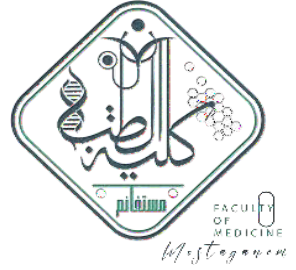




الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
UNIVERSITY OF ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM  
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم  
FACULTY OF MEDICINE  
كلية الطب  
DEPARTMENT MEDICINE  
قسم الطب



N° d'ordre :.....

## THÈSE DE DOCTORAT EN SCIENCES MÉDICALES

**Auteure : Dr BOUZIANI NADIA**

**Spécialité : médecine interne**

**Conception et Validation d'un Outil Numérique d'Aide  
au Diagnostic et d'Apprentissage de l'Interprétation de  
l'Électrocardiogramme Chez les Professionnels de  
Santé en Situation d'Urgence.**

Soutenue publiquement le 24 février 2025

### **Jury :**

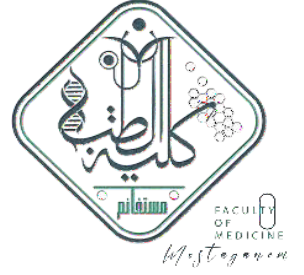
<b>Présidente du jury</b>	Pr BACHAOUI Malika	Faculté médecine Oran
<b>Membres :</b>	Pr BOUKHELOUA Mourad	Faculté médecine Alger
	Pr BOUNZIRA Tewfik	Faculté médecine Mostaganem
	Pr GHOMARI Nabil	Faculté médecine Mostaganem
<b>Directrice de thèse :</b>	Pr BENBERNOU Soumia	Faculté médecine Mostaganem
<b>Co-directeur de thèse :</b>	Pr MOHAMMED Mokhtar Riad	Faculté médecine Mostaganem

**Année : 2025**





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
UNIVERSITY OF ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM  
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم  
FACULTY OF MEDICINE  
كلية الطب  
DEPARTMENT MEDICINE  
قسم الطب



N° d'ordre :.....

## THÈSE DE DOCTORAT EN SCIENCES MÉDICALES

**Auteure : Dr BOUZIANI NADIA**  
**Spécialité : médecine interne**

Conception et Validation d'un Outil Numérique d'Aide  
au Diagnostic et d'Apprentissage de l'Interprétation de  
l'Électrocardiogramme Chez les Professionnels de  
Santé en Situation d'Urgence.

Soutenue publiquement le 24 février 2025

### Jury :

<b>Présidente du jury</b>	Pr BACHAOUI Malika	Faculté médecine Oran
<b>Membres :</b>	Pr BOUKHELOUA Mourad Pr BOUNZIRA Tewfik Pr GHOMARI Nabil	Faculté médecine Alger Faculté médecine Mostaganem Faculté médecine Mostaganem
<b>Directrice de thèse :</b>	Pr BENBERNOU Soumia	Faculté médecine Mostaganem
<b>Co-directeur de thèse :</b>	Pr MOHAMMED Mokhtar Riad	Faculté médecine Mostaganem

**Année : 2025**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا

*« Nous sommes ce que nous faisons de manière répétée. L'excellence n'est donc pas un acte mais une habitude ».*

*ARISTOTE*

# ***REMERCIEMENTS***

*A Ma Directrice de Thèse*

**MADAME BENBERNOU SOUMIA**

Professeure en Anesthésie

Réanimation

Faculté de médecine de

Mostaganem

*Mes premiers et grands remerciements vont à vous, pour m'avoir tendu la main, pour m'avoir guidé dans l'élaboration de ce travail, pour m'avoir fait profiter de votre expérience de recherche en acceptant de m'encadrer pour cette thèse.*

*Je vous suis particulièrement reconnaissante pour votre soutien sans faille, vos précieux conseils pédagogiques avisés, votre patience à toute épreuve, votre gentillesse débordante et votre sagesse, qui ont fortement contribué à l'aboutissement de ce manuscrit.*

*Veillez accepter, chère maître, l'expression de ma profonde gratitude et mon profond respect.*

*A Mon Co-Directeur de Thèse*

**MONSIEUR MOHAMMED MOKHTAR RIAD**

Professeur en chirurgie  
générale

Faculté de médecine de  
Mostaganem

*Mes sincères remerciements vont à mon Co-directeur de thèse.*

*Durant ces années, vous avez été un mentor et un grand frère pour moi, sur le plan scientifique, mais aussi sur le plan humain, vous n'avez ménagé aucun effort pour l'aboutissement de cette thèse.*

*Cette thèse n'aurait pas été une expérience aussi riche si vous ne m'avez pas accueilli au sein de votre équipe au centre de simulation, j'ai beaucoup apprécié le dynamisme et l'émulation au sein de cette équipe où règne une bonne ambiance chaleureuse et apaisée, les moments passés en ce lieu ont été très enrichissants, grâce à votre ouverture d'esprit et votre bienveillance.*

*En conséquence, merci à vous.*

*A la Présidente du Jury*

**MADAME BACHAOUI MALIKA**

Professeure en Médecine  
interne

Faculté de médecine d'Oran

*Mes vifs remerciements vont à ma chère maîtresse et mère professeure BACHAOUI pour m'avoir fait l'honneur de présider ma soutenance de thèse,*

*Vos observations ont été d'un grand apport dans la confection du document final. Je vous en suis très reconnaissante. Je ne peux passer sous silence les efforts que vous avez déployés.*

*Les moments que j'ai passés au service de médecine interne à l'EHU d'Oran ont été non seulement d'une excellence scientifique, mais aussi d'un réel épanouissement humain.*

*Mes premiers pas dans la recherche ont été sous votre tutelle, j'ai appris de vous la rigueur exigée dans les essais cliniques, sans oublier votre générosité et votre bienveillance.*

*Je saisis cette occasion pour vous renouveler ma reconnaissance.*

*Croyez Madame, à mon estime et à mon profond respect.*

*Au Membre du Jury*

**MONSIEUR BOUKHELOUA MOURAD**

Maître de conférences A

En Cardiologie

Faculté de médecine

d'Alger

*Nos sincères remerciements pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de participer au jury d'évaluation de ce travail.*

*Votre amabilité, votre disponibilité et votre gentillesse méritent notre admiration.*

*Merci de l'intérêt que vous avez porté à notre travail  
Nous vous témoignons toute notre reconnaissance, la gratitude et le respect qui vous sont redevables pour nous avoir permis de bénéficier de votre expertise dans ce domaine.*

*Au Membre du Jury*

**MONSIEUR BOUNZIRA TEWFIK**

Maître de conférences A

En Médecine interne

Faculté de médecine de

Mostaganem

*Toute ma gratitude pour avoir accepté d'être un membre de jury et d'avoir accepté d'évaluer mon travail de thèse.*

*Votre sollicitude a été permanente. Vos conseils et votre rigueur scientifique m'ont beaucoup guidé. Vous avez déployé beaucoup d'énergie communicative en ma faveur, ce qui m'a permis d'aborder cet événement de façon plus sereine.*

*J'en suis consciente et je voudrais que vous trouviez ici l'expression de ma gratitude pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

*Je vous suis également reconnaissante pour vos qualités pédagogiques et scientifiques, votre franchise et votre sympathie.*

*Au Membre du Jury*

**MONSIEUR GHOMARI NABIL**

Maître de conférences A  
en Anesthésie-Réanimation  
Faculté de médecine de  
Mostaganem

*Mes sincères remerciements pour avoir accepté de faire  
partie de ce jury de soutenance.*

*Et pour la promptitude avec laquelle vous avez remis votre  
rapport.*

*Vous avez fait des remarques pertinentes qui m'ont permis  
d'améliorer, d'enrichir et de préciser certains aspects du  
manuscrit.*

*Je suis très honorée de vous compter parmi les membres du  
jury et vous exprime toute ma gratitude.*



## ***DÉDICACES***

Avec humilité et gratitude, je remercie ceux envers qui je suis redevable :

**MON DIEU**, je remercie, avant tout, Le Seigneur, Dieu Tout Puissant de m'avoir donné la force et la patience pour réaliser ce modeste travail, pour sa miséricorde, sa clémence, ses bienfaits et sa grâce.

**MES CHERS PARENTS**, je n'aurai jamais de mots assez chaleureux pour exprimer toute ma gratitude, mon estime et mon respect à l'égard de mes parents pour leur indéfectible soutien, ils m'ont accompagné durant tout mon parcours, m'ont inculqué la valeur du travail et m'ont supporté tout au long de ces longues années d'études. Je leur dois tout, et aucune dédicace ne saurait leur exprimer mon amour profond, ma gratitude, ni mon infinie reconnaissance pour l'ampleur des sacrifices et des souffrances qu'ils ont endurés pour pouvoir m'éduquer et pour mon bien être. Leurs prières ont été pour moi un grand soutien moral tout au long de mes longues années d'études.

Ce travail est en grande partie le couronnement de leurs efforts.

Puisse dieu tout puissant les protéger et leur procurer longue vie, santé et bonheur afin que je puisse leur rendre un minimum de ce que je leur dois.

**À MON ADORABLE FILLE MERIEM**, ma raison de vivre et ma petite perle que dieu te garde, excuse-moi d'être si prise par le travail, j'espère te rendre fière de moi.

À mes sœurs, mon beau-frère, ma nièce et mes amis.

A ma tante et mes cousins, je vous dédie ce travail en témoignage de ma reconnaissance de votre soutien et vos encouragements vous avez toujours été pour moi les frères que je n'ai jamais eus, j'ai beaucoup de chance de vous avoir je vous souhaite tout le bonheur du monde.

À tous les membres de ma famille, vivants et décédés.

