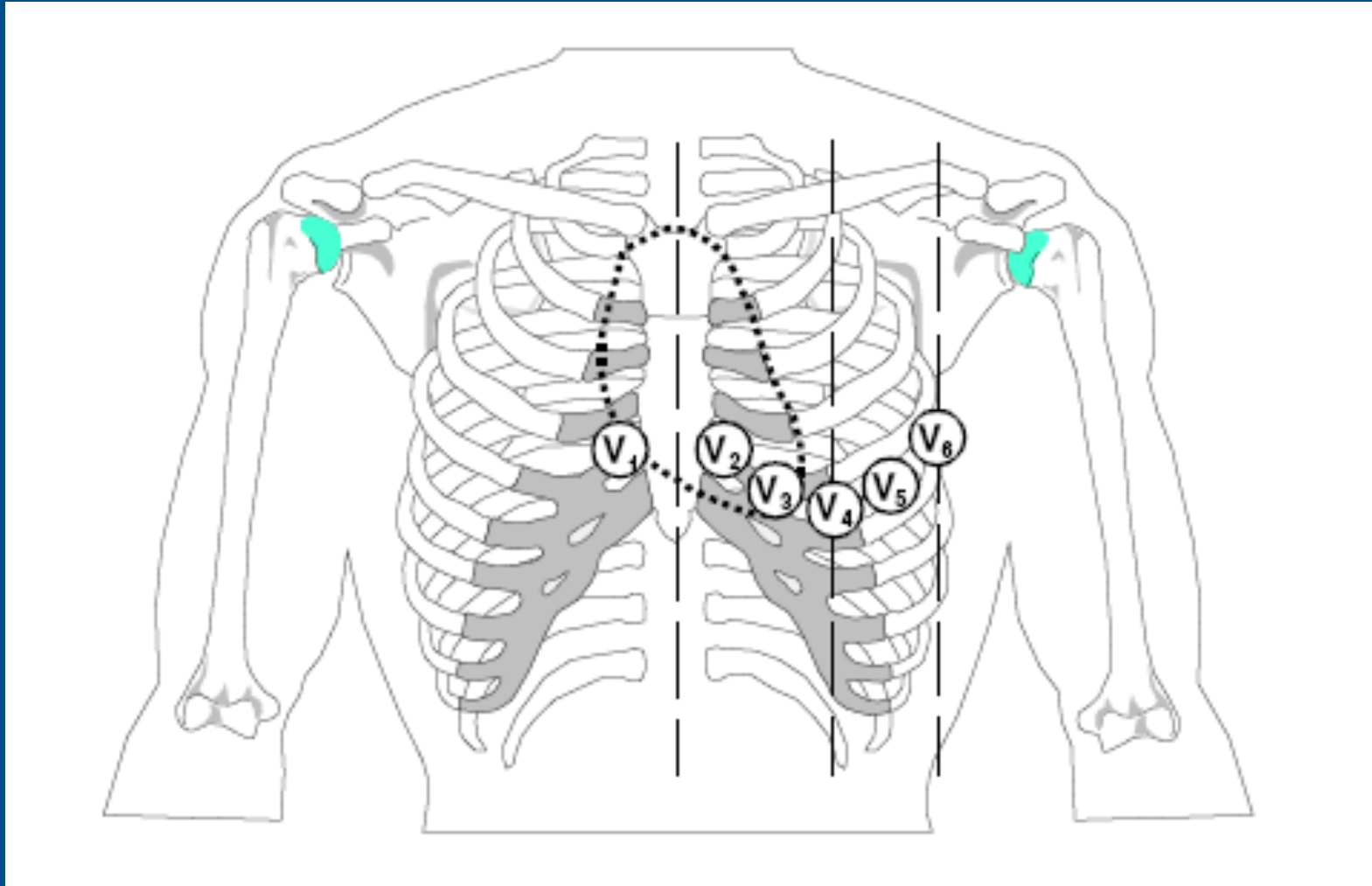
Dérivations périphériques dans le plan frontal

2) Dérivation périphériques unipolaires de Wilson: VR, VL, VF

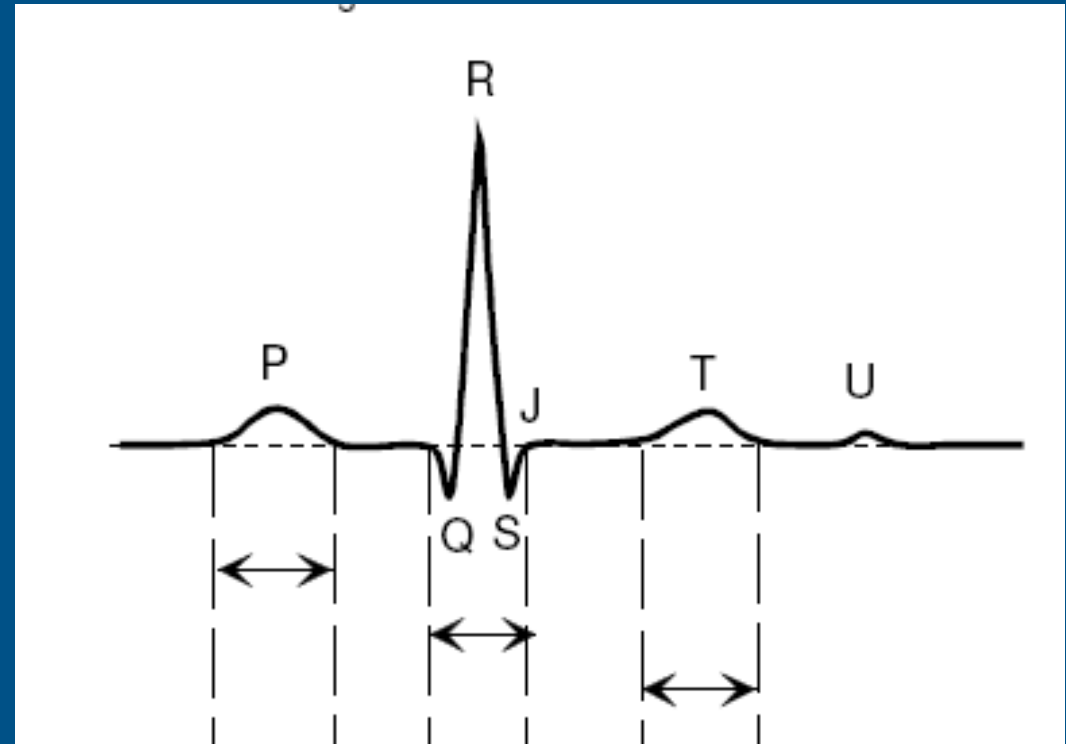
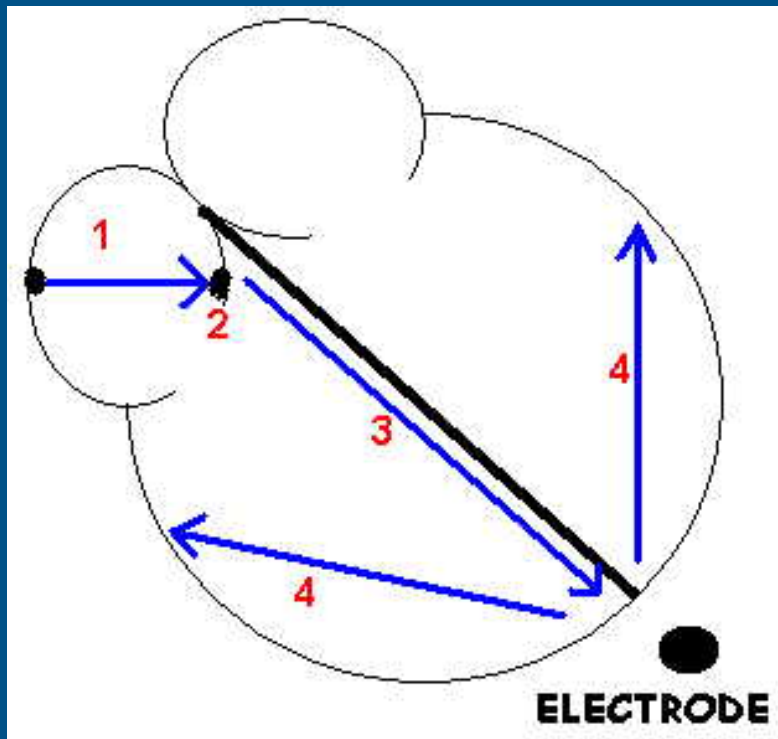
- VR : entre bras droit (+) et borne de Wilson(-)
- $VR = R - BW = R - (R+L+F)/3 = R$
- VL : entre bras gauche (+) et borne de Wilson(-)
- $VL = L - BW = L - (R+L+F)/3 = L$
- VF : entre bras gauche (+) et borne de Wilson(-)
- $VF = F - BW = F - (R+L+F)/3 = F$
- Loi d'Einthoven : $DI + DIII = L-R+F-L = F-R = DII$



Dérivations périphériques précordiales unipolaires dans le plan axial



Description et interprétation de l'ECG



ECG normal: Etalonnage

- Enregistrement de 12 dérivations
- Papier millimétré
- 10 mm pour 1 mV
- Vitesse de défilement du papier = 25 mm/s
- 1 mm vertical = 0,1 mV
- 1 mm horizontal à = 0,04 s, soit 40 ms

- Principaux éléments:
 - Ligne isoléctrique
 - 5 ondes: P,Q,R,S,T (Q, R et S = complexe QRS)
 - 2 segments isoéctriques: PR et ST
 - 2 intervalles: PR et QT

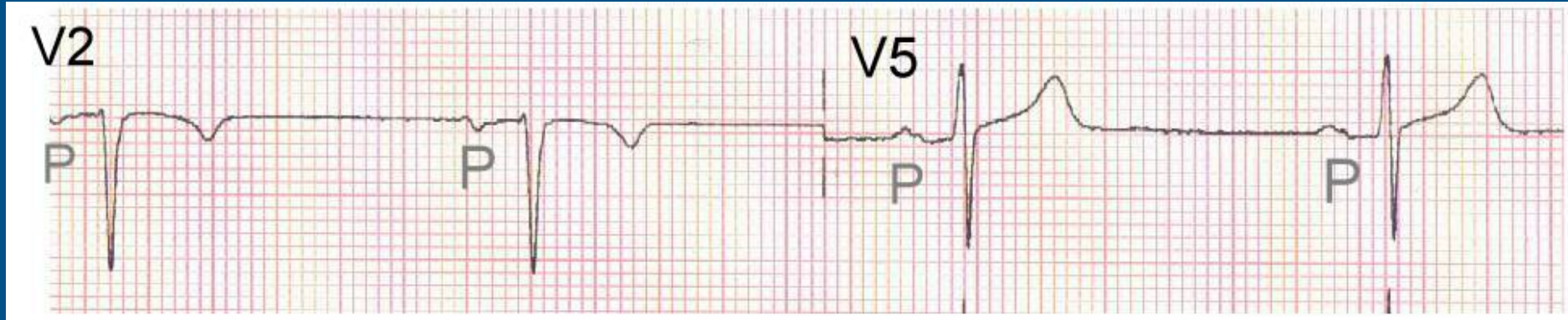


Conduite pratique de l'analyse d'un tracé électrocardiographique

- 1) Identification du patient
- 2) Rythme
- 3) Fréquence cardiaque
- 4) Onde P : durée, amplitude, forme
- 5) Axe de QRS
- 6) Durée de PR
- 7) Absence d'onde Q pathologique
- 8) Segment ST, onde T
- 9) Conclusion générale.

