

TER de physiologie

Travaux pratiques

électrocardiographie

<i>électrocardiographie</i> _____	<i>1</i>
L'électrocardiographie _____	2
Origine de l' électrocardiogramme _____	3
Le champ électrique cardiaque _____	4
Dérivations périphériques bipolaires ; triangle d'Einthoven _____	5
Le triangle d'Einthoven et l'axe électrique du cœur _____	5
Déroulement du TP _____	6
réalisation de l'électrocardiogramme _____	6
analyse des résultats _____	6
rédaction du compte-rendu _____	6

L'électrocardiographie

L'électrocardiographie est née en 1887 avec les travaux de Waller. Elle a été révélée à la communauté médicale par l'invention en 1901 du galvanomètre à cordes, qui permettait d'enregistrer de faibles variations de différence de potentiel. Inventeur du galvanomètre, praticien et théoricien de l'électrocardiographie, le Dr Willem Einthoven obtint le prix Nobel de Médecine et de physiologie en 1924.

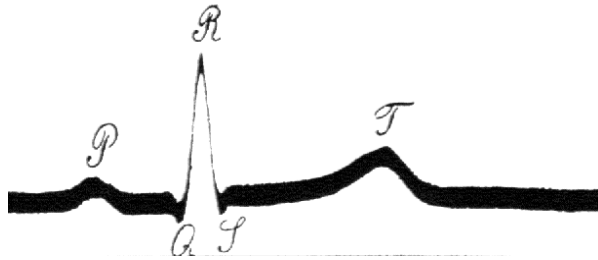


figure 1 : tracé électrocardiographique enregistré par W. Einthoven (1913) (D. Noble, *The initiation of the heartbeat*, Oxford University Press, 1979)

L'électrocardiogramme (ECG) est enregistré à l'aide d'un appareil spécialisé, l'électrocardiographe. Cet appareil est constitué d'amplificateurs de différence de potentiel (d.d.p.) à grandes constantes de temps ; il inscrit les d.d.p. captées (d'intensité de l'ordre de 1 mV) sur un papier qui se déroule à vitesse constante.

On distingue, dans l'ECG, une partie auriculaire, l'onde P, et une partie ventriculaire, le complexe QRS et l'onde T (figure 2).

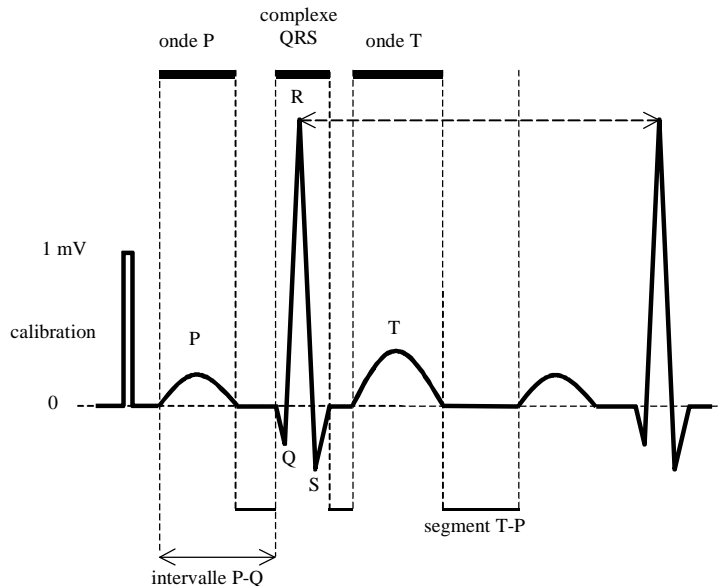


figure 2 : forme et nomenclature de l'ECG

L'onde comprend la variation de potentiel seule (exemple : onde P) ; le segment est la partie entre la fin d'une onde et le début de la suivante, où la ddp est nulle (exemple : segment T-P) ; l'intervalle comprend l'onde ainsi que le segment jusqu'au début de l'onde suivante (exemple : intervalle P-Q)

L'onde P correspond à la propagation de la dépolarisation dans les oreillettes. Durant le segment PQ, les oreillettes sont dépolarisées et la dépolarisation se propage vers les ventricules. La dépolarisation des ventricules débute avec l'onde Q, tandis que les oreillettes se repolarisent sans que ce phénomène soit visible sur l'ECG.