D'un point de vue personnel, je remercie vivement Mr MAIZIA ABDELKADER de m'avoir introduit aux statistiques, de m'avoir grandement aidé, soutenu, et accompagné, cette expérience fut très intéressante. Je vous remercie pour votre professionnalisme, pour votre temps et votre patience, vous avez réussi à me faire aimer les statistiques et gagné un sacré temps. Je vous souhaite bonne chance pour vos projets à venir. Vous avez toute ma reconnaissance.

Mes remerciements vont aussi à notre jeune ingénieur informaticien Mr BELHAMITI MOHAMMED EL AMINE, une personne enrichissante pour qui l'informatique est un jeu d'enfant, et qui a fortement contribué au développement de cette application. Votre aide a été précieuse dans des étapes clés de ce travail. Vous avez toute ma reconnaissance.

À tous mes collègues du service de médecine interne du CHU de Mostaganem « ma petite famille », pour leur précieuse aide puisqu'ils m'ont généreusement et honorablement suppléé sur le plan professionnel pendant mes périodes d'absence.

J'adresse mes plus sincères remerciements à tous ceux à qui je suis réellement reconnaissante : mes étudiants pour leur coopération, leur patience, leurs critiques constructives et leurs utiles commentaires, mes anciens étudiants devenus résidents et membres de ma famille, merci de m'avoir tout appris, vous avez une grande part de ce que je suis devenue aujourd'hui.

Je tiens à remercier particulièrement Mr MOSBAH ABDERRAHMANE de m'avoir prêté généreusement ses tracés ECG dessinés par infographie.

Je remercie également tout le personnel administratif de la faculté de médecine de Mostaganem pour leur écoute, leur gentillesse et leur disponibilité.

Je tiens particulièrement à rendre hommage à mes anciens professeurs qui m'ont toujours soutenu ; Pr BELHADJ, Pr BACHAOUI, Pr AYAD, Pr ARIBI et Pr HAKEM, j'ai une pensée spéciale pour le regretté Pr CHERRAK, paix à son âme et que dieu l'accueille dans son vaste paradis. Vous nous avez inculqué l'amour de la connaissance et la curiosité scientifique. Vous avez façonné ma réflexion médicale et fait de moi un meilleur médecin, je suis le reflet d'une part de chacun de vous. Merci pour les valeurs que vous m'avez transmises.

Il me faut témoigner de mon extrême gratitude envers la Société Algérienne des Médecins Généralistes SAMG en particulier Dr MZAAD KHADIDJA, pour leur aide précieuse et leur contribution dans l'élaboration de ce travail.

Ainsi, qu'à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce modeste travail et à ma réussite, à toutes les personnes qui ont su me hisser vers le haut pour atteindre mon objectif.

Merci infiniment.

# SOMMAIRE

**REMERCIEMENTS**

**DÉDICACES**

**SOMMAIRE..... I**

**LISTE DES ABRÉVIATIONS..... VII**

**LISTE DES FIGURES..... IX**

**LISTE DES TABLEAUX..... XV**

**1 INTRODUCTION GÉNÉRALE ..... XVII**

**2 PARTIE THÉORIQUE ..... I**

**2.1 DÉFINITIONS ..... 3**

**2.2 HISTOIRE DE L'ECG..... 6**

2.2.1 Le principe de la pile électrique..... 6

2.2.2 L'électromètre capillaire..... 9

2.2.3 Le galvanomètre à corde..... 10

2.2.4 Nomenclature ECG..... 13

2.2.5 Développement commercial des appareils ECG ..... 14

2.2.6 Surveillance ambulatoire de l'ECG ..... 15

2.2.7 Les montres ECG connectées : une révolution en rythmologie ..... 16

**2.3 ECG ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE..... 17**

**2.4 ANATOMIE ET STRUCTURE DU CŒUR..... 20**

**2.5 CONDUCTION ÉLECTRIQUE DU CŒUR..... 23**

**2.6 VASCULARISATION DU CŒUR ..... 26**

2.6.1 Le réseau coronaire artériel ..... 26

2.6.2 Le réseau coronaire veineux ..... 28

**2.7 ÉLECTROPHYSIOLOGIE CARDIAQUE ..... 29**

**2.8 ACQUISITION DU SIGNAL ET TERRITOIRES ..... 32**

**2.9 CARACTÉRISTIQUES D'UN ECG NORMAL ..... 36**

2.9.1 L'ONDE P ..... 37

2.9.2 L'INTERVALLE PR OU PQ ..... 38

2.9.3	LE COMPLEXE QRS .....	39
2.9.4	LE SEGMENT ST .....	40
2.9.5	L'ONDE T .....	41
2.9.6	L'ONDE U .....	42
2.9.7	L'INTERVALLE QT .....	43
2.9.8	LE CODE MINNESOTA .....	44
<b>2.10</b>	<b>CARACTÉRISTIQUES D'UN ECG PATHOLOGIQUE .....</b>	<b>46</b>
2.10.1	LES HYPERTROPHIES .....	46
2.10.1.1	L'Hypertrophie Auriculaire Droite « HAD ».....	46
2.10.1.2	L'Hypertrophie Auriculaire Gauche « HAG ».....	47
2.10.1.3	L'hypertrophie biauriculaire .....	48
2.10.1.4	L'Hypertrophie Ventriculaire Droite « HVD ».....	48
2.10.1.5	L'Hypertrophie Ventriculaire Gauche « HVG ».....	49
2.10.1.6	L'hypertrophie bi-ventriculaire .....	51
2.10.2	LES TROUBLES DE LA CONDUCTION.....	53
2.10.2.1	La dysfonction sinusale.....	53
2.10.2.2	Les Blocs Atrio-Ventriculaires « BAV ».....	55
2.10.2.3	Les Blocs de Branche « BB » .....	58
2.10.3	LES TROUBLES DU RYTHME « TDR » .....	63
2.10.3.1	Les anomalies du rythme sinusal .....	64
2.10.3.1.1	La bradycardie sinusale .....	64
2.10.3.1.2	La tachycardie sinusale.....	65
2.10.3.1.3	L'arythmie sinusale .....	65
2.10.3.2	Les troubles du rythme auriculaires .....	66
2.10.3.2.1	L'extrasystole atriale « ESA ».....	66
2.10.3.2.2	La tachysystolie atriale « TSA ».....	67
2.10.3.2.3	La Fibrillation Atriale « FA ».....	68
2.10.3.2.4	Le flutter atrial .....	70
2.10.3.3	Les troubles du rythme jonctionnels .....	72
2.10.3.3.1	L'extrasystole jonctionnelle « ESJ » .....	72
2.10.3.3.2	La tachycardie jonctionnelle « TJ » par réentrée.....	72
2.10.3.3.3	La tachycardie par réentrée sur un faisceau accessoire .....	74
2.10.3.4	Les troubles du rythme ventriculaires .....	75
2.10.3.4.1	L'extrasystole ventriculaire « ESV » .....	75
2.10.3.4.2	Le rythme idio-ventriculaire .....	77
2.10.3.4.3	La tachycardie ventriculaire « TV » .....	78
2.10.3.4.4	La torsade de pointes « TdP » .....	80
2.10.3.4.5	La fibrillation ventriculaire « FV ».....	81
2.10.4	LE SYNDROME CORONAIRE AIGU « SCA » .....	83
2.10.4.1	Définitions.....	83

2.10.4.2	Le SCA avec sus-décalage persistant du segment ST : « SCA ST+ »	85
2.10.4.3	Le SCA sans sus-décalage persistant du segment ST : « SCA ST- »	87
2.10.4.4	SCA non ST+ à haut risque ou équivalents ST+	88
2.10.4.5	SCA et BBG	89
2.10.5	LA PÉRICARDITE	92
2.10.6	L'EMBOLIE PULMONAIRE « EP »	94
2.10.7	LES TROUBLES ÉLECTROLYTIQUES	95
2.10.7.1	L'HYPERKALIÉMIE	95
2.10.7.2	L'HYPOKALIÉMIE	97
2.10.7.3	L'HYPERCALCÉMIE	98
2.10.7.4	L'HYPOCALCÉMIE	99
2.10.8	L'IMPRÉGNATION ET L'INTOXICATION DIGITALIQUES	100
2.10.9	LE SYNDROME DE BRUGADA	101
2.10.10	L'HYPOTHERMIE	102
2.10.11	LE STIMULATEUR CARDIAQUE OU LE PACEMAKER	103
<b>3</b>	<b><i>PARTIE PRATIQUE</i></b>	<b>106</b>
<b>3.1</b>	<b>PROBLEMATIQUE</b>	<b>107</b>
<b>3.2</b>	<b>OBJECTIFS DE L'ETUDE</b>	<b>112</b>
<b>3.3</b>	<b>PROTOCOLE DE L'ETUDE</b>	<b>113</b>
3.3.1	MATERIEL ET METHODES	113
3.3.1.1	Type de l'étude	113
3.3.1.2	Population cible de l'étude	113
3.3.1.3	Critères d'inclusion	113
3.3.1.4	Critères de non inclusion	114
3.3.1.5	Critères d'exclusion	114
3.3.1.6	Calcul de la taille d'échantillon	114
3.3.2	LA RANDOMISATION	115
<b>3.4</b>	<b>DEROULEMENT DE L'ETUDE</b>	<b>117</b>
3.4.1	La réalisation d'une enquête nationale	117
3.4.2	La conception et la validation de l'application	118
3.4.3	La conception du logiciel d'apprentissage de l'ECG	123
3.4.4	L'étude randomisée	129
3.4.5	Le programme de l'étude	131
3.4.5.1	Description du programme du groupe A	131
3.4.5.2	Description du programme du groupe B	133
<b>3.5</b>	<b>LES CRITERES DE JUGEMENT</b>	<b>135</b>
<b>3.6</b>	<b>ANALYSES STATISTIQUES</b>	<b>135</b>