Rythme régulier

- Espace R-R entre 2 complexes QRS consécutifs reste le même sur tout le tracé ECG



Rythme sinusal

- Le rythme est qualifié de *sinusal* lorsque l'ensemble de l'activité cardiaque est sous la dépendance du nœud sinusal.
- Le rythme est dit sinusal en ECG lorsque le tracé est constitué, dans l'ordre, d'une seule onde P, suivi d'un seul complexe QRST, l'espace PR étant supérieur à 0,12 seconde

Rythme Jonctionnel

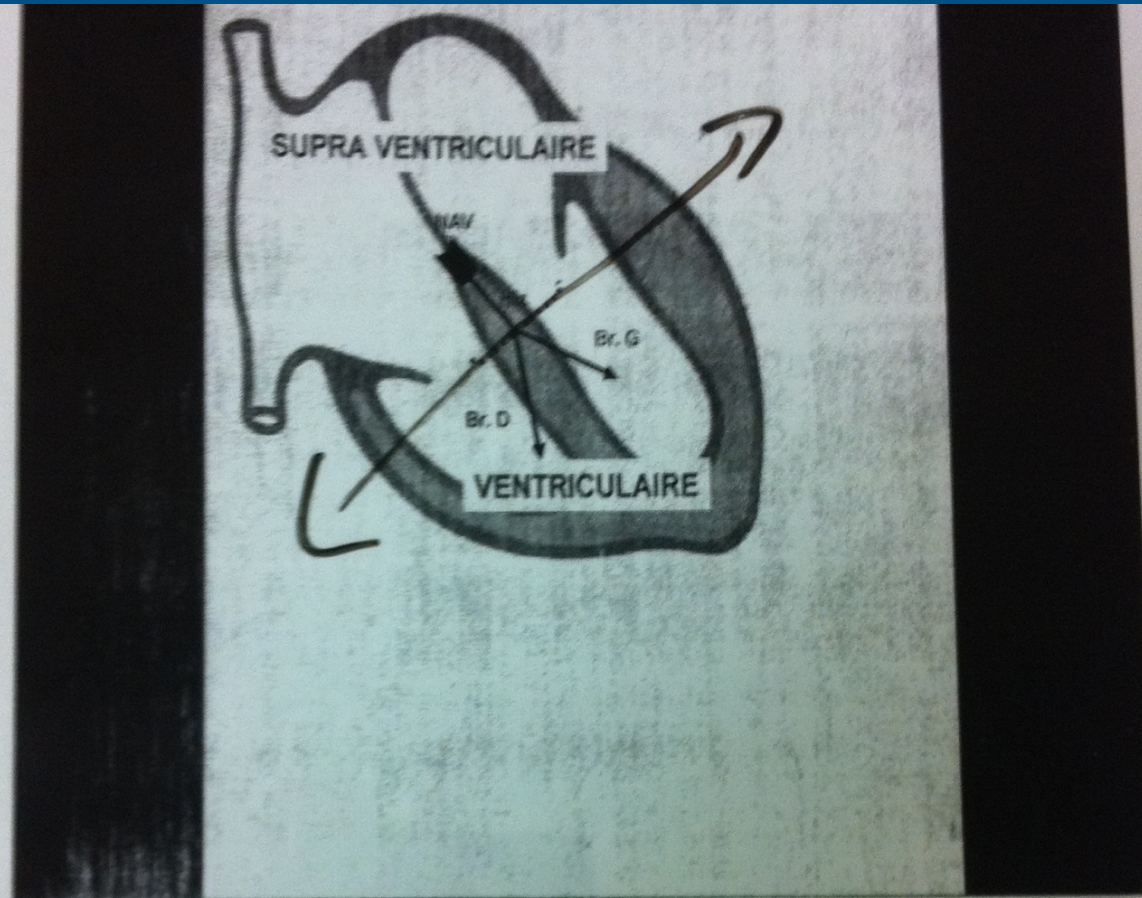


Rythme Ventriculaire



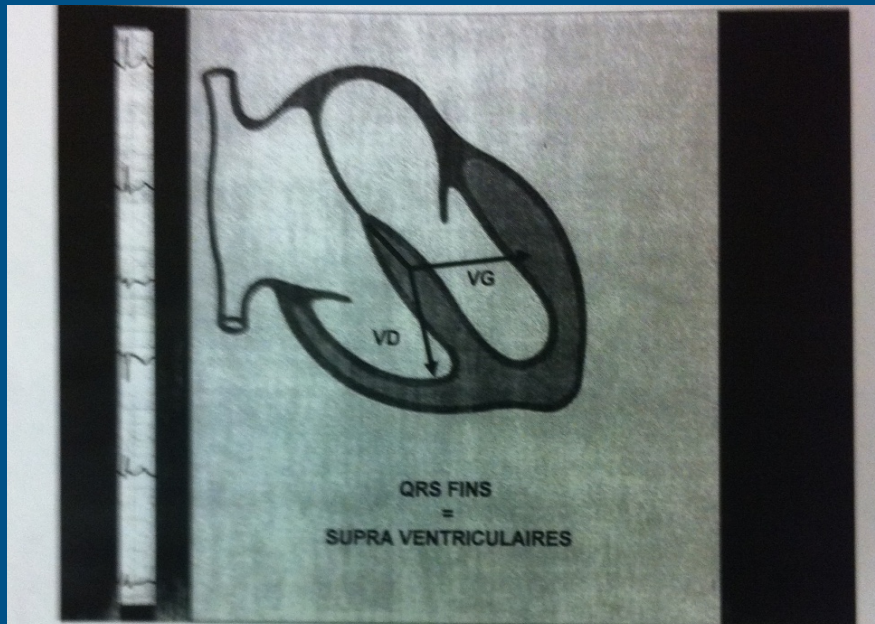
Trouble du rythme

Origine ventriculaire ou supraventriculaire ?

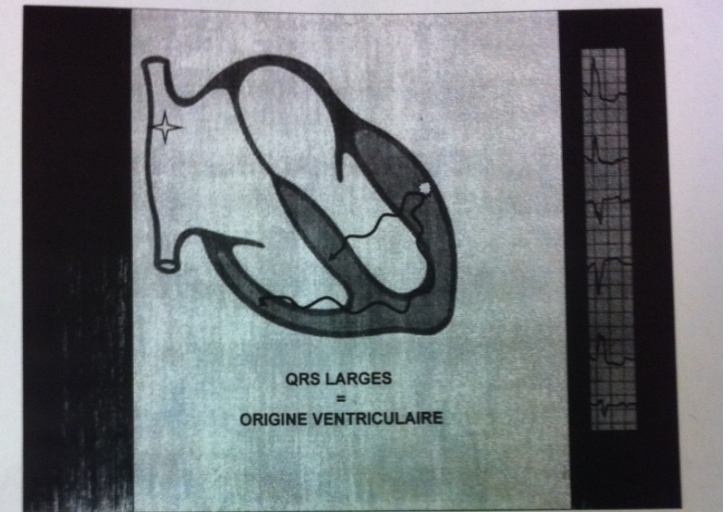


Lorsque l'on évoque la dépolarisation cardiaque ou des troubles du rythme et/ou de la conduction, un phénomène est considéré comme se déroulant dans « l'étage supraventriculaire » lorsqu'il est au-dessus de la bifurcation du faisceau de His. Au-dessous de cette bifurcation, on se trouve à « l'étage ventriculaire ».

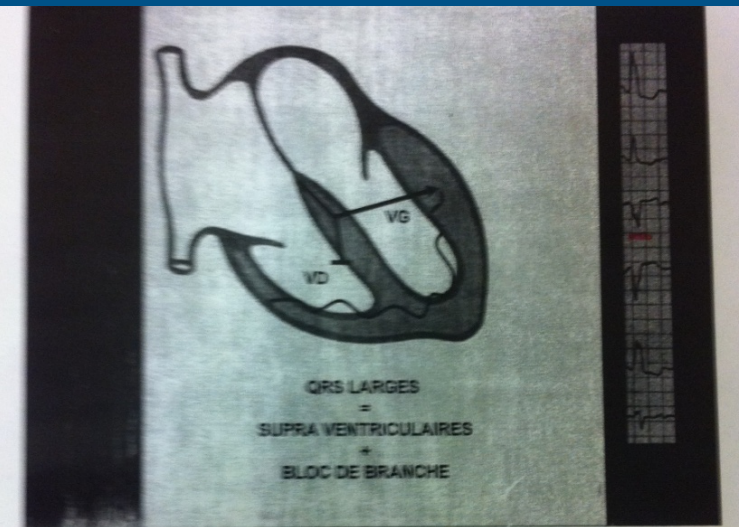
Trouble du rythme ventriculaire ou supraventriculaire ?



On se souviendra qu'une extra systole qui inscrit un QRS fin est obligatoirement d'origine supra ventriculaire puisque pour obtenir des QRS fins il faut être passé par le faisceau de His.



... ou au fait que la dépoléarisation trouve son origine dans les ventricules. Dans le premier cas, l'extra systole est d'origine supra ventriculaire mais avec un bloc de branche: comme l'extra systole prend naissance dans les oreillettes, une onde P précède le QRS élargi. Dans le second cas, il s'agit d'une extra systole ventriculaire et donc n'est pas précédée d'une onde P.



Pour contre, une extra systole qui inscrit un QRS large signifie que la dépoléarisation des ventricules est allongée du fait d'une désynchronisation de dépoléarisation de ceux-ci. Cette perte de la synchronisation peut être due à un bloc de branche ...

Petite digression !!

Bloc de branches

Complexe QRS large > 0,12 sec (3 petits carreaux)

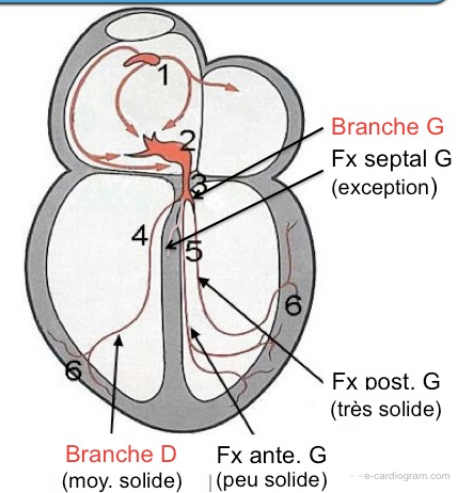
Branches du faisceau de His

1. Bloc gauche

- Incomplet (BIG)
- Complet (BBG)
- Fasciculaire
 - BFAG
 - BFPG
 - BFSG

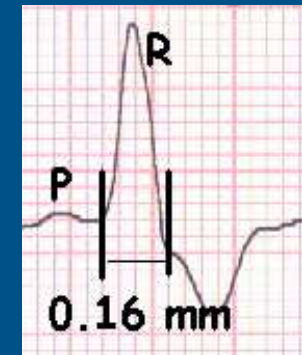
2. Bloc droit

- Incomplet (BID)
- Complet (BBD)