Le complexe QRS montre la propagation de la dépolarisation dans les ventricules ; pendant le segment ST, les ventricules sont totalement dépolarisés. L'onde T traduit la repolarisation ventriculaire. Le segment TP est l'expression de la diastole. La systole, elle, se produit de l'onde P à l'onde T.

Origine de l'électrocardiogramme

Le cœur est un organe dont les 2 grandes parties (les oreillettes d'une part et les ventricules d'autre part) se contractent de façon successive, ce qui assure le remplissage des ventricules puis l'éjection du sang à haute pression dans les artères.

La contraction de chaque cellule cardiaque est déclenchée par une dépolarisation membranaire : le potentiel d'action.

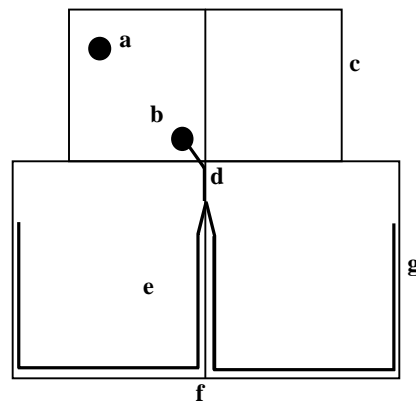
La dépolarisation – et donc la contraction – des différentes cellules du cœur suivent des voies et des temps bien définis : électriquement, les cellules cardiaques forment un réseau à la géométrie particulière dans lequel se propagent les potentiels d'action.

La dépolarisation naît d'abord dans des cellules cardiaques spécialisées, les cellules du nœud sino-auriculaire ou sinusal (figure 3). Les cellules du nœud sinusal ont la propriété de générer des potentiels d'action de façon rythmique. Ce sont des cellules « pacemaker » (de « pace » rythme, et « maker » faiseur de). La dépolarisation se propage ensuite à l'oreillette droite puis à l'oreillette gauche, qui se contractent. Elle atteint le nœud auriculo-ventriculaire et se propage dans le Faisceau de His, seul lien électrique entre les oreillettes et les ventricules. Elle se déplace ensuite dans le réseau de Purkinje puis atteint les ventricules, qui se contractent à leur tour. Les cellules des oreillettes et des ventricules ne sont pas, elles, des cellules pacemaker. Elles ne déclenchent un potentiel d'action que lorsque la dépolarisation d'une cellule avoisinante les atteint et leur fait dépasser le seuil du potentiel d'action. Elles répondent donc par tout ou rien.

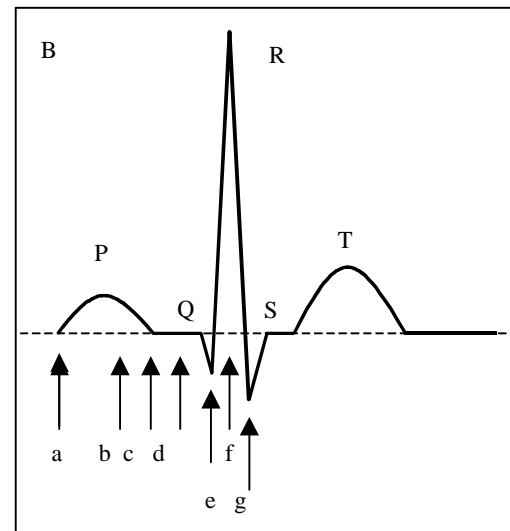
Il est possible d'enregistrer à distance à travers la peau la résultante des potentiels d'actions de toutes les cellules cardiaques. Ce phénomène électrique global est appelé électrocardiogramme ou ECG. L'ECG correspond aux variations, à la surface de la peau, du champ électrique produit par la propagation de la dépolarisation dans le cœur.

figure 3 : phases du cycle cardiaque et ECG

A : propagation de la dépolarisation dans le cœur (vue schématique). Les temps mis par la dépolarisation pour atteindre les différentes parties du cœur figurent dans le tableau ci-dessous.