<b>3.7</b>	<b>RÉSULTATS.....</b>	<b>137</b>
3.7.1	RESULTATS DE L'ENQUÊTE AUPRÈS DES INTERNES.....	137
3.7.1.1	Répartition des internes selon le sexe .....	137
3.7.1.2	Répartition des internes en fonction du lieu de leur affectation actuelle .....	138
3.7.1.3	Disponibilité d'un électrocardiographe dans le service d'affectation actuelle .....	138
3.7.1.4	Nécessité de réaliser et d'interpréter des ECG.....	142
3.7.1.5	Formation initiale suffisante pendant les études .....	143
3.7.1.6	Formation antérieure suivie.....	144
3.7.1.7	Fréquence de réalisation des ECG .....	145
3.7.1.8	Indications à la réalisation d'un ECG .....	148
3.7.1.9	Aptitude à l'interprétation d'un ECG.....	149
3.7.1.10	Intérêt des internes pour une formation complémentaire.....	150
3.7.2	RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE AUPRÈS DES MÉDECINS GÉNÉRALISTES .....	151
3.7.2.1	Répartition des médecins généralistes selon le sexe .....	151
3.7.2.2	Répartition des médecins généralistes selon l'âge .....	152
3.7.2.3	Répartition des médecins généralistes selon leur lieu d'exercice .....	153
3.7.2.4	Possession d'électrocardiographes par les médecins généralistes .....	154
3.7.2.5	Nécessité de réaliser des ECG.....	158
3.7.2.6	Formation antérieure satisfaisante.....	158
3.7.2.7	Formation antérieure suivie.....	158
3.7.2.8	Fréquence de réalisation des ECG .....	161
3.7.2.9	Motifs de réalisation d'un ECG .....	163
3.7.2.10	Aptitude à l'interprétation de l'ECG.....	164
3.7.2.11	Intérêt pour une formation complémentaire.....	166
3.7.3	RESULTATS DE L'ETUDE RANDOMISÉE .....	167
3.7.3.1	Comparaison des scores des deux groupes lors de l'évaluation 1 (initiale ou pré-test).....	167
3.7.3.2	Répartition des deux groupes d'étudiants selon le sexe.....	168
3.7.3.3	Les résultats des analyses statistiques du groupe A .....	169
3.7.3.3.1	Comparaison entre l'évaluation 1 initiale (pré-test) et l'évaluation 2 avec l'utilisation de l'application « MED ECG 2022 » sans aucune formation au préalable.....	169
3.7.3.3.2	Comparaison entre l'évaluation 2 (avec application) et l'évaluation 3 (post-formation).....	170
3.7.3.3.3	Comparaison entre l'évaluation 1 (pré-test) et l'évaluation 3 (post-formation) .....	170
3.7.3.4	Les résultats des analyses statistiques du groupe B .....	171
3.7.3.4.1	Comparaison entre l'évaluation 1 (pré-test) et l'évaluation 2 (post-formation) .....	171
3.7.3.4.2	Comparaison entre l'évaluation 2 (post-formation) et l'évaluation 3 (avec application).....	171
3.7.3.4.3	Comparaison entre l'évaluation 1 (pré-test) et l'évaluation 3 (avec application) .....	172
3.7.3.5	Comparaison entre les deux groupes lors de l'évaluation avec l'utilisation de l'application (Évaluation 2 du groupe A/ Évaluation 3 du groupe B).....	173

3.7.3.6	Comparaison entre les deux groupes lors de l'évaluation post-formation (Évaluation 2 du groupe B/ Évaluation 3 du groupe A) .....	175
3.7.3.7	Les résultats de l'effectif total (groupe A + groupe B) .....	176
3.7.3.7.1	Analyse globale des 3 évaluations.....	176
3.7.3.7.2	Comparaison entre l'évaluation 1 et l'évaluation 2 chez les 92 étudiants .....	176
3.7.3.7.3	Comparaison entre l'évaluation 2 et l'évaluation 3 chez les 92 étudiants .....	177
3.7.3.7.4	Comparaison entre l'évaluation 1 et l'évaluation 3 chez les 92 étudiants .....	177
<b>3.8</b>	<b>DISCUSSION .....</b>	<b>181</b>
3.8.1	Enquête auprès des internes en médecine de la faculté de médecine de Mostaganem.....	181
3.8.1.1	Profil de la population interrogée.....	181
3.8.1.2	Accès des internes à un électrocardiographe .....	182
3.8.1.3	Nécessité de réaliser des ECG.....	183
3.8.1.4	Formation initiale.....	183
3.8.1.5	Fréquence de réalisation de l'ECG .....	184
3.8.1.6	Restrictions à la pratique de l'ECG.....	184
3.8.1.7	Contexte de réalisation.....	185
3.8.1.8	Aptitude à l'interprétation des ECG.....	185
3.8.1.9	Formation souhaitée .....	185
3.8.2	Enquête nationale auprès des médecins généralistes.....	186
3.8.2.1	Caractéristiques de la population .....	187
3.8.2.2	Disponibilité de l'électrocardiographe.....	187
3.8.2.3	Nécessité de réaliser des ECG.....	189
3.8.2.4	Formation à l'ECG.....	189
3.8.2.5	Fréquence de réalisation.....	190
3.8.2.6	Obstacles à la pratique de l'ECG .....	190
3.8.2.7	Contexte de réalisation.....	191
3.8.2.8	Aptitude à l'interprétation.....	192
3.8.2.9	Intérêt pour une Formation.....	192
3.8.3	Étude randomisée concernant les étudiants de la 6 <sup>ème</sup> année de médecine.....	195
3.8.3.1	La randomisation.....	195
3.8.3.1.1	La répartition selon le sexe des deux groupes.....	195
3.8.3.1.2	Comparaison des scores entre les deux groupes lors de l'évaluation 1.....	196
3.8.3.1.3	Concernant le groupe A.....	196
3.8.3.1.4	Concernant le groupe B.....	197
3.8.4	FORCES ET LIMITES DE L'ETUDE .....	202
3.8.4.1	Forces de l'étude .....	202
3.8.4.2	Limites de l'étude.....	202
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>205</b>
<b>5</b>	<b>PERSPECTIVES .....</b>	<b>207</b>

<i>ANNEXES</i> .....	209
<i>RÉSUMÉ/ ABSTRACT/ الملخص</i> .....	219
<i>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i> .....	227

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

<b>ACC</b>	American College Of Cardiology
<b>AHA</b>	American Heart Association
<b>AC/FA</b>	Arythmie Complète par fibrillation atriale
<b>ARC</b>	Apprentissage au Raisonnement Clinique
<b>aVF</b>	amplified Voltage Foot
<b>aVL</b>	amplified Voltage Left
<b>aVR</b>	Amplified Voltage Right
<b>BAV</b>	Bloc Atrio-Ventriculaire
<b>BB</b>	Bloc de Branche
<b>BBD</b>	Bloc de Branche Droite
<b>BBG</b>	Bloc de Branche Gauche
<b>BSA</b>	Bloc Sino-Atrial
<b>BPCO</b>	BronchoPneumopathie Chronique Obstructive
<b>CHU</b>	Centre Hospitalo-Universitaire
<b>CD</b>	Coronaire Droite
<b>Cx</b>	Artère Circonflexe
<b>DREES</b>	Direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques
<b>ECG</b>	ElectroCardioGramme
<b>EKG</b>	ElectroKardioGram
<b>ECOS</b>	Examen Clinique Objectif et Structuré
<b>EP</b>	Embolie Pulmonaire
<b>ESA</b>	ExtraSystole Atriale
<b>ESC</b>	European Society of Cardiology
<b>ESJ</b>	ExtraSystole Jonctionnelle
<b>ESV</b>	ExtraSystole Ventriculaire
<b>FA</b>	Fibrillation Atriale
<b>FDA</b>	Food and Drug Administration
<b>FV</b>	Fibrillation Ventriculaire
<b>HAD</b>	Hypertrophie Auriculaire Droite
<b>HAG</b>	Hypertrophie Auriculaire Gauche
<b>HAS</b>	Haute Autorité de Santé
<b>HBAG</b>	HémiBloc Antérieur Gauche
<b>HBPG</b>	HémiBloc Postérieur Gauche
<b>HTA</b>	HyperTension Artérielle

<b>HTAP</b>	HyperTension Artérielle Pulmonaire
<b>HVD</b>	Hypertrophie Ventriculaire Droite
<b>HVG</b>	Hypertrophie Ventriculaire Gauche
<b>IA</b>	Intelligence Artificielle
<b>IVA</b>	InterVentriculaire Antérieure
<b>JAMA</b>	Journal of the American Medical Association
<b>NAV</b>	Nœud Auriculo-Ventriculaire
<b>NS</b>	Nœud Sinusal
<b>PDF</b>	Portable Document Format
<b>PICO</b>	Patients-Intervention-Contrôle-Outcome
<b>PM</b>	PaceMaker
<b>QTc</b>	QT corrigé
<b>RIVA</b>	Rythme Idio-Ventriculaire Accéléré
<b>RM</b>	Rétrécissement Mitral
<b>SCA</b>	Syndrome Coronaire Aigu
<b>SCA ST+</b>	Syndrome Coronaire Aigu avec sus-décalage du segment ST
<b>SCA ST-</b>	Syndrome Coronaire Aigu sans sus-décalage du segment ST
<b>SSS</b>	Sick Sinus Syndrome
<b>TAF</b>	Tachysystolie Atriale Focale
<b>TAM</b>	Tachysystolie Atriale Multiple
<b>TC</b>	Tronc Commun
<b>TdP</b>	Torsade de Pointes
<b>TDR</b>	Troubles Du Rythme
<b>TJ</b>	Tachycardie Jonctionnelle
<b>TP</b>	Travaux Pratiques
<b>TSA</b>	TachySystolie Atriale
<b>TV</b>	Tachycardie Ventriculaire
<b>UE</b>	Union Européenne
<b>VE</b>	Ventouse Épigastrique
<b>VG</b>	Ventricule gauche
<b>WPW</b>	Wolff-Parkinson-White