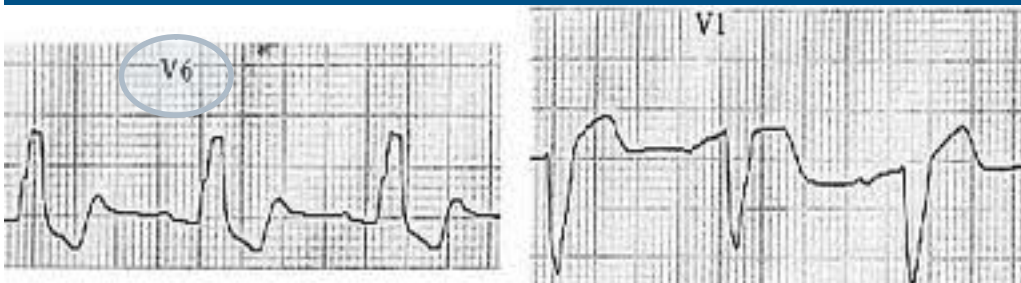


SchemaConductionintracardiaque.jpg

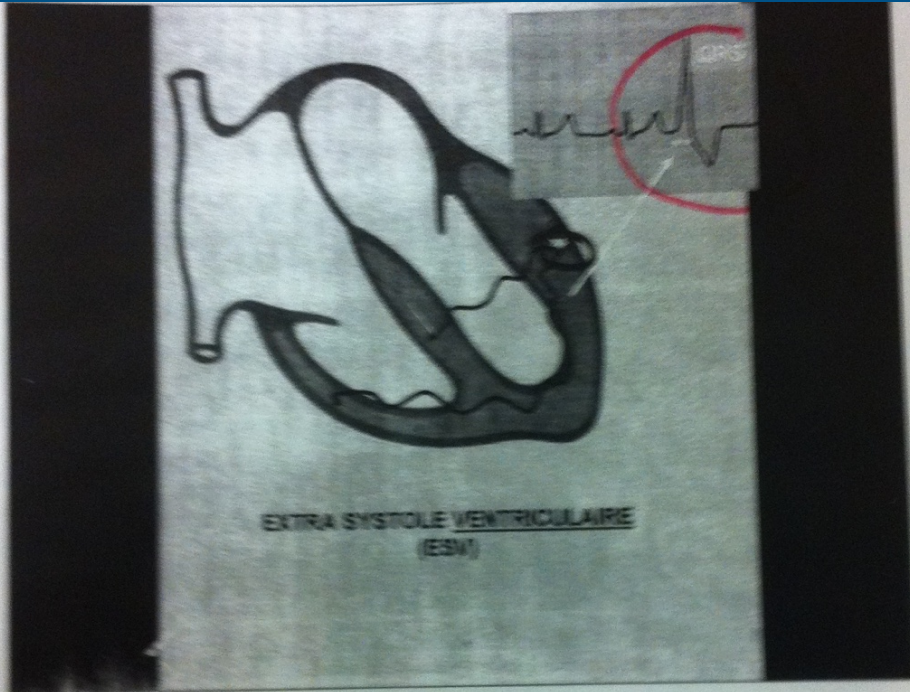
Bloc de branche droit



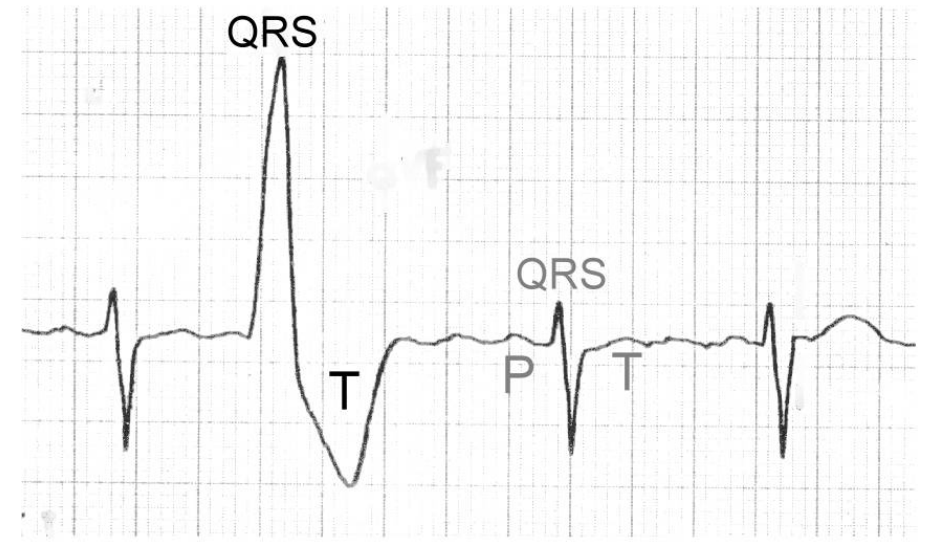
Bloc de branche gauche



Rythme irrégulier Extrasystoles Ventriculaire

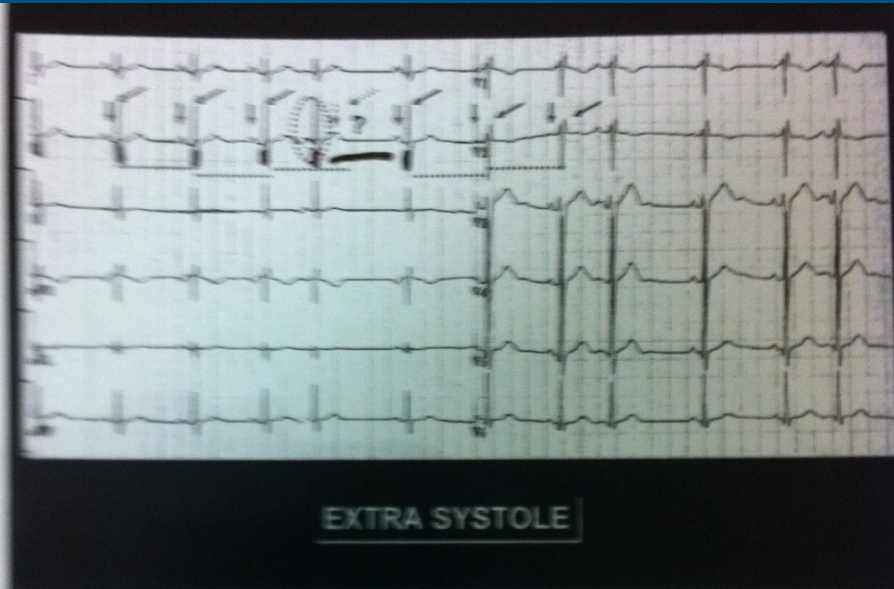


Une extra systole ventriculaire prend naissance dans l'un ou l'autre des deux ventricules (dans l'exemple, il s'agit d'une extra systole ventriculaire gauche). De ce fait, la dépolarisation prématurée (une extra systole) des ventricules ne sera pas précédée de la dépolarisation des oreillettes : on ne trouve pas d'onde P ou P devant le QRS. D'autre part, la dépolarisation des ventricules ne se fera pas en passant comme normalement d'abord par le faisceau de His puis ses branches de division mais en commençant par un ventricule (ici le gauche) pour se poursuivre dans l'autre. La conséquence est la perte de la synchronisation de dépolarisation des deux ventricules. Le temps de dépolarisation totale des ventricules est donc allongé et le QRS sera large.



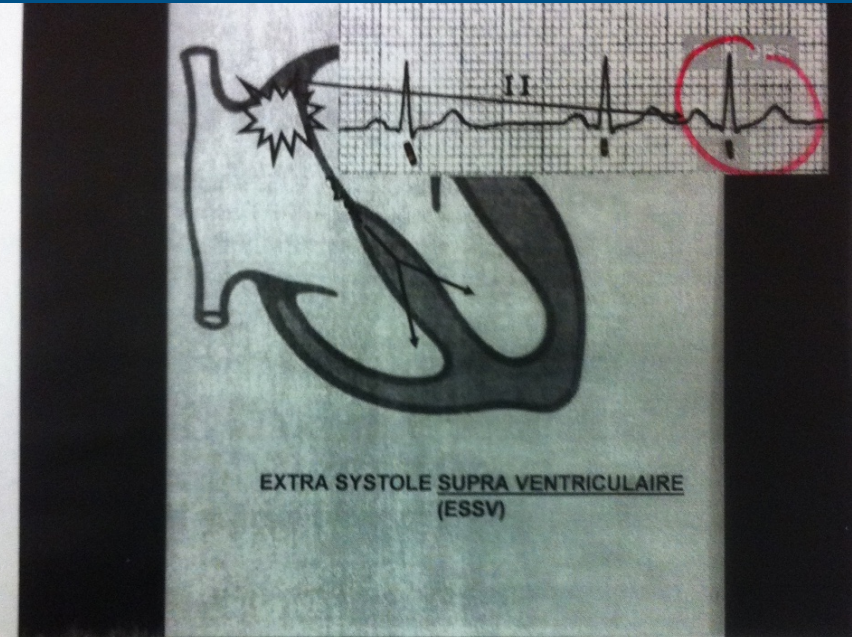
Rythme irrégulier

Extrasystoles Supraventriculaire



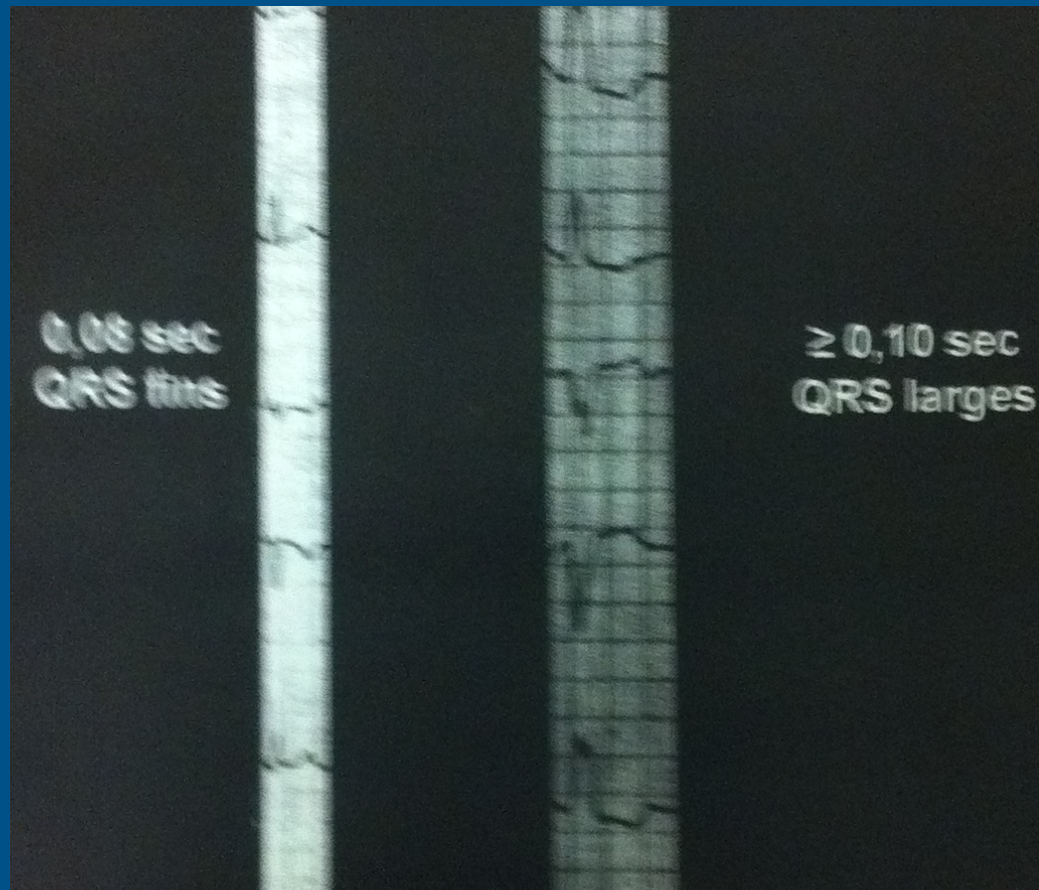
Sur cet ECG, les trois premières séquences marquées par des flèches apparaissent régulièrement, selon un rythme stable. La quatrième séquence que l'on s'attend à voir à l'emplacement du point d'interrogation survient en fait plus tôt que prévue (ovale pointillé): il s'agit d'une extra systole.

Par définition, une extra systole est contraction prématurée des oreillettes ou des ventricules à partir d'un foyer ectopique.

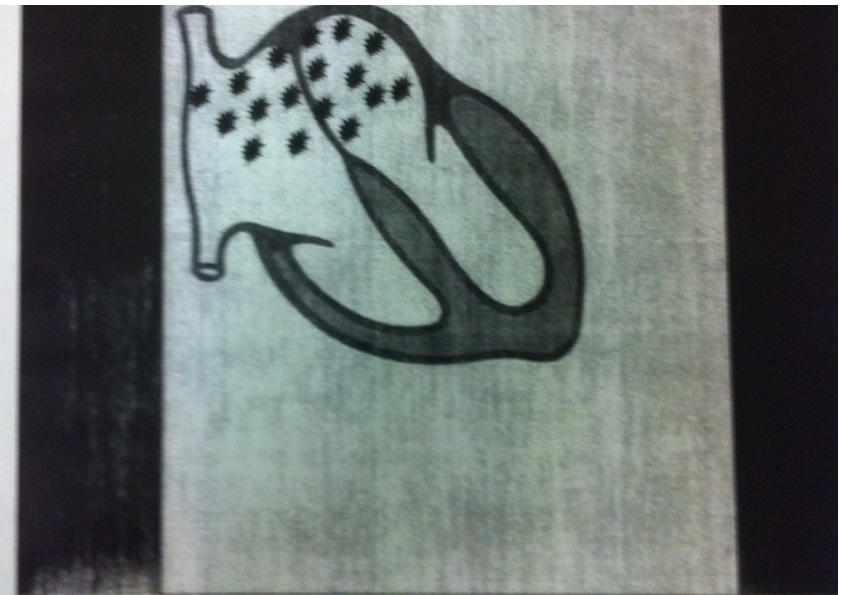


Une extra systole supra ventriculaire, naissant dans les oreillettes, va d'abord dépolariser les oreillettes avant d'atteindre les ventricules. La dépolarisation extra systolique des oreillettes que l'on appelle P' précèdera donc la dépolarisation des ventricules. Une extra systole atriale ou auriculaire, c'est donc d'abord une onde P' (donc prématurée) suivie de la dépolarisation habituelle des ventricules.

A RETENIR ...

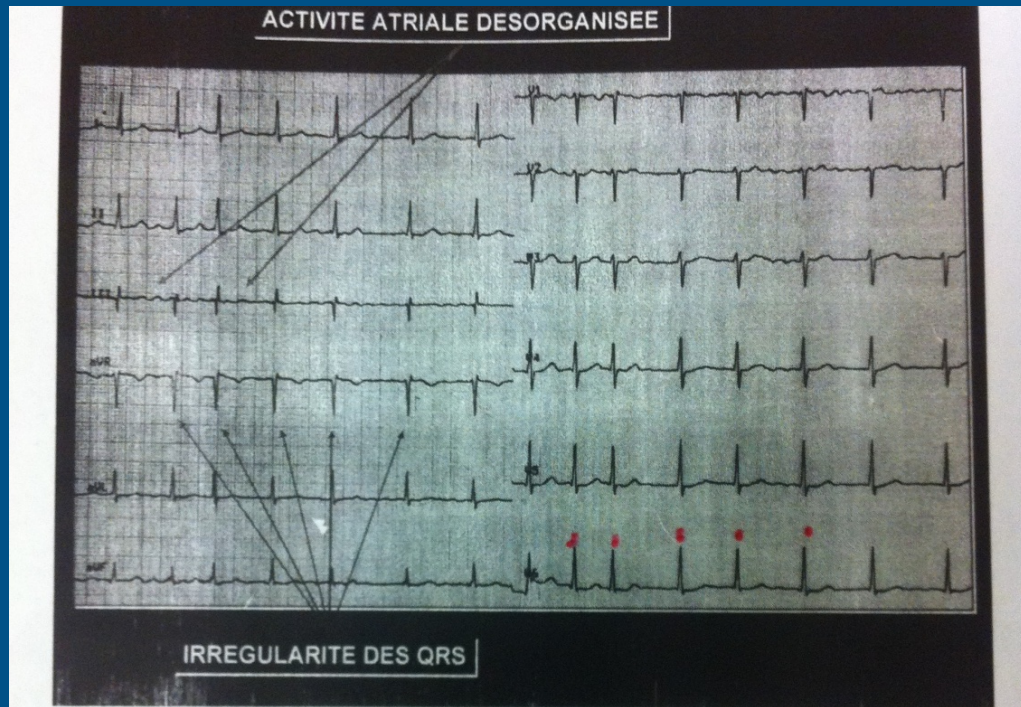


Rythme irrégulier ACFA

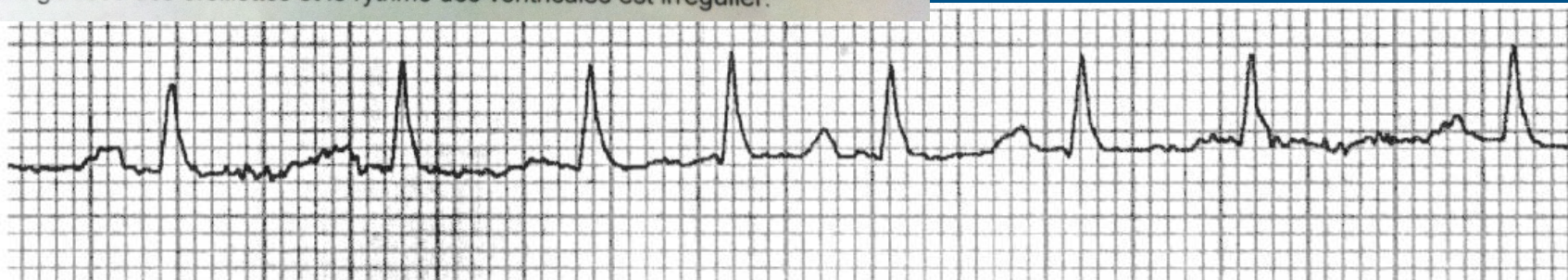


Pour simplifier, il faut considérer que la fibrillation auriculaire (FA) est due à multiples dépolarisations anarchiques au sein des deux oreillettes, aboutissant des fréquences très rapides dans certaines régions des oreillettes (plus de 400/mn) et des différentes d'un endroit à un autre.