B : ECG et propagation de la dépolarisation. Les flèches correspondent aux différentes étapes décrites en A.



	dépolarisation	temps (msec)
a	nœud sinusal	0
b	nœud auriculo-ventriculaire	66
c	surface de l'oreillette	100
d	faisceau de His	130
e	avant du ventricule droit	190
f	apex	220
g	paroi du ventricule gauche	260

Le champ électrique cardiaque

Il faut comprendre pourquoi l'enregistrement d'une différence de potentiel par deux électrodes situées à la surface de la peau représente l'activité électrique globale. Quelques notions simples sont rappelées ci-dessous :

Un dipôle électrique est constitué de deux charges électriques différentes. On note la charge la plus élevée par un signe + et la charge la plus basse par un signe -. On représente le dipôle par un vecteur dont la grandeur est proportionnelle à la somme des charges, dont le sens est du signe - vers le signe + et dont la direction est donnée par l'axe interpolaire (l'axe interpolaire est la droite qui passe par les deux pôles).

Dans un milieu homogène et conducteur, le dipôle produit un champ électrique qui est situé sur un plan perpendiculaire à la ligne interpolaire.

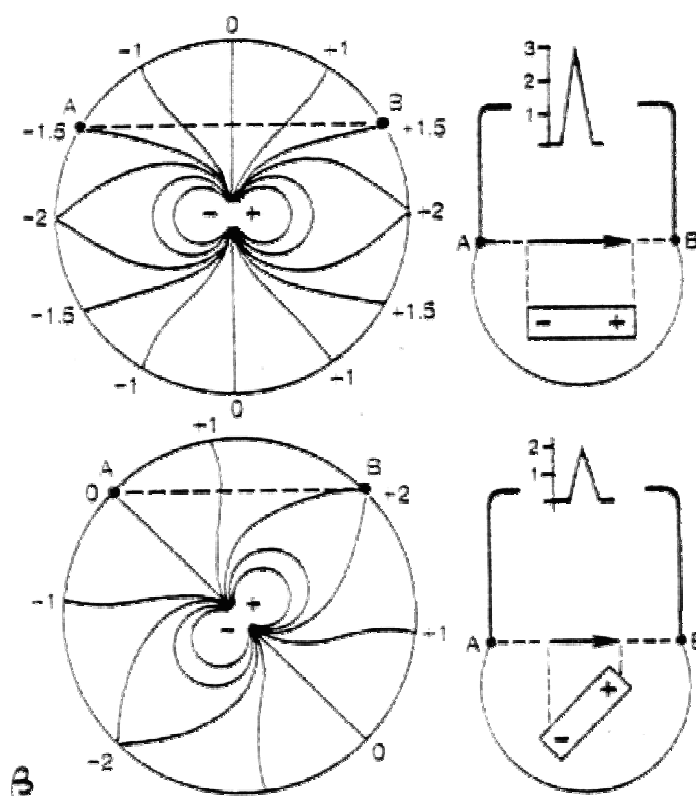


figure 4 : enregistrement bipolaire du champ électrique produit par un dipôle placé au centre d'un milieu homogène sphérique (les potentiels des lignes isopotentielles sont inscrits à l'extérieur du cercle).

La figure 4 représente le champ électrique entourant un dipôle dans un milieu conducteur homogène. Tous les points au même potentiel sont situés sur des lignes dites isopotentielles. Dans cette figure, les schémas de droite montrent que la différence de potentiel entre les points A et B dépend fondamentalement de la relation entre l'axe d'enregistrement (ligne joignant A et B) et la direction du dipôle. La différence de potentiel correspond à la projection du vecteur résultant sur l'axe AB, axe de projection ou

axe d'enregistrement ; ainsi la différence de potentiel est maximum quand les deux directions sont identiques, et est égale à 0 quand elles sont perpendiculaires.