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Représentation des parties de l'ECG: Onde P, Complexe QRS et onde T. ....	4
Figure 2 : Les précurseurs de l'ECG et les étapes de la mesure de l'activité électrique du cœur. .....	6
Figure 3 : Luigi Galvani et son expérience de stimulation électrique. ....	7
Figure 4 : Rudolph Von Köllicker et son expérience de stimulation électrique.....	8
Figure 5 : Le siphon enregistreur.....	8
Figure 6 : Illustration de Ludwing et son électromètre capillaire.....	9
Figure 7: Willem Einthoven et son premier galvanomètre à corde.....	10
Figure 8 : Schéma représentant le principe de l'enregistrement ECG.....	11
Figure 9 : Démonstration d'une expérience à la Royal Society par Jimmie, le chien de Waller et le premier électrocardiographe.....	12
Figure 10 : Premiers prototypes électrocardiographiques en 1911.....	13
Figure 11 : Premiers tracés ECG par Einthoven.....	13
Figure 12 : Électrocardiographes portables.....	15
Figure 13 : Les montres ECG connectées.....	16
Figure 14 : Anatomie et structure du cœur humain.....	20
Figure 15 : Coupe transversale d'un ventricule, montrant les trois couches du cœur.....	21
Figure 16 : Le système de conduction électrique du cœur.....	23
Figure 17 : Séquences d'activation au cours d'un cycle cardiaque.....	24
Figure 18 : Le réseau coronaire artériel.....	26
Figure 19 : Le réseau coronaire veineux.....	28
Figure 20 : Potentiels d'action et canaux ioniques des cellules myocardiques.....	30
Figure 21 : Différentes phases du potentiel d'action de la cellule myocardique.....	31
Figure 22 : Aspect de l'ECG en fonction de la direction de l'influx électrique.....	32
Figure 23 : Construction des dérivations frontales, le double tri-axe de BAILEY.....	33
Figure 24 : Détermination de l'axe des QRS.....	33
Figure 25 : Positionnement des électrodes précordiales.....	34
Figure 26 : Territoires cardiaques selon les dérivations ECG.....	35
Figure 27 : Représentation schématique du cycle cardiaque.....	36
Figure 28 : Échelle de calibration de l'ECG.....	37
Figure 29 : Onde P sinusale normale.....	37

Figure 30 : Intervalle PR ou PQ.....	38
Figure 31 : Différentes morphologies du complexe QRS.....	39
Figure 32 : Segment ST .....	40
Figure 33 : Onde T .....	41
Figure 34 : Onde U .....	42
Figure 35 : Intervalle QT .....	43
Figure 36 : Les intervalles d'un ECG normal selon le code Minnesota .....	44
Figure 37 : Hypertrophie atriale droite .....	47
Figure 38 : Hypertrophie atriale gauche .....	47
Figure 39 : Hypertrophie biauriculaire .....	48
Figure 40 : Hypertrophie ventriculaire droite .....	49
Figure 41 : Hypertrophie ventriculaire gauche .....	51
Figure 42 : Hypertrophie bi-ventriculaire .....	52
Figure 43 : Les blocs sino-auriculaires .....	54
Figure 44 : Les blocs atrio-ventriculaires .....	57
Figure 45 : Le bloc de branche droite BBD.....	59
Figure 46 : Le bloc de branche gauche BBG.....	60
Figure 47: Les blocs fasciculaires.....	61
Figure 48 : La bradycardie sinusale .....	65
Figure 49 : La tachycardie sinusale .....	65
Figure 50 : L'arythmie sinusale .....	66
Figure 51: L'extrasystole atriale .....	67
Figure 52 : La tachysystolie atriale.....	68
Figure 53 : Le mécanisme de la fibrillation atriale .....	69
Figure 54 : La fibrillation atriale.....	70
Figure 55 : Le mécanisme du flutter atrial.....	71
Figure 56 : Le flutter atrial.....	71
Figure 57 : L'extrasystole jonctionnelle .....	72
Figure 58 : La tachycardie jonctionnelle par réentrée .....	73
Figure 59 : La tachycardie jonctionnelle par réentrée dans le syndrome WPW.....	75
Figure 60 : L'onde Delta du syndrome WPW .....	75
Figure 61 : L'extrasystole ventriculaire.....	77
Figure 62 : Le rythme idio-ventriculaire.....	78
Figure 63 : La tachycardie ventriculaire .....	80

Figure 64 : La torsade de pointes .....	81
Figure 65 : La fibrillation ventriculaire .....	82
Figure 66 : L'ischémie/la lésion myocardique.....	84
Figure 67 : Sus-décalage du segment ST .....	85
Figure 68 : Évolution des signes ECG au cours d'un SCA ST+ .....	86
Figure 69 : Le signe de Cabrera .....	89
Figure 70 : Le signe de Chapman .....	90
Figure 71 : Les critères de Sgarbossa modifiés .....	91
Figure 72 : Les 4 stades évolutifs de la péricardite.....	92
Figure 73 : Signe de Spodick .....	92
Figure 74 : L'alternance électrique .....	93
Figure 75 : L'aspect S1Q3T3.....	94
Figure 76 : Modifications de l'ECG au cours d'une hyperkaliémie .....	96
Figure 77 : L'aspect « S italique couché » de l'hypokaliémie.....	97
Figure 78 : Les signes électriques de l'hypercalcémie .....	98
Figure 79 : Les signes électriques de l'hypocalcémie .....	99
Figure 80 : La cupule digitalique et la photo du peintre Salvator Dali.....	100
Figure 81 : Le syndrome de Brugada type 1 et type 2 .....	101
Figure 82 : L'onde J d'Osborn.....	102
Figure 83 : Les spikes du Pacemaker.....	104
Figure 84 : MEDI-ECG : Pages de garde .....	108
Figure 85 : MEDI-ECG : Sommaire et Bibliographie .....	109
Figure 86 : MEDI-ECG : Partie Généralités.....	109
Figure 87 : MEDI-ECG : Fiche flash et Entraînement .....	110
Figure 88 : Le processus de randomisation avec les effectifs inclus et exclus .....	116
Figure 89 :Le prototype de l'application MED ECG 2022.....	118
Figure 90 : L'interface de l'application utilisant ANDROID STUDIO et JAVA .....	119
Figure 91 : 1ère étape de l'interprétation d'un ECG : Les critères de validité .....	120
Figure 92 : 2ème étape de l'interprétation d'un ECG : L'interprétation générale.....	120
Figure 93 : L'algorithme de l'onde P.....	121
Figure 94 : 3ème étape de l'interprétation d'un ECG : L'interprétation spécifique.....	121
Figure 95 : L'algorithme du rythme irrégulier.....	122
Figure 96 : Le diagnostic d'une fibrillation auriculaire .....	122
Figure 97 : L'algorithme de la fibrillation auriculaire .....	122

Figure 98 : Le logiciel d'apprentissage ECG.....	123
Figure 99 : Le chapitre « APPRENTISSAGE » avec ses 7 modules .....	124
Figure 100 : 4 Exemples du contenu du chapitre « APPRENTISSAGE ».....	124
Figure 101 : 4 exemples du contenu du chapitre « RÈGLES DE L'ECG » .....	125
Figure 102 : L'algorithme final de l'onde P .....	126
Figure 103 : L'algorithme final du complexe QRS .....	126
Figure 104 : Training N° 15 : cas clinique sur l'hyperkaliémie menaçante .....	127
Figure 105 : Training N° 40 : cas clinique sur l'embolie pulmonaire .....	127
Figure 106 : Chapitre « ÉVALUATION » avec liste déroulante et 3 exemples de tracés ECG .....	128
Figure 107 : Le déroulement de l'évaluation 1 ou pré-test.....	130
Figure 108 : Le déroulement de la formation à l'utilisation de l'application via le code QR132	
Figure 109 : Le schéma de l'étude.....	134
Figure 110 : Répartition des internes selon le sexe.....	137
Figure 111 : Répartition des internes selon leur affectation actuelle.....	138
Figure 112 : Disponibilité d'un ECG au service d'affectation .....	139
Figure 113 : Taux de disponibilité de l'ECG en fonction de l'affectation des internes .....	140
Figure 114 : Raisons de la non réalisation d'un ECG par les internes .....	141
Figure 115 : Raisons de la non réalisation de l'ECG en fonction de l'affectation des internes .....	142
Figure 116 : Nécessité de réaliser un ECG .....	143
Figure 117 : Formation antérieure satisfaisante à l'interprétation d'un ECG.....	143
Figure 118 : Formation suivie antérieurement par les internes.....	144
Figure 119 : Types de formations suivies antérieurement par les internes.....	145
Figure 120 : Fréquence de la réalisation d'un ECG par les internes .....	146
Figure 121 : Fréquence de la réalisation de l'ECG par les internes en fonction de l'affectation .....	147
Figure 122 : Causes de la non réalisation d'un ECG par les internes.....	148
Figure 123 : Motifs de réalisation d'un ECG par les internes .....	149
Figure 124 : Aptitude des internes à l'interprétation d'un ECG.....	150
Figure 125 : L'intérêt des internes à participer à une formation.....	150
Figure 126 : Les types de la formation demandés par les internes .....	151
Figure 127 : Répartition des médecins généralistes selon le sexe .....	152
Figure 128 : Les tranches d'âge des médecins généralistes.....	153