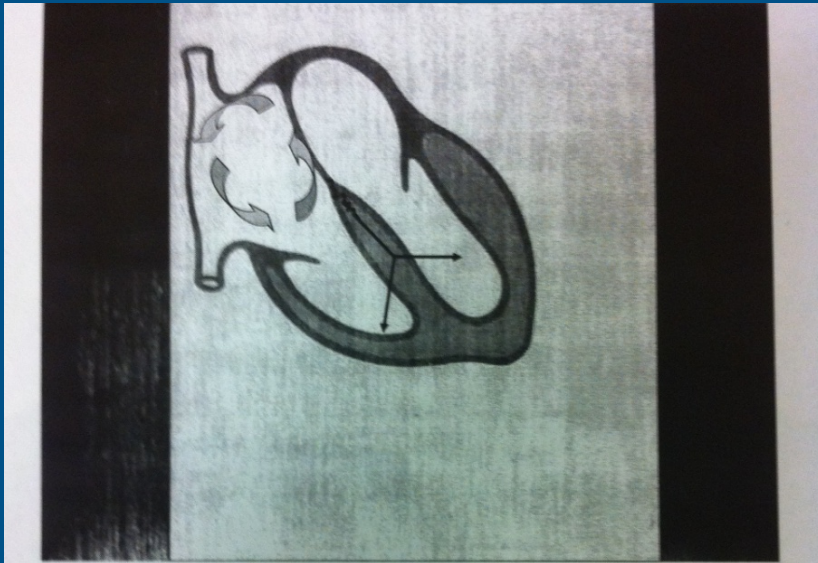
Au plan ECG, nous verrons qu'il n'est plus alors possible de discerner une activité atriale organisée: on parle de fibrillation des oreillettes.



Voici un exemple typique de FA : on ne reconnaît aucune dépolarisation régulière et organisée des oreillettes et le rythme des ventricules est irrégulier.

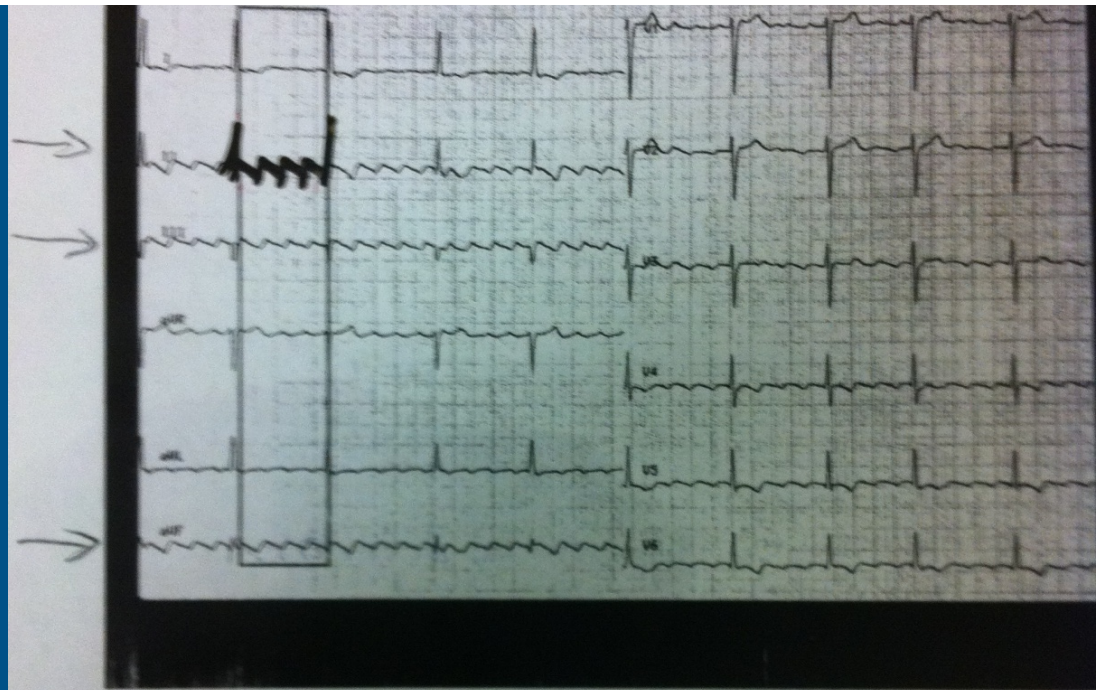


Rythme irrégulier Flutter



Le flutter atrial est une tachycardie supra ventriculaire fréquente.

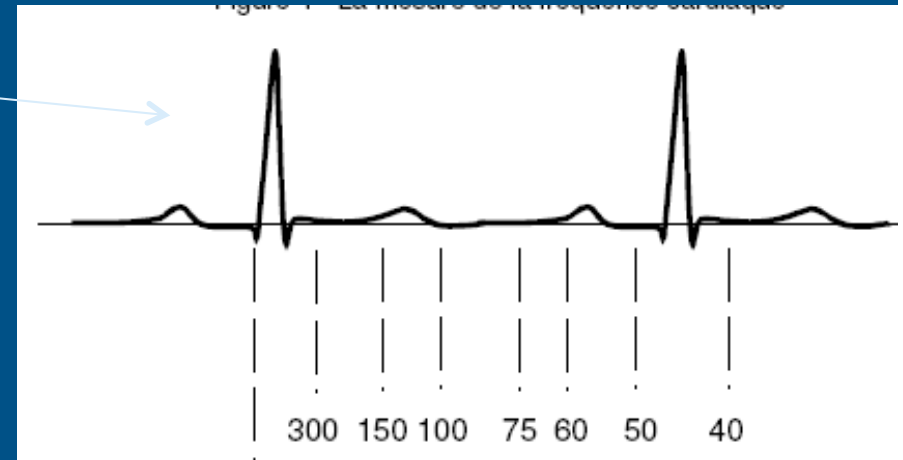
Le mécanisme consiste en une dépolarisation continue et tournant dans l'oreillette droite à raison de 300/mn. La dépolarisation descend le long de la paroi externe de l'oreillette droite et remonte le long du septum inter atrial pour redescendre à nouveau sur la paroi externe et ainsi de suite. Le mouvement est continu, les oreillettes (surtout la droite) étant en permanence en dépolarisation sur un de leur segment.



Voici un exemple tout à fait typique d'un flutter atrial, particulièrement visible les dérivations DII, DIII et VF. On observe une activité atriale continue faite d'onde dites f dont l'aspect « en dents de scie » est quasi pathognomonique flutter. Dans cet exemple, les ondes f sont transmises aux ventricules une fois sur 3 ou 4.

Calcul de la fréquence

- 1) Réglette ou échelle destinée à cet effet
- 2) Méthode des 6s: $F_c = 10 \times N6$
- 3) méthode mathématique: $300/N$
- 4) Formule suivante :