Ceci peut, en principe, être appliqué au cœur humain, si ce n'est que la situation est plus complexe. Une première raison est que le corps n'est pas un milieu électriquement homogène ; une autre est que le cœur ne se situe pas, comme dans notre dipôle idéal, exactement au centre d'un système conducteur sphérique. En raison de ces facteurs, le champ électrique cardiaque subit une distorsion à la surface du corps.

Lors de l'excitation qui déclenche la contraction musculaire, on assiste à une inversion du potentiel de membrane. La région myocardique excitée devient chargée positivement par rapport à la région non excitée ; il y a alors formation d'un dipôle électrique. Le champ électrique cardiaque est alors caractérisé par un vecteur dirigé dans le sens de l'onde de dépolarisation.

Dérivations périphériques bipolaires ; triangle d'Einthoven

Chez l'homme – et chez l'animal – l'électrocardiogramme se pratique selon 3 dérivations périphériques :

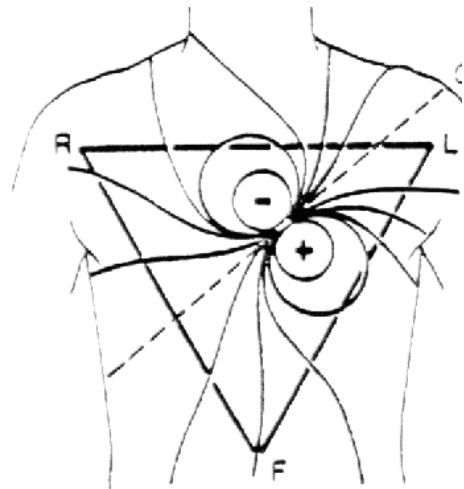
- D1 : bras droit – bras gauche
- D2 : bras droit – jambe gauche
- D3 : bras gauche – jambe gauche.

Dans l'enregistrement bipolaire, chaque dérivation mesure la d.d.p. entre les points reliés. Dans l'enregistrement unipolaire, une électrode est à la terre tandis que l'autre effectue la mesure.

Dans l'enregistrement bipolaire, les mesures se font dans le sens suivant :

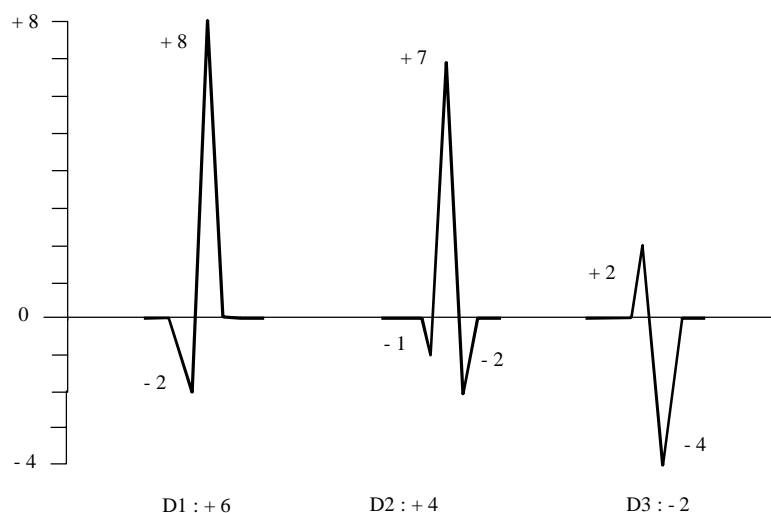
- D1 : poignet gauche moins poignet droit
- D2 : jambe gauche moins poignet droit
- D3 : jambe gauche moins poignet gauche.

figure 5 :
dipôle cardiaque instantané, projeté sur la paroi antérieure du thorax, RLF désignant les sommets du triangle d'Einthoven.