Figure 129 : Les wilayas où exercent les médecins généralistes interrogés .....	154
Figure 130 : Possession des médecins généralistes d'électrocardiographes.....	155
Figure 131: Raisons de la non réalisation d'un ECG par les médecins généralistes .....	156
Figure 132 : Analyse croisée : influence du lieu d'exercice sur la possession des médecins généralistes d'électrocardiographes .....	157
Figure 133 : Formation jugée satisfaisante par les médecins généralistes à l'interprétation d'un ECG .....	158
Figure 134 : Formation suivie antérieurement par les médecins généralistes interrogés .....	159
Figure 135 : Types de formations suivies antérieurement par les médecins généralistes interrogés.....	160
Figure 136 : Analyse croisée : Influence de la tranche d'âge sur les formations suivies antérieurement par les médecins généralistes .....	161
Figure 137 : Fréquence de réalisation d'un ECG par les médecins généralistes interrogés ..	162
Figure 138 : Causes de la non réalisation d'un ECG par les médecins généralistes interrogés .....	163
Figure 139 : Les motifs de réalisation d'un ECG par les médecins généralistes interrogés..	164
Figure 140 : Aptitude à l'interprétation d'un ECG par les médecins généralistes interrogés	164
Figure 141: Aptitude à l'interprétation d'un ECG par tranches d'âge chez les médecins généralistes interrogés.....	165
Figure 142 : Les types de formations souhaitées par les médecins généralistes interrogés ..	166
Figure 143 : Box-plot représentant les scores des deux groupes A et B lors de l'évaluation 1 .....	168
Figure 144 : Répartition selon le sexe des 2 groupes A et B .....	169
Figure 145 : Box-plot : description de la progression des deux groupes A et B au cours des différentes évaluations .....	173
Figure 146 : Box-plot représentant les scores des deux groupes A et B lors de l'évaluation avec utilisation de l'application .....	174
Figure 147 : Box-plot représentant les scores des deux groupes A et B lors de l'évaluation post-formation.....	175
Figure 148 : Courbe démontrant la progression des scores entre les 3 évaluations .....	178
Figure 149 : L'évolution des scores en intragroupe et en intergroupe .....	179
Figure 150 : Courbes comparant la progression des deux groupes A et B lors des 3 évaluations .....	180

Figure 151 : Photo prise lors de la présentation de l'application lors de la visite ministérielle  
.....208

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I : La répartition selon l'âge des médecins généralistes.....	152
Tableau II : Les lieux d'exercice des médecins généralistes .....	153
Tableau III : Analyse croisée portant sur l'influence du lieu d'exercice sur la possession d'un électrocardiographe.....	157
Tableau IV : Analyse croisée : comparaison de l'autonomie entre les deux tranches d'âge.	165
Tableau V : Résultats statistiques des groupes A et B lors de l'évaluation 1.....	167
Tableau VI : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 1 et 2 dans le groupe A.....	169
Tableau VII : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 2 et 3 dans le groupe A.....	170
Tableau VIII : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 1 et 3 dans le groupe A.....	170
Tableau IX : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 1 et 2 dans le groupe B.....	171
Tableau X : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 2 et 3 dans le groupe B.....	171
Tableau XI : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 1 et 3 dans le groupe B.....	172
Tableau XII : Analyse comparative entre le groupe A et B lors de l'évaluation avec utilisation de l'application.....	173
Tableau XIII : Analyse comparative entre le groupe A et B lors de l'évaluation post-formation.....	175
Tableau XIV : Analyse globale des 3 évaluations .....	176
Tableau XV : Analyse comparative entre les évaluations 1 et 2 .....	176
Tableau XVI : Analyse comparative entre les évaluations 2 et 3 .....	177
Tableau XVII : Analyse comparative entre les évaluations 1 et 3.....	177



# **1 INTRODUCTION GÉNÉRALE**



### 1. INTRODUCTION GENERALE

Les maladies cardiovasculaires sont la première cause de mortalité dans le monde. On estime à 17.7 millions le nombre de décès imputables aux maladies cardio-vasculaires, soit 31% de la mortalité mondiale totale. Parmi ces décès, 7.4 millions d'entre eux sont dus à une cardiopathie coronarienne, l'OMS estime que d'ici 2030, les maladies cardiovasculaires augmenteraient de 3% [1].

La DREES (Direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques) a établi la liste des motifs de consultations en médecine générale, 25% d'entre-deux, tout âge confondu, sont consacrés aux maladies cardio-vasculaires. Ces chiffres soulignent l'intérêt d'un diagnostic et d'une prise en charge précoces [2].

L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), l'HAS (Haute Autorité de Santé) et l'ESC (European Society of cardiology) recommandent un ECG de repos dans le bilan initial de l'HTA et de la douleur thoracique aiguë. Cette dernière est une urgence dans laquelle la réalisation d'un ECG dans les plus brefs délais s'avère indispensable pour le diagnostic [3].

Ainsi l'ECG est devenu un outil incontournable pour le diagnostic, la prise en charge des maladies cardiovasculaires ainsi que dans la prescription et le suivi de divers traitements comme les neuroleptiques [1, 3].

Récemment, en 2024, une étude japonaise parue dans le JAMA a souligné l'intérêt de l'ECG dans le dépistage des facteurs de morbi-mortalité. En effet cette série réalisée à l'échelle nationale du pays a concerné une cohorte, incluant plus de 3,5 millions d'adultes japonais en âge de travailler. Les auteurs ont montré que les anomalies de l'ECG de repos étaient associées à une incidence accrue de décès global et d'hospitalisation liée aux maladies cardiovasculaires. Elles étaient également associées de manière indépendante à une incidence accrue de développement d'une nouvelle anomalie majeure de l'ECG. Ces résultats confirment clairement que l'ECG peut aider à identifier les sujets à haut risque de développer des événements cardiovasculaires, et montrent sa pertinence dans la prévention cardiovasculaire [4].

L'ECG est certainement l'examen le plus prescrit dans le contexte de l'urgence. Il est indispensable à la prise en charge des patients, bien au-delà des seules pathologies cardiovasculaires. Devenu incontournable en médecine d'urgence, l'ECG constitue l'examen complémentaire le plus utilisé [5].

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

En l'absence d'ECG, il y aurait 3 tendances : la majoration du taux de transfert des patients (notamment avec un caractère urgent) d'un établissement vers un autre, l'augmentation de la réalisation d'examen complémentaires et la réduction de la prescription thérapeutique et par conséquent, la limitation de l'autonomie d'un médecin dans sa pratique en soins primaires [5]. La réalisation d'un ECG a amélioré la prise en charge des patients dans 84% des cas, permettant de limiter les hospitalisations, les transports médicalisés, les consultations chez le cardiologue et surtout de limiter la perte de chance pour le patient et améliorer son pronostic [6].

Le médecin assurant les soins de premier recours doit prendre des décisions dans un délai court et avec des moyens diagnostiques limités générant un risque pour le patient.

L'ECG a l'avantage d'être rapide ne prenant que quelques minutes, simple à réaliser, peu onéreux, indolore et non invasif, dénué de tout danger et disponible dans les urgences.

Cependant, son interprétation reste complexe. Elle requiert une certaine expérience du clinicien, et constitue une source de difficulté et de stress pour les étudiants, les internes, et les médecins généralistes, limitant amplement son analyse.

Pour les étudiants en formation, plusieurs raisons rendent l'analyse de l'ECG une source potentielle d'erreur dans certains diagnostics et conduites thérapeutiques.

La première est due à la qualité de l'interprétation automatisée souvent insuffisante.

La seconde et la plus importante est consécutive au manque de pratique et d'entraînement régulier dans l'interprétation de l'ECG. Le nombre moyen d'ECG interprétés nécessaire pour acquérir une compétence initiale serait de 100 ECG [7].

L'American college of cardiology (ACC) et l'american heart association (AHA) recommandent, l'interprétation supervisée de 500 ECG minimum pendant la formation initiale, et de 100 ECG par an pour maintenir cette compétence [8].

Ce concept n'est pas appliqué dans notre pays. En effet, la formation à l'interprétation de l'ECG est insuffisante se limitant à des cours magistraux.

Le constat est le même au CHU de Mostaganem, les cours magistraux, les travaux pratiques et les ateliers, ont un effet limité sur les compétences des étudiants sur cette question.

Ceci est expliqué par :

- ⇒ Le cours magistral et les TP sont proposés lors des premières années des études médicales, où l'étudiant n'est pas encore impliqué dans la prise en charge des patients, ce qui le rend peu sensible à l'intérêt de ces cours.

⇒ L'absence de continuité dans ces formations le long des années d'études, expose l'étudiant à l'oubli.

⇒ Enfin, les formations proposées ainsi que les ateliers pratiques restent aléatoires, non obligatoires et manquent d'objectifs fixes adaptés au niveau de l'étudiant.

Tous ces facteurs réunis, expliquent les difficultés de l'étudiant et du médecin face à l'interprétation et l'optimisation de l'ECG.

C'est dans cette optique que nous avons conçu un outil informatique d'aide à l'apprentissage et l'interprétation de l'ECG.

Cet outil a fait appel aux nouvelles avancées en informatique et en intelligence artificielle.

Notre question de recherche a été formulée selon les critères de PICO (Sackett et al., 2000) :

- **P** = Patient/problème : étudiants en médecine,
- **I** = Intervention : le nouveau support ou logiciel informatique,
- **C** = **Contrôle** / comparaison (si pertinent) : entre le groupe ayant reçu l'apprentissage par logiciel par rapport à ceux qui n'ont pas bénéficié du programme.
- **O** = **Outcome** : nombre d'ECG correctement interprétés.