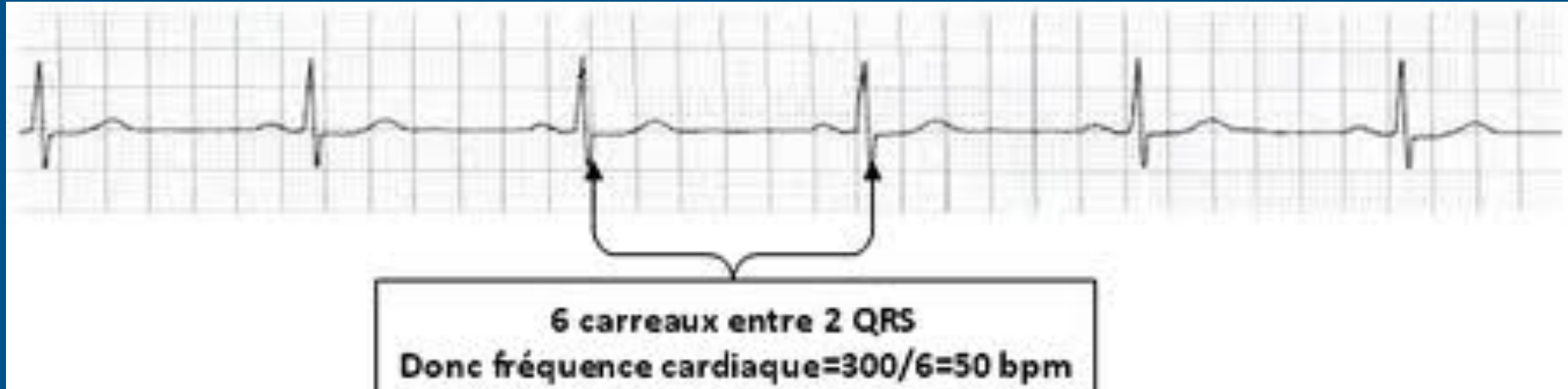


Noeud sinusal : 70 à 80 impulsions par minute

Noeud atrio-ventriculaire : 40 à 60 impulsions par minute

Myocytes ventriculaires : 30 à 40 impulsions par minute

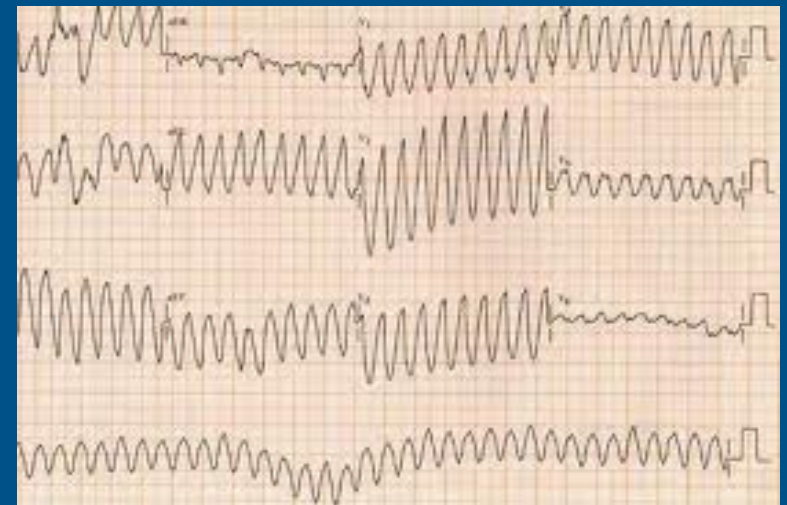
Bradycardie



Tachycardie

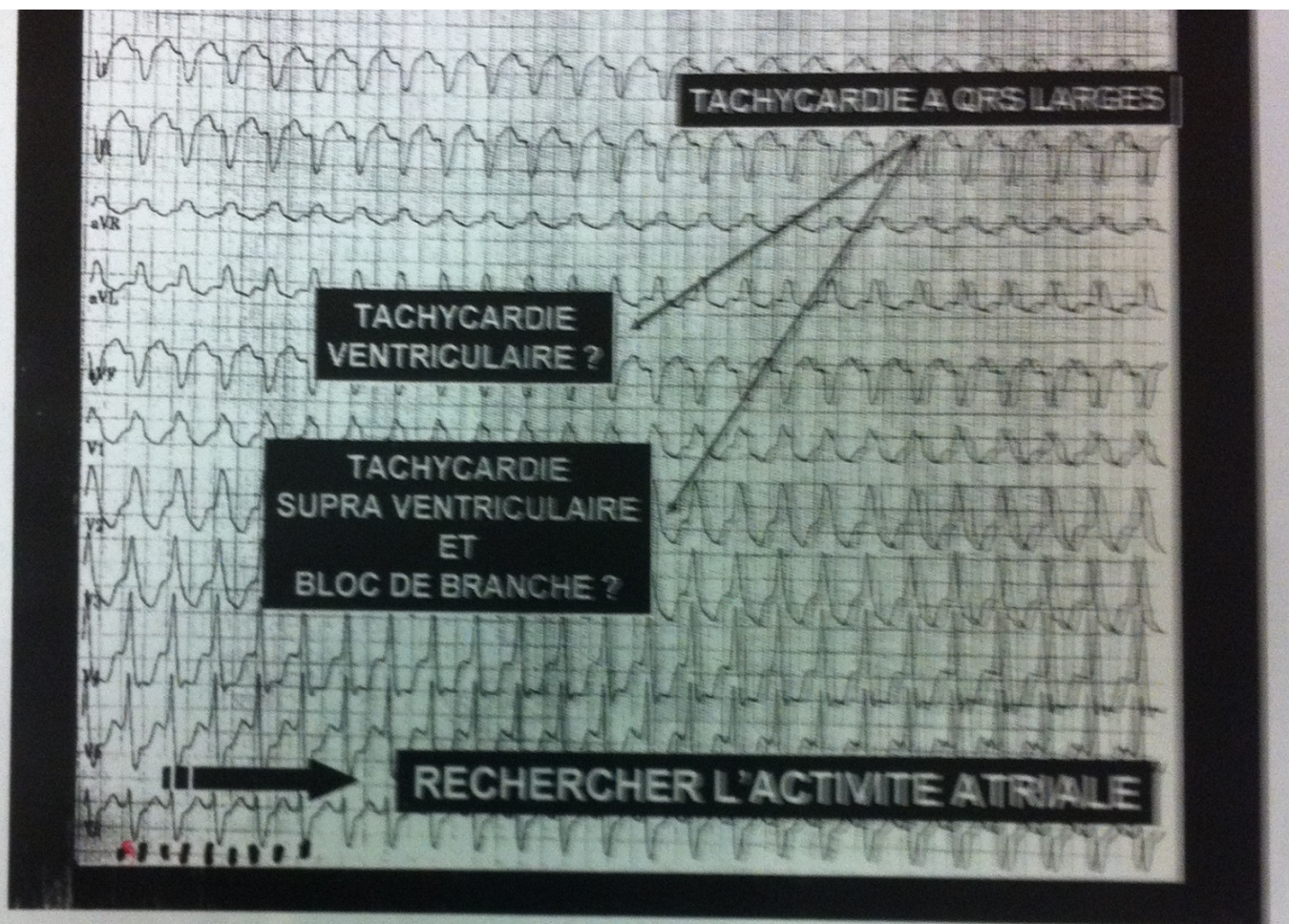


Sinusal



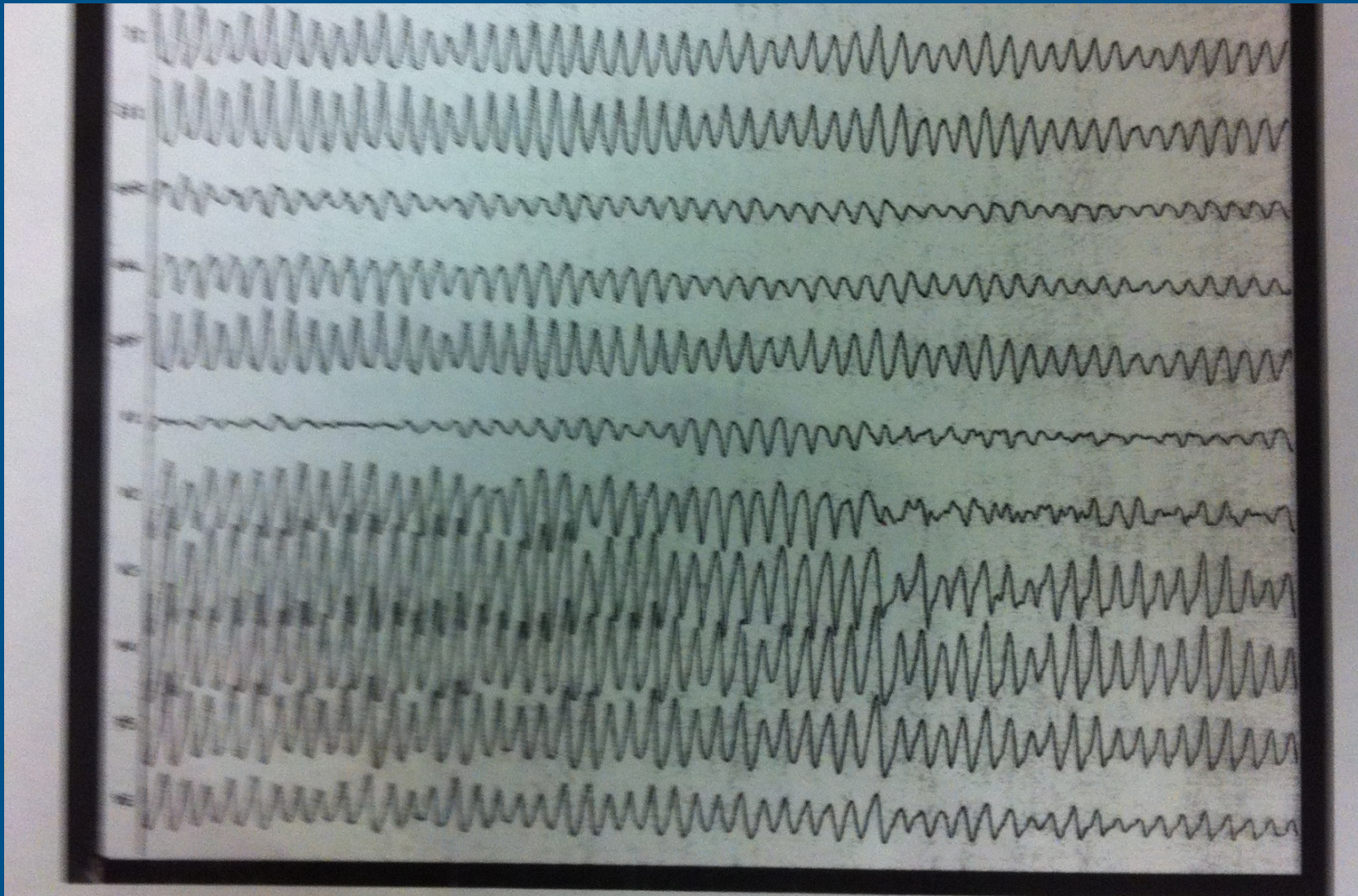
Ventriculaire

Piège !!!!



A retenir : si une tachycardie à complexes fins n'est jamais d'origine ventriculaire mais toujours supra ventriculaire, une tachycardie à complexes larges n'est pas toujours une tachycardie ventriculaire (TV) : une tachycardie supra ventriculaire (TSV) avec bloc de branche peut présenter le même aspect. Ce qui différencie les TV des TSV avec bloc de branche c'est, pour les TV, une dissociation complète des ondes P et , dans le second cas, une association ondes P – QRS. Dans tous les cas, le diagnostic exact des tachycardies à complexes larges repose donc sur la recherche de l'activité auriculaire (+++++).

Fibrillation ventriculaire



Voici un exemple typique d'une fibrillation ventriculaire: aspect très rapide et très irrégulier des complexes ventriculaires, dessinant des sortes de « fuseaux ».

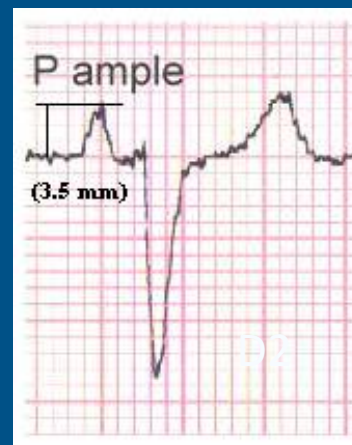
Onde P

- Dépolarisation atriale partant du noeud sino-atrial,
- Durée inférieure à 100 millisecondes.
- Amplitude inférieure à 2,5 mm en D2 (**D2 >D1>D3**)
- Positive en **D1 - D2 - aVF - V3 - V4 - V5 - V6**
- **Négative (en VR)**
- **Variable** ou diphasique en **D3 - VL - V1 - V2**).

Anomalie onde P

Hypertrophie auriculaire droite

- onde P ample ($> 2,5$ mm) positive en **DII** et **DIII**
- onde P bifide avec en **V1** la déflexion positive supérieure à la déflexion négative
- largeur normale
- déviation axiale droite de l'onde P (axe P $> + 75^\circ$)

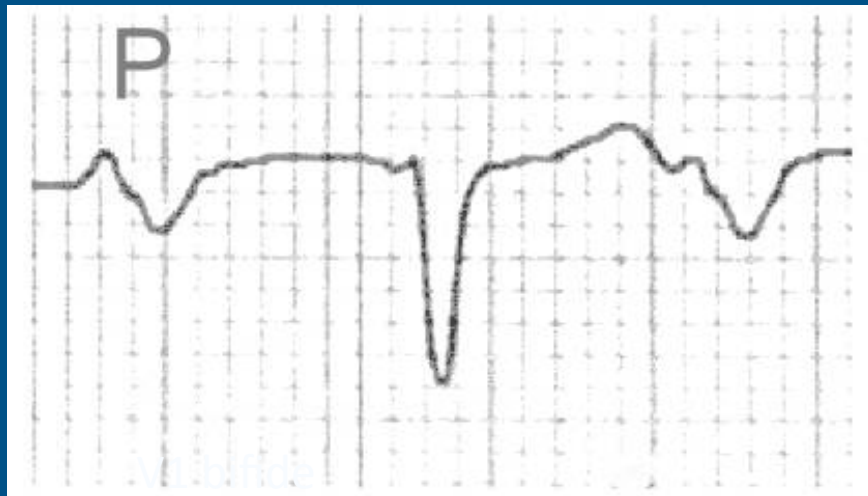


Ex: Insuffisance cardiaque droite

Anomalie onde P

Hypertrophie auriculaire gauche

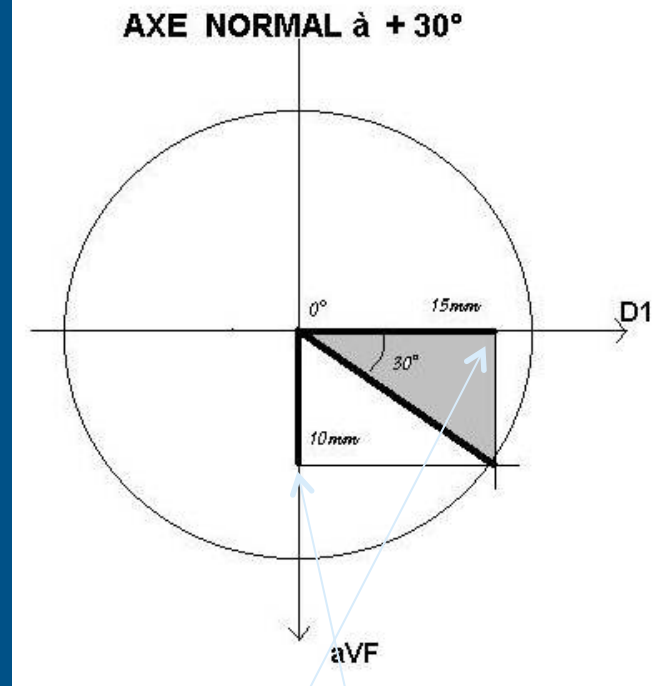
- Largeur de l'onde P en DII > 0,12 sec (3 petits carreaux)
- Amplitude normale (<2,5 mm)
- Axe P normal ou dévié à gauche (ÂP entre - 90° et + 15°)
- Aspect bifide en V1 avec **Index de Morris** positif (le plus sensible, le plus spécifique): Profondeur et durée accrue de la partie négative, d'où une surface > 1 petit carreau (- 0.04 mm x sec)
- Aspect en M en DI, DII



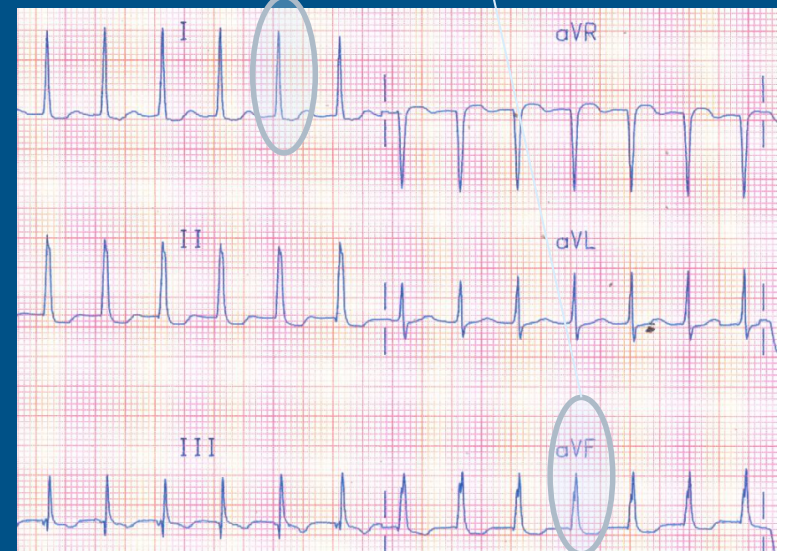
D2: P large

Axe cardiaque

- Règle du triangle d'Einthoven :
 - Triangle équilatéral RLF
 - Tracez les médianes qui concourent au point O
 - Mesurez en D1, D2, puis D3 la somme de l'amplitude positive de R et de (Q+S) négatives
 - La valeur en mm calculée sur D1 est reportée sur le côté horizontal RL à partir du pied de la médiane
 - Le sens positif est O1L. Les valeurs QRS de D2 et QRS de D3 sont également portées sur RF et LF en prenant soin de respecter les sens indiqués.