Les points reliés représentent, en première approximation, les sommets d'un triangle équilatéral appelé triangle d'Einthoven, situé dans le plan frontal et au centre duquel se trouve le cœur et son dipôle électrique. Dans ces conditions, Einthoven a montré qu'il existe une relation algébrique réunissant ces dérivations dites « dérivations standard » : $D1 + D3 = D2$

Le triangle d'Einthoven et l'axe électrique du cœur



La détermination de l'axe électrique du cœur est faite au moment du complexe QRS. La somme algébrique des ondes Q, R et S est calculée pour chaque dérivation. Les ondes Q et S sont en général négatives, alors que l'onde R est généralement positive. On effectuera la somme $Q + R + S$ (figure 6)

figure 6 : détermination de la somme algébrique des amplitudes des ondes Q, R et S pour les 3 dérivations D1, D2 et D3.

Un vecteur, de grandeur et de sens donné par la somme algébrique de QRS, est porté pour chaque dérivation sur le côté correspondant du triangle qui est situé entre un secteur négatif et un secteur positif (figure 7).

Les trois vecteurs obtenus pour D1, D2 et D3 permettent de construire le vecteur cardiaque qui définit la valeur et la direction du dipôle cardiaque au moment du complexe QRS.

L'origine du vecteur cardiaque est située à l'intersection des perpendiculaires menées depuis le milieu de chaque côté (point 0). On abaisse trois autres perpendiculaires à partir de l'extrémité des trois vecteurs ; elles se croisent en un deuxième point qui détermine l'extrémité du vecteur cardiaque. L'axe électrique du cœur est donné par la droite qui passe par ces deux points.

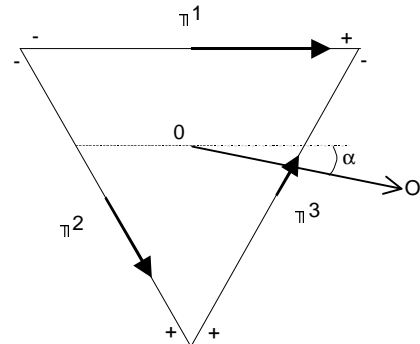


figure 7 : construction du triangle d'Einthoven. Le vecteur OC donne l'axe électrique du cœur.

On mesure l'angle que fait le vecteur cardiaque avec l'axe horizontal qui passe par l'origine du vecteur. cet angle est affecté du signe + si le vecteur est situé au-dessous de cet axe, du signe - s'il est situé au-dessus. L'axe électrique du cœur n'est pas confondu avec l'axe anatomique.

Déroulement du TP

réalisation de l'électrocardiogramme

Un électrocardiogramme est réalisé sur chaque étudiant, au repos et après effort, pour les trois dérivations D1, D2 et D3.

analyse des résultats

L'étudiant analyse son électrocardiogramme au repos en répondant aux points suivants :

- Identifier sur chaque dérivation l'onde P, le complexe QRS (en détaillant les ondes Q, R et S), l'onde T.
- Le tracé cardiaque est-il régulier ou pas ?
- Quelle est la fréquence cardiaque ?
- Mesurer la durée et l'amplitude de l'onde P en D2
- Quelle est la forme du complexe QRS en D1, D2, D3 ? Mesurer sa durée et son amplitude en D2.
- Mesurer la durée et l'amplitude de l'onde T en D2.
- Quelle est la durée de l'espace PR ? Que représente-t-il ?

L'analyse suivante est faite sur le deuxième électrocardiogramme réalisé après effort.

- Quelle est la fréquence cardiaque ?
- Mesurer la durée et l'amplitude de l'onde P en D2. comparer avec la valeur au repos.
- Quelle est la forme, l'amplitude et la durée du complexe QRS en D2. Comparer avec les valeurs de repos.
- Mesurer la durée et l'amplitude de l'onde T en D2. Comparer avec la valeur de repos.

On détermine graphiquement l'axe électrique du cœur sur le triangle d'Einthoven.

rédaction du compte-rendu

un compte-rendu du TP, présentant les tracés originaux et les réponses aux différents points à traiter, est rédigé.