Nous avons formulé notre question de recherche de la manière suivante :

« Les étudiants et médecins ayant utilisé le logiciel, ont-ils une meilleure interprétation de l'ECG par rapport aux autres ? »



## **2 PARTIE THÉORIQUE**



### 2.1 DÉFINITIONS

L'Électrocardiogramme abrégé en trois lettres ECG, est un outil important et central en sciences médicales.

Il a été inventé au 18<sup>ième</sup> siècle par Augustus Waller et transposé en clinique par la suite par Willem Einthoven. Ce dernier a reçu en 1924 le prix Nobel de physiologie et de médecine pour l'ensemble de ses travaux [9].

Dans les pays anglo-saxons, l'abréviation utilisée est EKG, en rapport avec l'electrokardiogramme » et en mémoire à Einthoven [10].

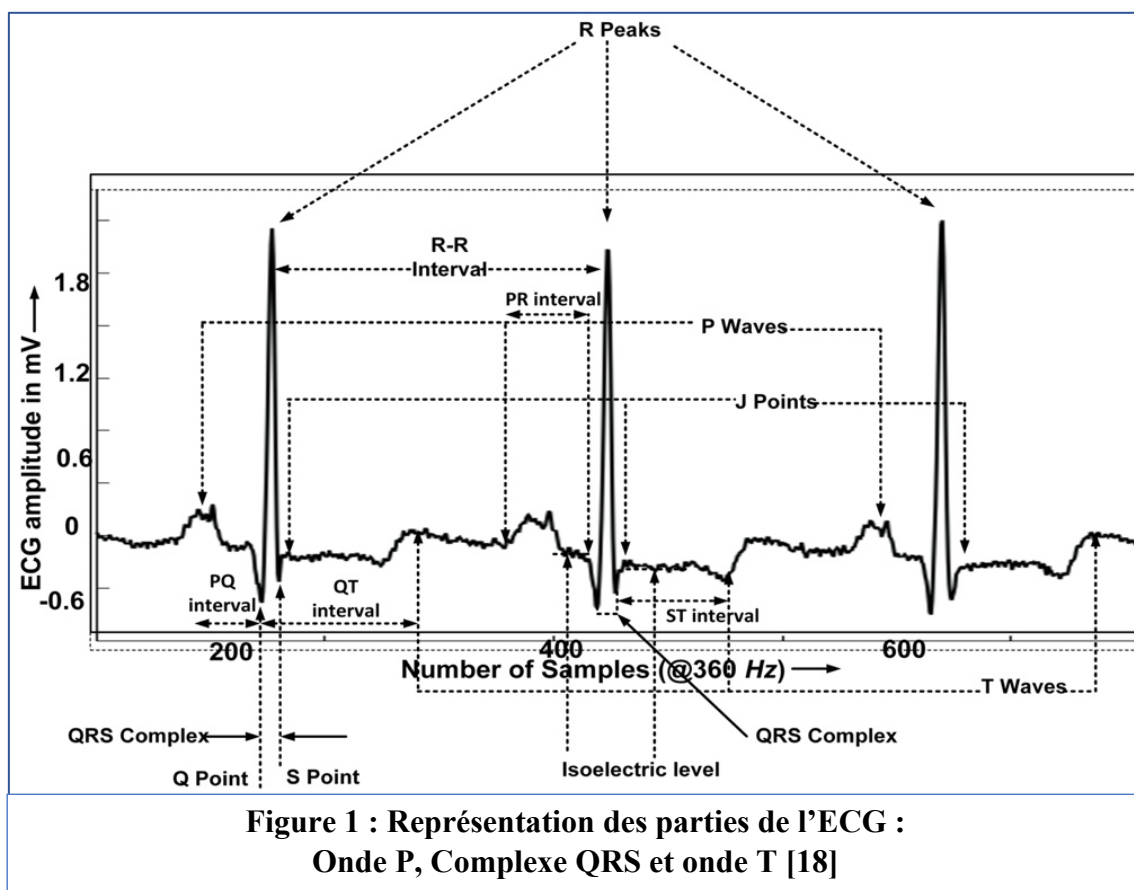
L'électrocardiogramme (ECG) est un tracé obtenu par l'enregistrement et la transcription des courants électriques qui parcourent le cœur au cours de chaque contraction cardiaque. Cet examen classique de la consultation en cardiologie permet de compléter l'examen clinique. Il est souvent associé à d'autres explorations pour permettre l'évaluation du fonctionnement du cœur (par exemple l'échocardiographie) [11].

L'ECG de surface est la traduction sur papier millimétré du signal produit par l'activité électrique du cœur et recueillie par des électrodes cutanées. C'est une représentation graphique du courant électrique créé dans le cœur au cours d'un cycle cardiaque. Cette activité électrique est liée aux variations du potentiel électrique des cellules spécialisées dans la contraction (myocytes) et des cellules spécialisées dans l'automatisme et la conduction des influx [11].

L'enregistrement successif de la dépolarisation et de la repolarisation auriculaire puis de la dépolarisation et de la repolarisation ventriculaire, suivies d'un repos électrique vont entraîner des déflexions et des intervalles. Les mouvements du courant sont subdivisés dans l'ECG en différentes parties désignées chacune par une lettre alphabétique : « P Q R S T » [12,13] (Figure 1).

Chaque battement cardiaque commence par une impulsion provenant du stimulateur du cœur (le nœud sinusal ou sino-atrial). Cette impulsion active les cavités supérieures du cœur (atria). L'onde P correspond à l'activation des atria. Le courant électrique se dirige alors vers les cavités cardiaques inférieures (ventricules). Le complexe QRS correspond à l'activation des ventricules. Le courant électrique se propage alors sur les ventricules en sens opposé. Cette activité est appelée onde de repolarisation, représentée par l'onde T [12].

## PARTIE THÉORIQUE



Alors que de nombreuses techniques d'explorations ont été abandonnées, l'ECG demeure, en dépit de ces limitations, une méthode d'exploration cardiologique irremplaçable et un outil quotidien procurant des informations précieuses sur la fonction et la structure du cœur [13]. Incontournable, cet examen banal, indolore et sans danger, est réalisé avant même un test d'effort, une échographie du cœur ou une étude électrophysiologique [13].

Au fil du temps, les signes électrocardiographiques et les variations morphologiques ont été comparés aux données cliniques, électrophysiologiques, échographiques, isotopiques et anatomopathologiques confirmant son utilité diagnostique. Une multitude d'anomalies est observée sur l'ECG [14].

Plusieurs signes cliniques comme la douleur thoracique, la dyspnée et les palpitations, doivent bénéficier d'un électrocardiogramme qui est la première exploration réalisée après l'interrogatoire et l'examen physique. Il est pratiqué de manière quasi systématique lors d'une consultation de cardiologie. Il occupe une place importante dans les examens complémentaires pratiqués aux urgences et en soins intensifs [1,2].

Les principales raisons justifiant la réalisation d'un ECG sont [1,2,3] :

- Dépister des troubles de rythme cardiaque ou de la conduction en cas de : palpitations, malaise, perte de conscience, ou antécédent familial de mort subite.
- Détecter une hypertrophie des cavités cardiaques.
- Poser le diagnostic d'une ischémie myocardique.
- Suspecter le diagnostic d'une péricardite.
- Rechercher les signes en faveur de déséquilibres électrolytiques, de maladie pulmonaire, de prise médicamenteuse et de dysrégulations thermiques ...
- La surveillance du fonctionnement d'un Pacemaker ou d'un défibrillateur implantable.
- Dépister les cardiopathies chez les personnes à risque de maladies cardio-vasculaires.
- Faire le Screening de maladies génétiques cardiaques par exemple le syndrome de Brugada (risque de mort subite).
- Évaluer la fonction cardiaque avant la pratique d'une activité sportive.
- Rechercher systématiquement une atteinte cardiaque devant une pathologie cérébrale aiguë comme une hémorragie méningée.

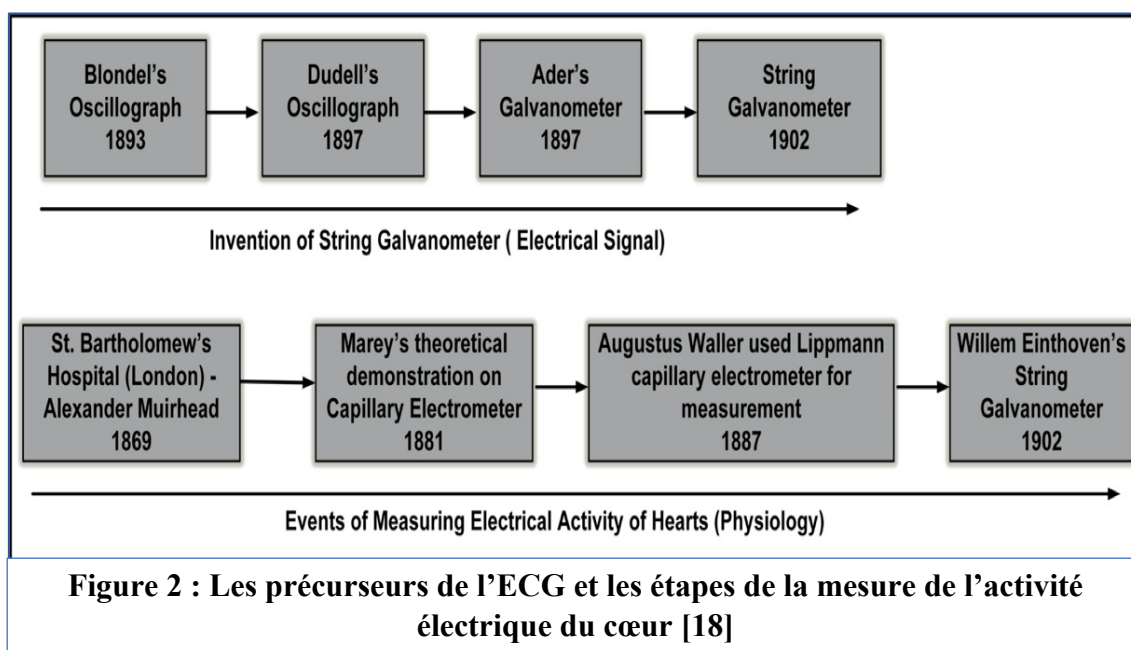
Les techniques d'enregistrement et la lecture du tracé doivent être rigoureuses, en appliquant toujours la règle « qu'un ECG normal n'est pas synonyme de cœur normal ». En effet, certaines cardiopathies ne modifient pas le tracé électrique, et à l'inverse de nombreuses pathologies extracardiaques peuvent engendrer des modifications électrocardiographiques [15].