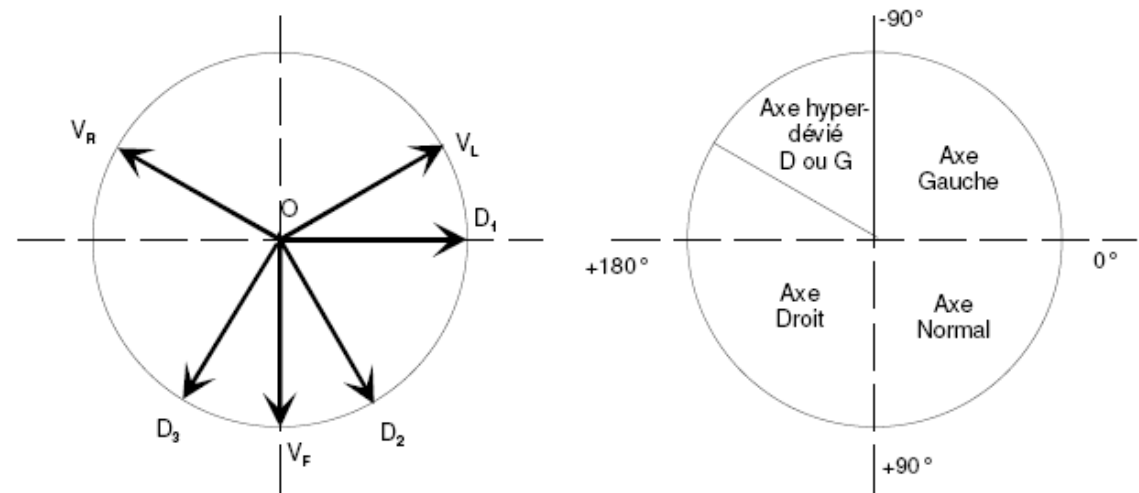


Exemple



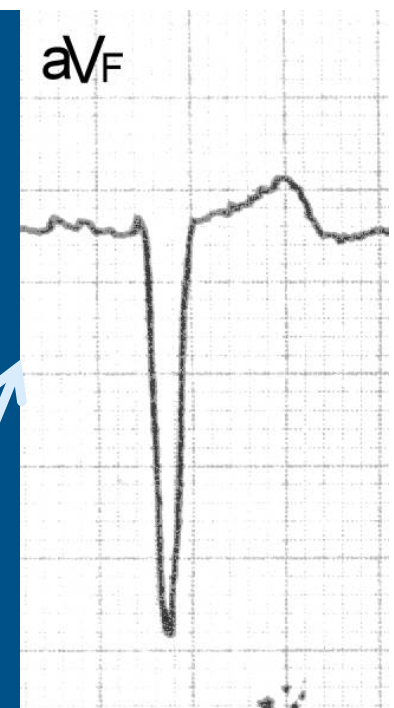
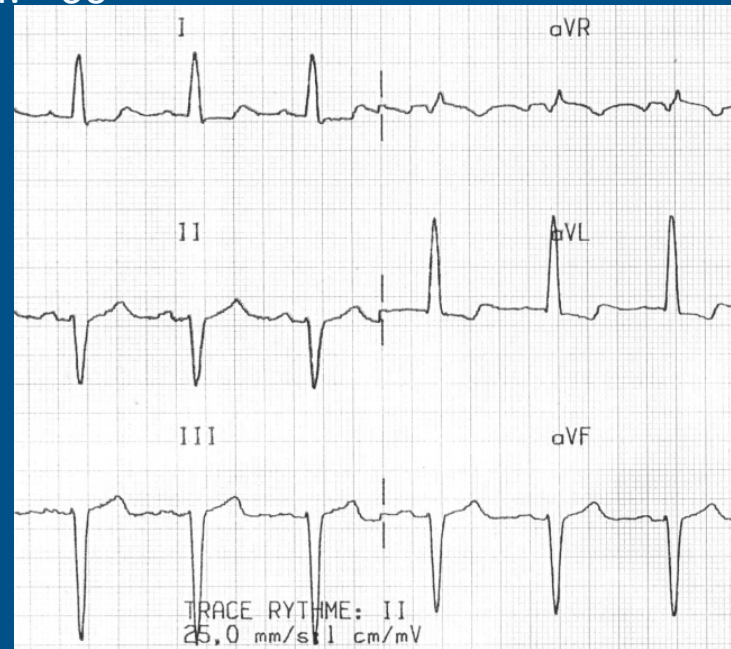
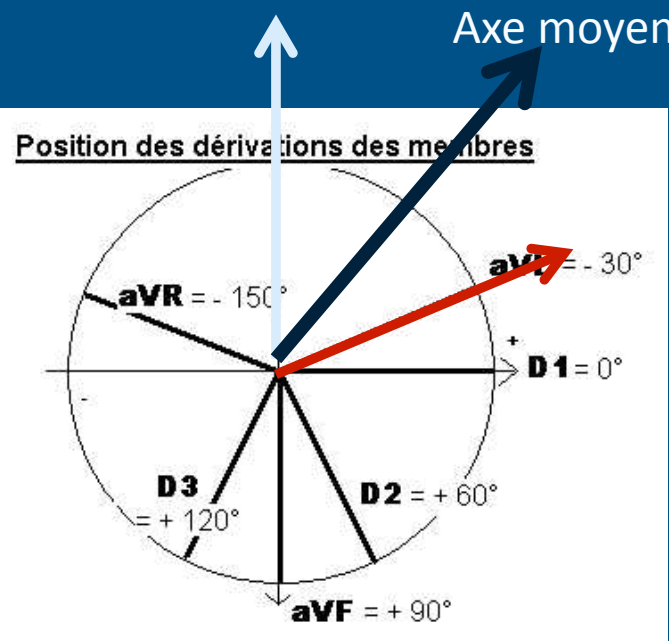
Axe cardiaque

Figure 6 - Le triaxe de Bayley et l'axe cardiaque



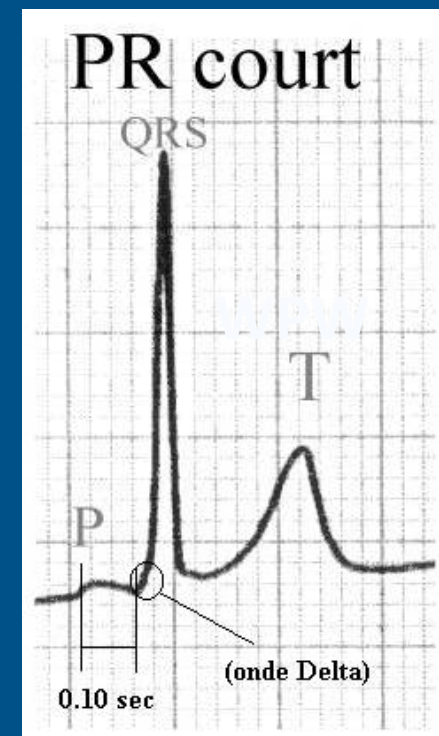
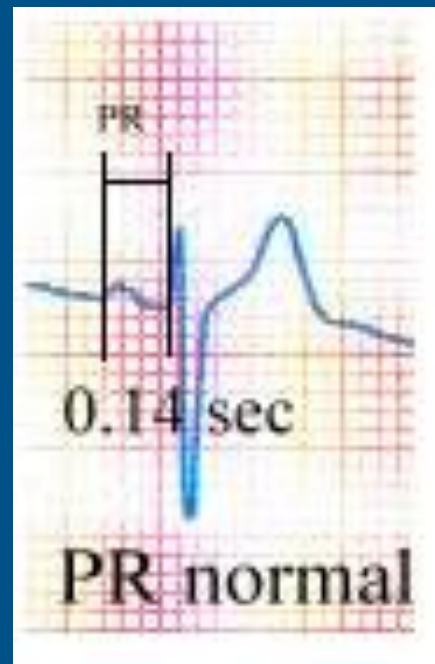
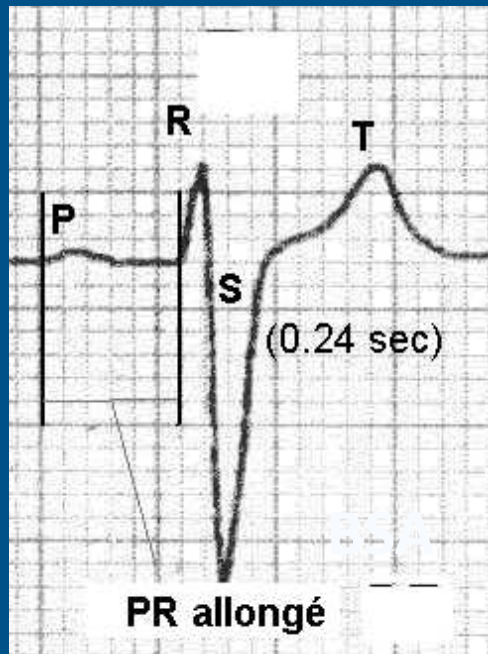
- En pratique courante, détermination simple et rapide
 - Recherche de la dérivation sur laquelle QRS est le plus ample
 - Recherche de la dérivation sur laquelle QRS est le plus proche d'une amplitude nulle
 - L'axe du cœur est proche de la dérivation sur laquelle le QRS est le plus ample (ou entre les deux dérivations les plus amples), et perpendiculaire à la dérivation nulle ou iso-diphasique

Axe cardiaque

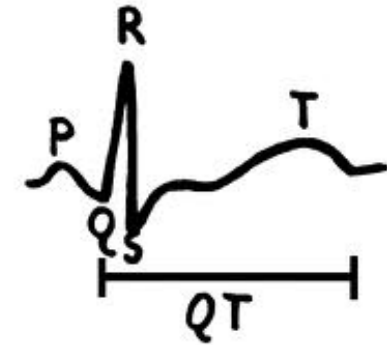


Espace PR

- Segment isoélectrique
- Propagation de la dépolarisation du nœud sino-atrial jusqu'aux ventricules
- Durée de 120 à 200 millisecondes
- > 200 ms = trouble de la conduction entre l'atrium et le nœud auriculo-ventriculaire = **bloc sino-auriculaire (BSA)**
- Durée < 120 ms = ventricule se contracte avant d'en avoir reçu l'ordre à partir du nœud sino-atrial
 - ce n'est plus un rythme sinusal = **Wolf-Parkinson-White (WPW)**

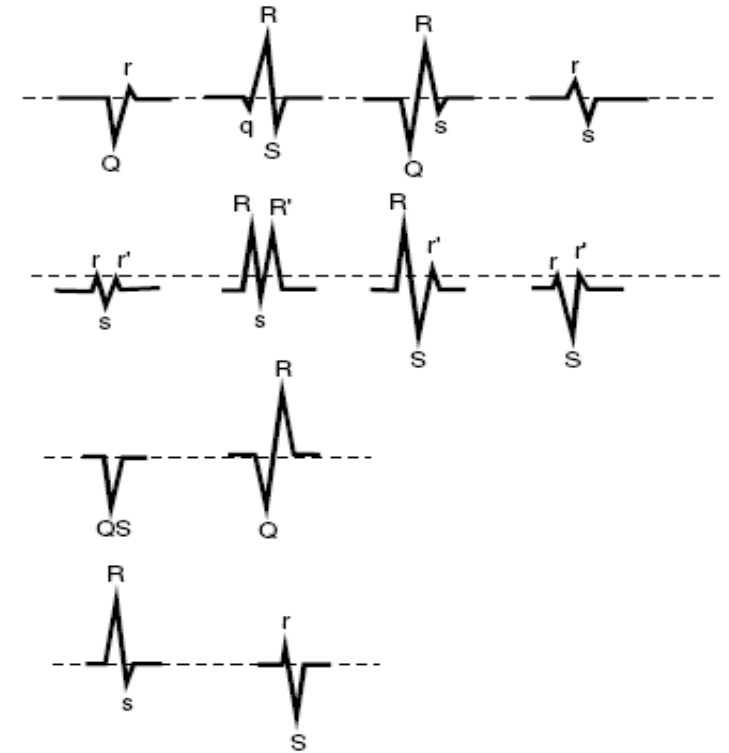


INTERVALLE QT



- **Temps de systole ventriculaire**
 - Du début de l'excitation des ventricules jusqu'à la fin de leur relaxation.
 - Se mesure du **début** du complexe QRS à la **fin** de l'onde T
 - QT corrigé (QTc) avec règlette
 - QT court: hypercalcémie, digitaliques, maladies congénitales ...
 - QT long: médicaments (quinine...), hypocalcémie, maladies congénitales
→ risque = torsade de pointe