Les aspects des variations normales et anormales de l'ECG doivent être connus pour effectuer une interprétation satisfaisante des tracés. Les données de l'ECG doivent être systématiquement intégrées aux éléments de l'interrogatoire et de l'examen clinique afin de pouvoir poser un diagnostic et permettre une prescription thérapeutique adéquate [15].

### 2.2 HISTOIRE DE L'ECG

L'ECG, outil clinique de grande utilité est né dans la dernière moitié du dix-neuvième siècle et s'est rapidement développé au tout début du vingtième siècle. En effet c'est dans les années 40 que l'ECG standard 12-dérivations a pris l'aspect qu'on connaît actuellement [18].

Dans cette partie, nous avons abordé l'histoire de l'ECG depuis les premiers essais jusqu'à aujourd'hui (Figure 2).

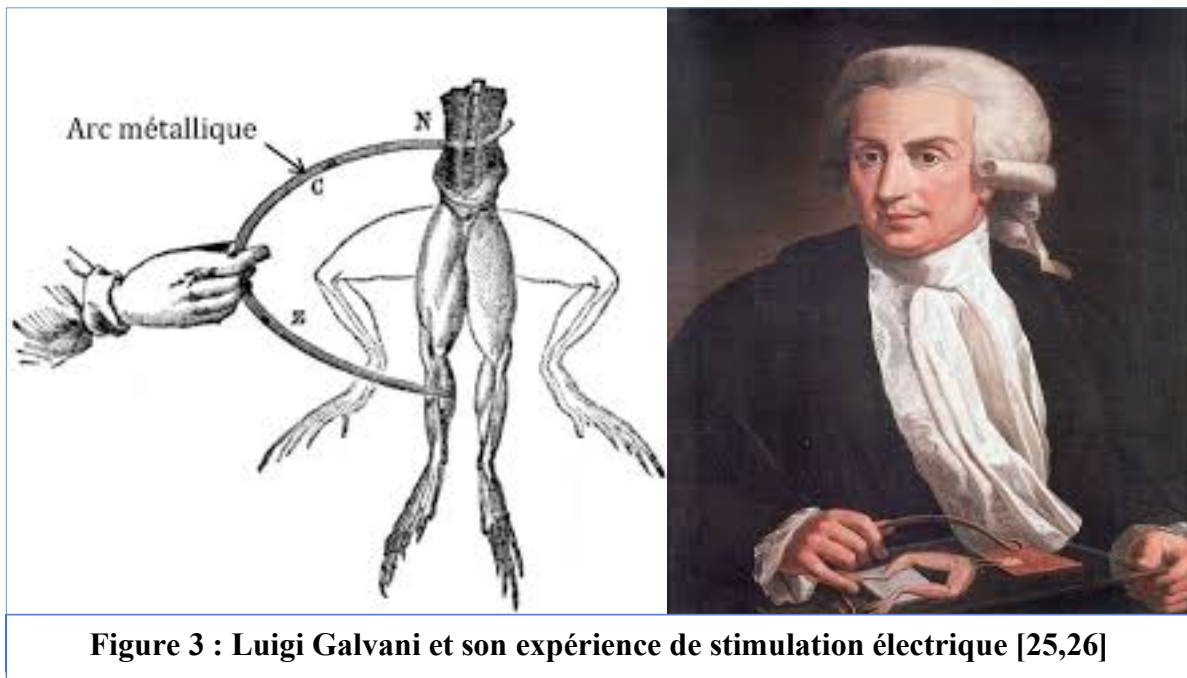


Durant le dix-neuvième siècle, on s'intéressa beaucoup au rôle joué par l'activité électrique corporelle, et les bases électriques de la contraction des muscles squelettiques furent bien mises en évidence.

#### 2.2.1 Le principe de la pile électrique

En 1790, Luigi Galvani a fait danser les membres inférieurs d'une grenouille par stimulation électrique, il avait démontré que la fermeture d'un circuit connectant des métaux différents (zinc et cuivre) aux membres inférieurs d'une grenouille récemment tuée crée un courant électrique de stimulation, définissant ainsi le principe de la pile électrique [16] (Figure 3).

Il était donc facile de montrer que le muscle gastrocnémien de la grenouille se contractait lorsque le nerf sciatique avec lequel il était connecté était électriquement stimulé.



**Figure 3 : Luigi Galvani et son expérience de stimulation électrique [25,26]**

En menant des recherches fondamentales aux alentours de 1855, deux chercheurs allemands, Rudolph Von Köllicker et Heinrich Müller permirent au nerf sciatique d'une grenouille d'entrer fortuitement en contact avec un cœur battant à thorax ouvert d'une autre grenouille. Ils notèrent que le muscle gastrocnémien relié au nerf sciatique se contractait de façon synchronisée avec les contractions du cœur extériorisé, démontrant pour la première fois que la naissance d'un battement cardiaque avait également pour base une activité électrique [12] (Figure 4).

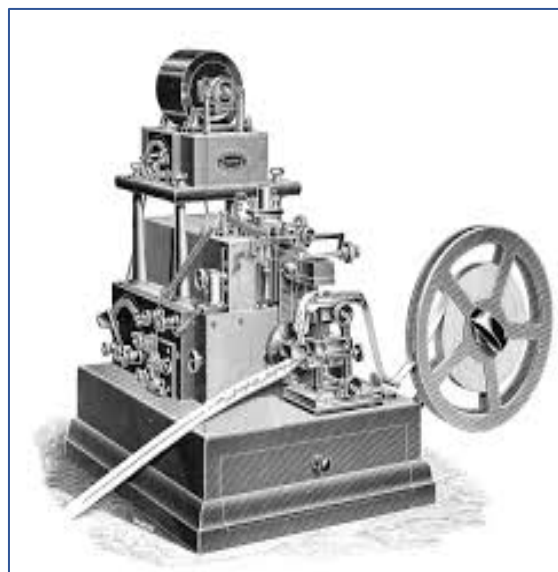
« Le même stimulus électrique faisant contracter une patte de grenouille doit faire battre le cœur ». Ils ont donc pensé logiquement que le battement cardiaque était dû à une décharge rythmique d'un stimulus électrique. Ainsi, une association entre le pompage rythmique du cœur et un phénomène électrique fut scientifiquement établie. Notion de base très importante [10].

## PARTIE THÉORIQUE



**Figure 4 : Rudolph Von Köllicker et son expérience de stimulation électrique [26 ,10]**

Une multitude d'appareils a vu le jour au dix-neuvième siècle permettant de mesurer des variations de courants électriques de faible intensité, tous consistant en matériels (quelle que soit la méthodologie utilisée) capables de mouvement avec les variations d'intensité du courant électrique, ce mouvement pouvant être enregistré sur une bande de papier appropriée. Un appareil appelé « siphon enregistreur » de Thompson fut utilisé par l'ingénieur électrique Alexander Muirhead, qui travaillait à l'hôpital Saint Bartholomew de Londres, pour enregistrer le premier ECG chez l'homme vers 1870 [12] (Figure 5).



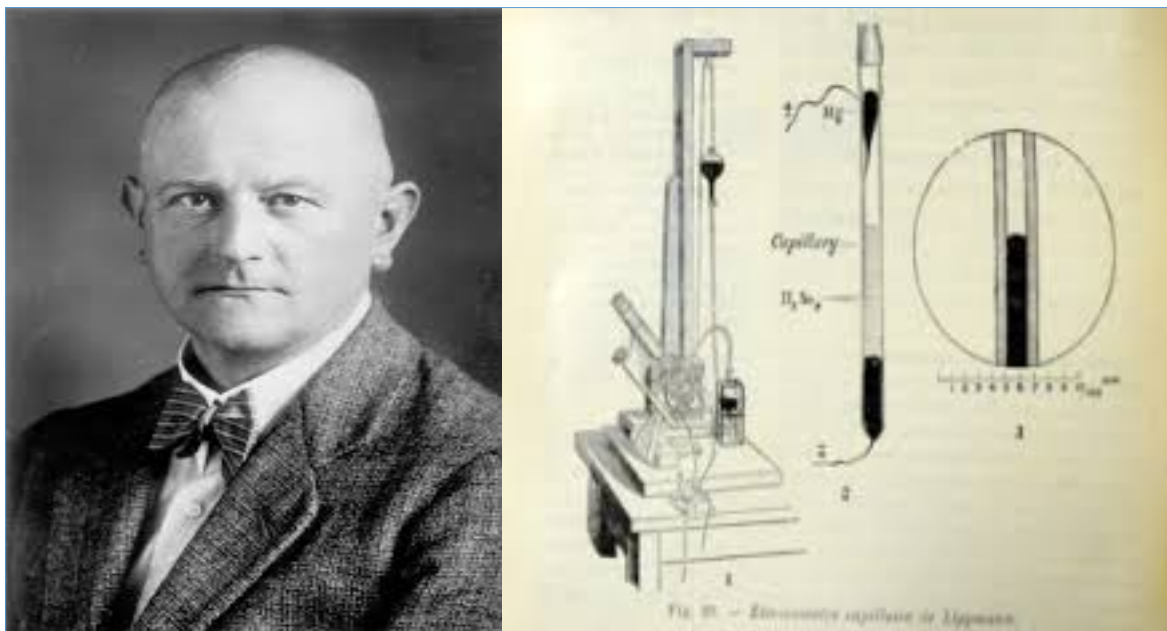
**Figure 5 : Le siphon enregistreur [18]**

### 2.2.2 L'électromètre capillaire

Vers le milieu des années 1880, en utilisant un « électromètre capillaire », Ludwig et Waller ont découvert que l'on pouvait surveiller les stimulus électriques rythmiques du cœur à partir de la peau d'un sujet [11,12] (Figure 6).