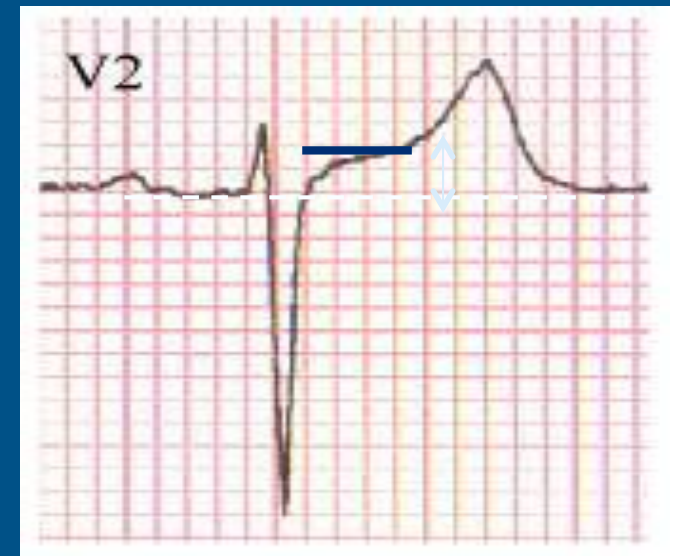
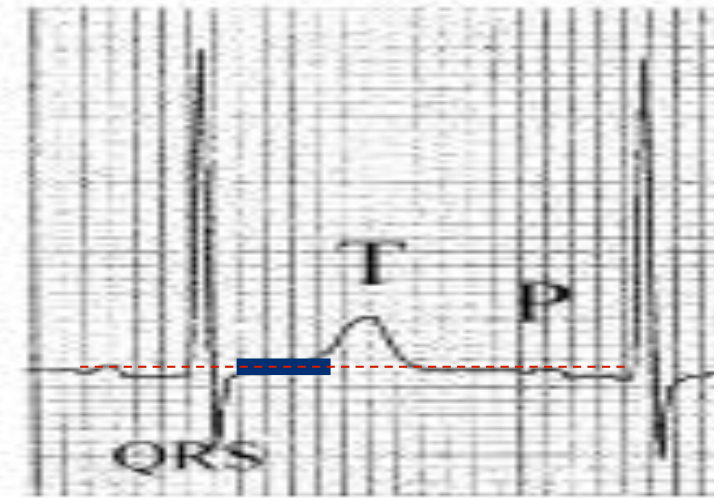
Complexe QRS



- Propagation de la dépolarisation dans les ventricules.
- Durée est inférieure à 100 millisecondes.
- **Onde Q** : Première onde *négative*.
 - *Durée* < à 0,04 secondes et amplitude < à 25% de l'amplitude de R
 - Dérivations qui font face à l'activité septale
 - Un aspect QS peut être normal en VR, VL et V1
- **Onde R** : Première onde *positive*.
- **Onde S** : Première onde *négative* après R
 - *Durée* inférieure à 0,04 secondes

ST, J, T, U

- *Espace ST*
 - Totalité de dépolarisation ventriculaire.
 - Normalement iso-électrique
 - En **V1, V2, V3**, une surélévation normale peut atteindre 3 mm
 - Au-delà, la surélévation de ST peut témoigner d'une souffrance ischémique du myocarde.
- *Onde T*
 - Repolarisation rapide des ventricules.
 - Positive en **D1, D2, V3, V4, V5, V6**
 - **Toujours négative en VR**
 - Variable en **D3, VL, V1, V2**
- *Onde U*
 - Positive et suit l'onde T. Peu ample et mal discernable et parfois absente.

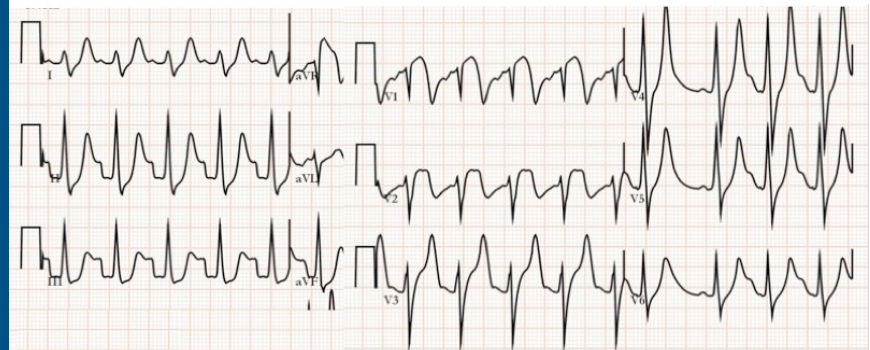


Troubles de la repolarisation

- **Onde T négative pathologique**
 - Infarctus du myocarde,
 - Bloc de branche,
 - hypertrophie ventriculaire,
 - Péricardite,
 - embolie pulmonaire,
 - imprégnation digitalique,
- **Onde T plate**
 - hypokaliémie
- **Onde T ample, pointue**
 - hyperkaliémie,
 - ischémie myocardique,
 - bloc de branche gauche,
 - AVC ...

Hyperkaliémie

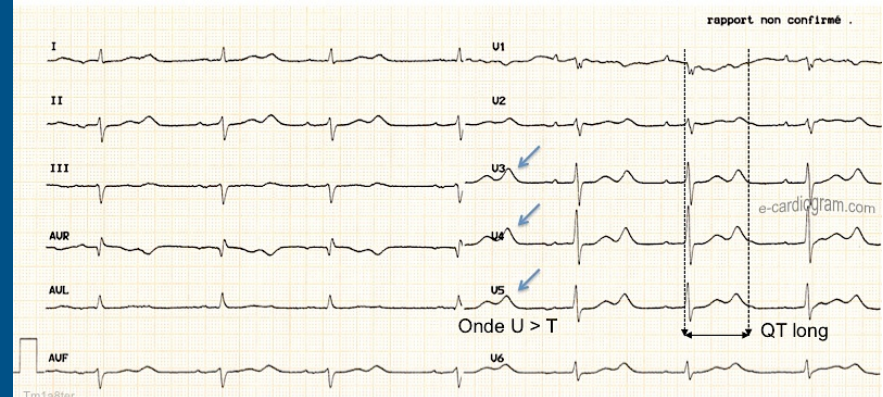
ondes T pointues, début élargissement des QRS)



Notez l'aspect pointu des ondes T qui dépassent fréquemment l'onde R

Tm2a14web

Hypokaliémie



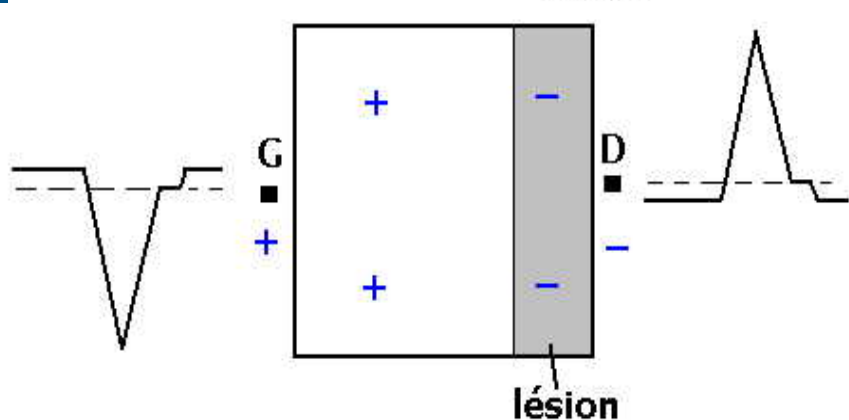
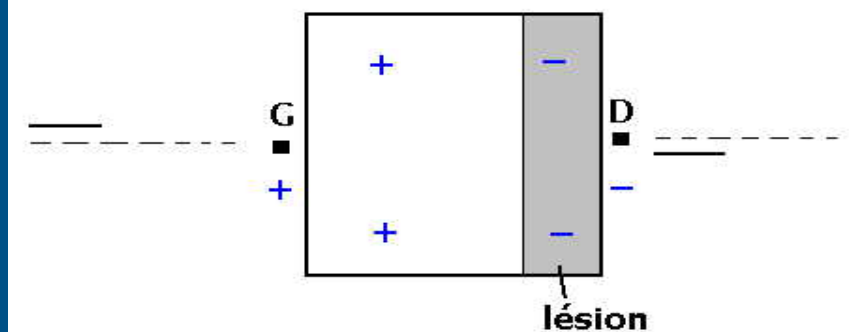
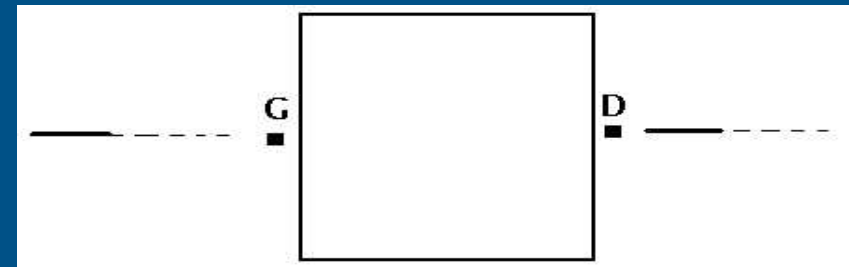
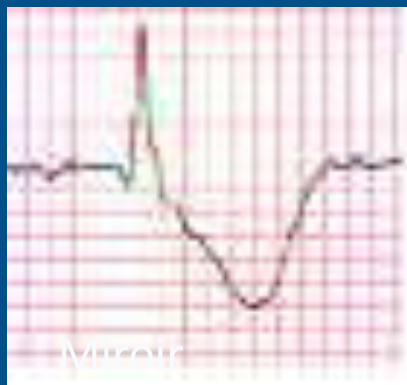
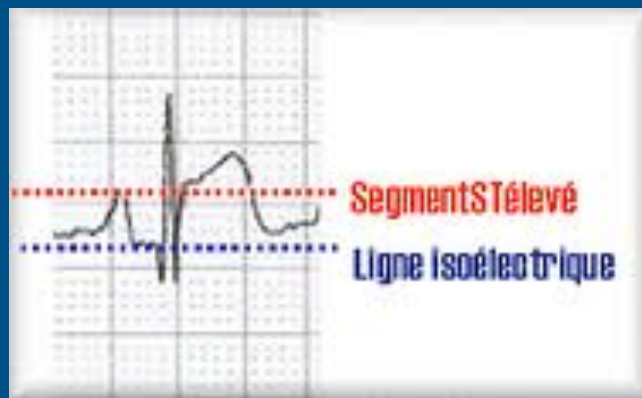
4 stades



Infarctus du myocarde (IDM)

sus-décalage du segment ST (onde de Pardee)

- Survient dès H2
- Le sus-décalage ischémique :
 - Horizontal ou concave vers le haut
 - Au moins **2 dérivations consécutives**
 - Correspondant à un **territoire** du myocarde



Infarctus du myocarde (IDM)

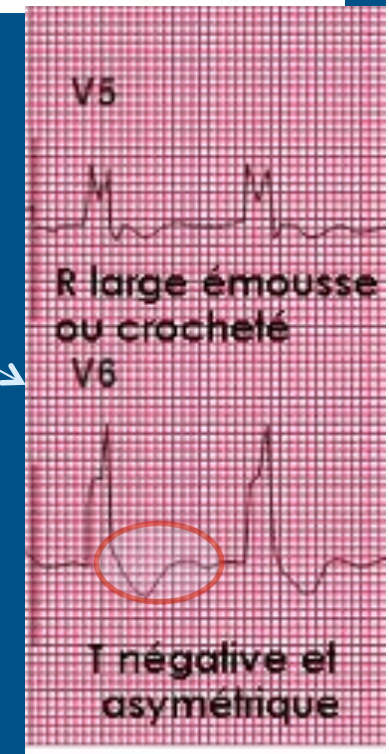
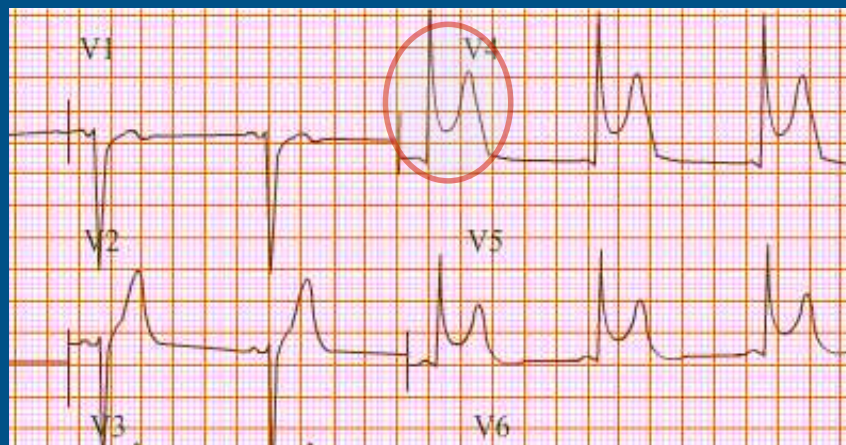
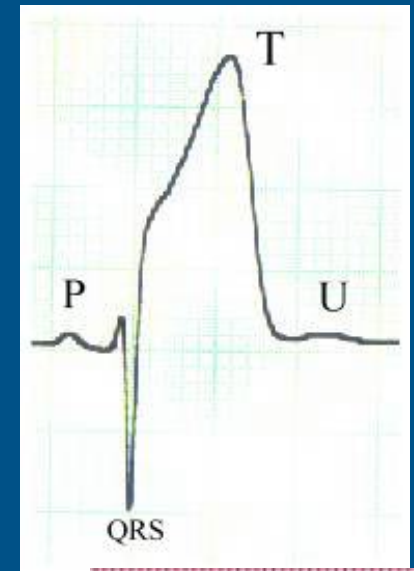
Onde Q pathologique

- L'onde Q de nécrose est une anomalie ECG qui apparaît environ à la 24ème heure
- Large (> 1 mm ; $> 0,04$ s) et profonde (> 2 mm)
- **dans au moins 2 territoires concordants = IDM**



Anomalie de ST

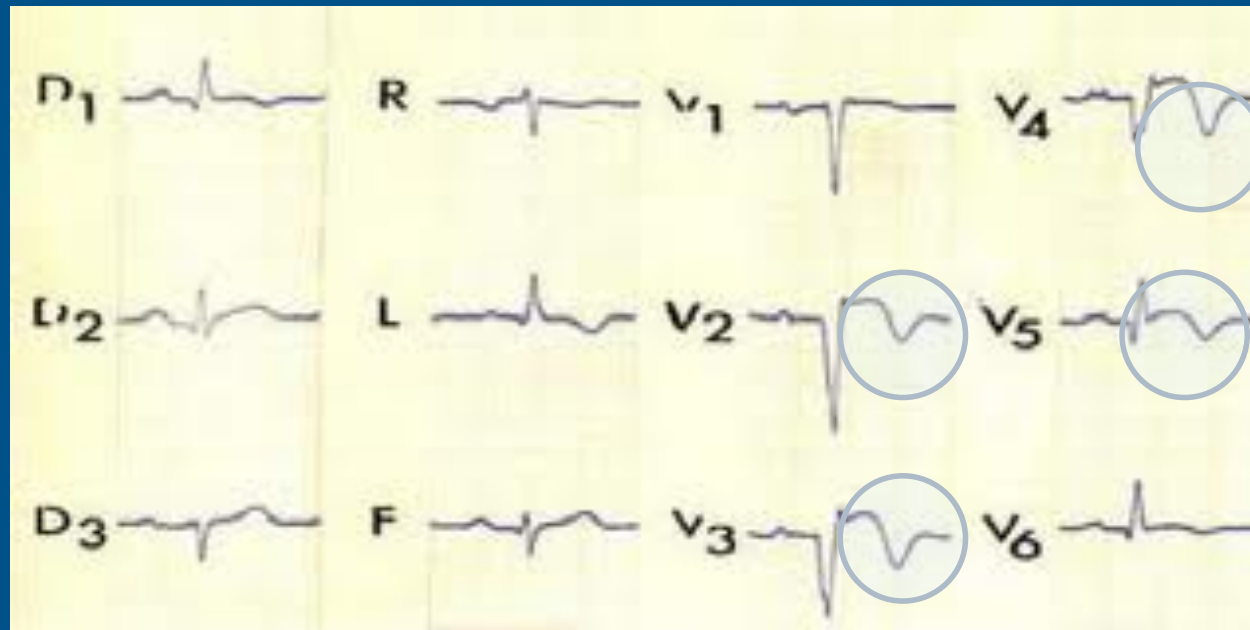
- Infarctus du myocarde: onde Pardee
- Bloc de branche
- Pericardite



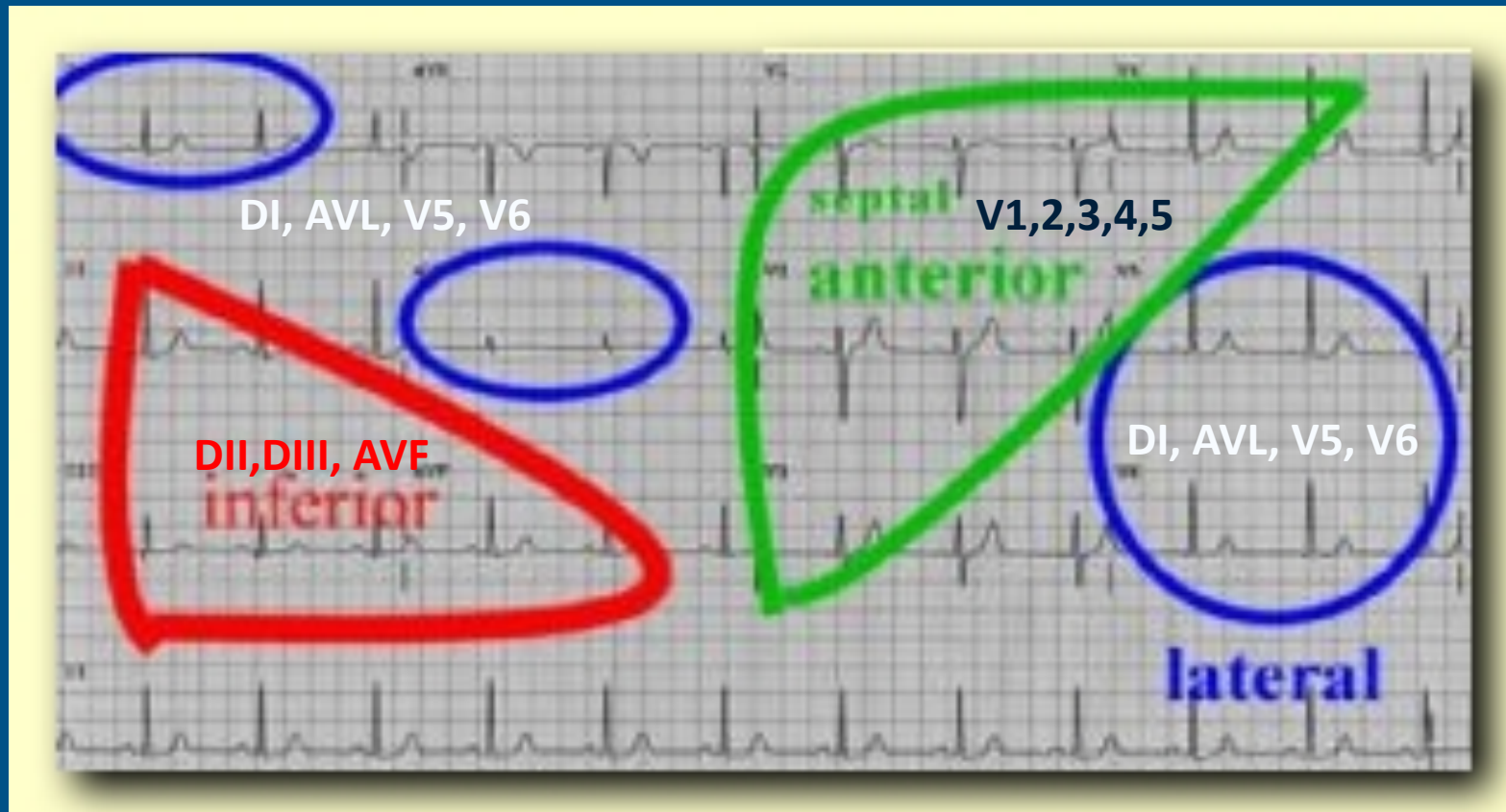
Infarctus du myocarde (IDM)

Onde T inversé

- Onde T négative
- Onde T symétrique
- S'installe après quelques heures, voire quelques jours
- Présente dans au moins **2 dérivations consécutives**, correspondant à un **territoire** myocardique



Infarctus du myocarde (IDM) Topographie ?

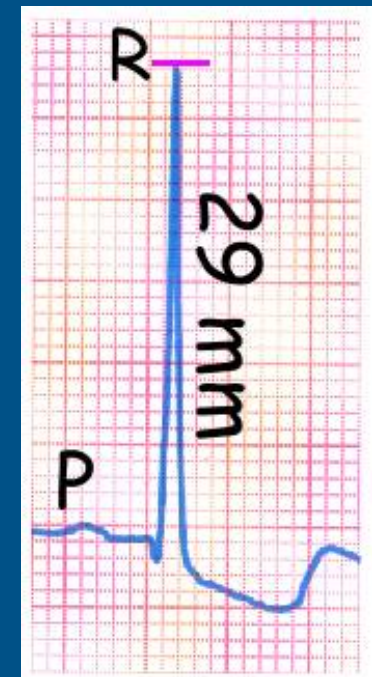
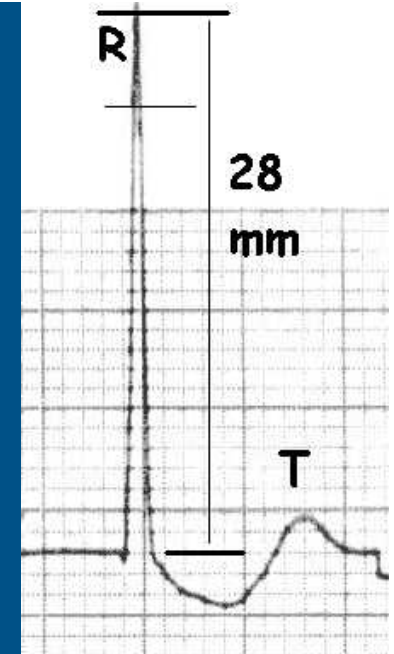


Hyperthrophie ventriculaire gauche (HVG)

- **Taille > 25 mm** en précordial:
- Mesurer l'indice de **Sokolow**
 - S1 + R5 ou R6
 - > 35 mm si âge > 35 ans
 - > 45 mm si âge < 35 ans

- **Causes d'HVG:**

- Valvulopathies mitrales
- Valvulopathies aortiques
- Hypertension artérielle



Conclusion d'un ECG normal

- Nom du patient, date
- Vérification de l'absence de problème technique
- Résultat:
 - Rythme cardiaque sinusale à XX bpm
 - Absence de trouble du rythme
 - Absence de trouble de la conduction cardiaque
 - Axe cardiaque normal
 - Absence d'anomalie du segment ST
 - Absence de trouble de la repolarisation
- Conclusion
 - ECG normal

La pression artérielle

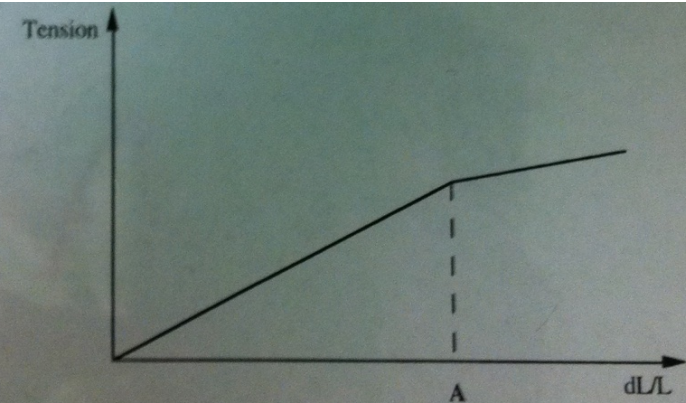


Figure 1 : Réaction à l'étirement de parois élastiques.

Si les artères se comportaient de cette façon, les risques de dégradation et de rupture des parois artérielles seraient très importants. Heureusement, tel n'est pas le cas. Si l'on étire une paroi artérielle, la tension augmente de manière non-linéaire (figure 2).

- La **pression artérielle** = pression du sang dans les artères
- On parle aussi de **tension artérielle**, car cette pression est aussi la force exercée par le sang sur la paroi des artères, elle tend la paroi de l'artère
- Origine de la pression artérielle
 - Cœur = pompe = propulse sang de manière spontanée et rythmique
 - Alternance phase de contraction (systole) et de relâchement (diastole)
 - Gros troncs artériels à la sortie du VG riches en **fibres élastiques**
=> dilatation importante du diamètre puis retourne à la normal en diastole
=> propulse le sang de nouveau => assure continuité du flux sanguin
 - Pas 100% de fibre élastique => non respect de la loi de Hooke

Mesure de la pression artérielle



- Tensiomètre ou sphygmomanomètre
- Avec stéthoscope:
 - Brassard gonflé = artère occluse
 - Dégonflage progressive
 - => bruit (ouverture intermittente artère) = pression systolique
 - => Disparition du bruit = flux laminaire = pression diastolique
- Sans stéthoscope: Pulsations de l'artère répercutées dans le brassard
 - Lorsque l'on dégonfle le brassard, on relève la pression à laquelle l'aiguille du manomètre commence à osciller (pression systolique) et celle à laquelle l'aiguille s'arrête d'osciller (pression diastolique)
 - Pouls radial du bras comprimé :
 - > Brassard comprimé: on ne perçoit pas le pouls
 - > Brassard dégonflé: la pression à partir de laquelle le pouls apparaît est la pression systolique (ne permet pas d'avoir la pression diastolique)
- $PAM = \text{pression diastolique} + (\text{pression systolique} - \text{pression diastolique}) / 3$