L'électromètre capillaire a été inventé par Gabriel Lippman au début des années 1870. Dans cet appareil, une colonne de mercure était placée en contact électrique avec le corps humain avec des électrodes réceptrices placées sur la peau d'un homme et les variations d'intensité du courant électrique pouvaient entraîner une dilatation ou une rétraction de la colonne de mercure. Les modifications de la colonne de mercure étaient amplifiées et projetées sur un papier photographique, ce qui en permettait l'enregistrement [16].

Cet appareil était un peu trop complexe pour être utilisé en clinique, voire même pour une exploitation économique, mais il était très intéressant. Ce résultat capital a ouvert la porte à l'enregistrement de l'activité cardiaque à partir de la surface cutanée [16].



**Figure 6 : illustration de Ludwig et son électromètre capillaire [26 ,18]**

L'étape suivante du développement de l'ECG fut l'invention d'un système permettant d'enregistrer l'activité électrique du cœur.

## PARTIE THÉORIQUE

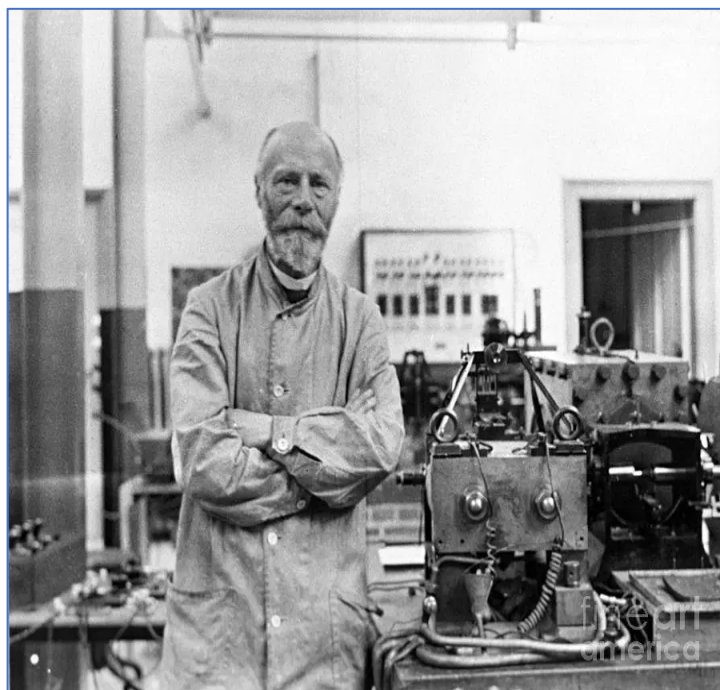
En 1878, deux physiologistes britanniques, John Burdon Sanderson et Fredrick Page, avaient montré que les enregistrements de l'activité électrique du cœur de grenouille se déroulaient en deux phases. Ces phases furent dénommées par la suite complexe QRS et onde T [17].

Bien qu'Alexander Muirhead ait été le premier à enregistrer un ECG humain, le premier à le publier (en 1887) fut Augustus D Waller. Alors qu'il travaillait à l'hôpital Saint Mary de Londres, Waller utilisa un électromètre capillaire pour enregistrer l'ECG d'un technicien de laboratoire, Thomas Goswell [18].

### 2.2.3 Le galvanomètre à corde

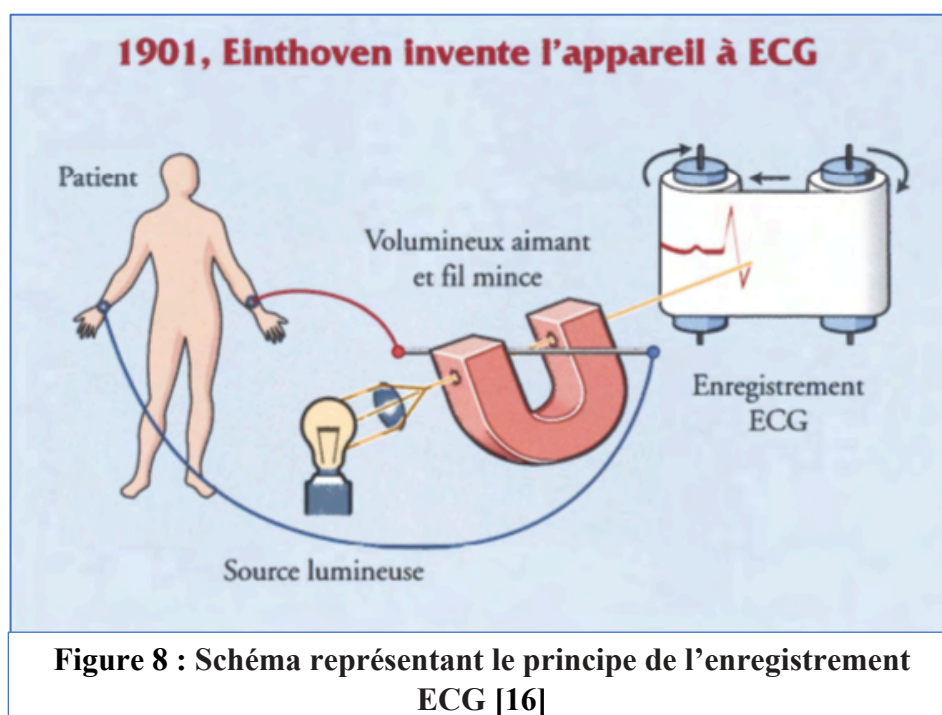
Le brillant physiologiste hollandais Willem Einthoven, né le 21 mai 1860, sur l'île de Java (actuelle Indonésie), a permis le développement de l'ECG. Ainsi en assistant à la démonstration de Waller au Premier Congrès International de Physiologie en Suisse en 1889, qu'il entreprit d'affiner la technique de l'enregistrement de l'ECG [18] (Figure 7).

Einthoven travailla d'arrache-pied pour améliorer l'enregistrement de l'ECG en inventant le galvanomètre à corde [18].



**Figure 7 : Willem Einthoven et son premier galvanomètre à corde [26]**

C'est grâce à l'invention du galvanomètre à corde par Einthoven que l'enregistrement de l'ECG de haute qualité était devenu possible. Le galvanomètre à corde d'Einthoven consistait en un mince filament de quartz, recouvert d'argent, tendu entre les pôles d'un aimant. Le filament était fabriqué en plongeant une flèche dans du verre en fusion puis en la lançant à travers le laboratoire pour étirer le verre en un filament extrêmement fin. Deux capteurs cutanés (électrodes) placés sur un homme furent ensuite connectés aux extrémités du fil recouvert d'argent, qui passait entre les deux pôles de l'aimant [19] (Figure 8).



Les variations d'intensité du courant faisaient vibrer le fil qui était recouvert d'argent (dans le champ magnétique) tressautait au rythme de la fréquence cardiaque du sujet, dont les mouvements étaient amplifiés et enregistrés sur un papier photographique. Ce résultat était très intéressant, mais Einthoven souhaitait améliorer cette invention [16].

## PARTIE THÉORIQUE



**Figure 9 : Démonstration d'une expérience à la Royal Society par Jimmie, le chien de Waller et le premier électrocardiographe. [27]**

Le galvanomètre à corde d'Einthoven, en dépit de sa sensibilité, était un appareil volumineux pesant 270 Kg et encombrant, il remplissait deux pièces, les électroaimants avaient tendance à surchauffer, et les sujets chez qui l'ECG était enregistré devaient rester assis avec mains et pieds plongés dans une solution saline. Il nécessitait cinq personnes pour sa réalisation. Son prototype ne pouvait pas vraiment être décrit comme pratique. Néanmoins, l'utilité clinique de ce matériel devint rapidement évidente, et un câble téléphonique était tendu pour connecter l'appareil dans le laboratoire d'Einthoven avec l'hôpital local distant d'un kilomètre [12] (Figure 9).

Pour ce faire, Einthoven a projeté un fin faisceau de lumière à travers des trous passant dans les pôles de l'aimant et coupant le fil argenté en mouvement. Les mouvements rythmiques du fil (correspondant aux battements cardiaques) créaient une ombre bondissante. Les déplacements rythmiques du fil étaient enregistrés sous forme d'une série rythmique d'ondes distinctes, survenant en cycles répétés (appelées P, QRS et T) sur un rouleau de papier photographique en mouvement [10] (Figure 10).

C'est ainsi qu'en 1901 est né un grand outil diagnostic « l'électrocardiogramme ».

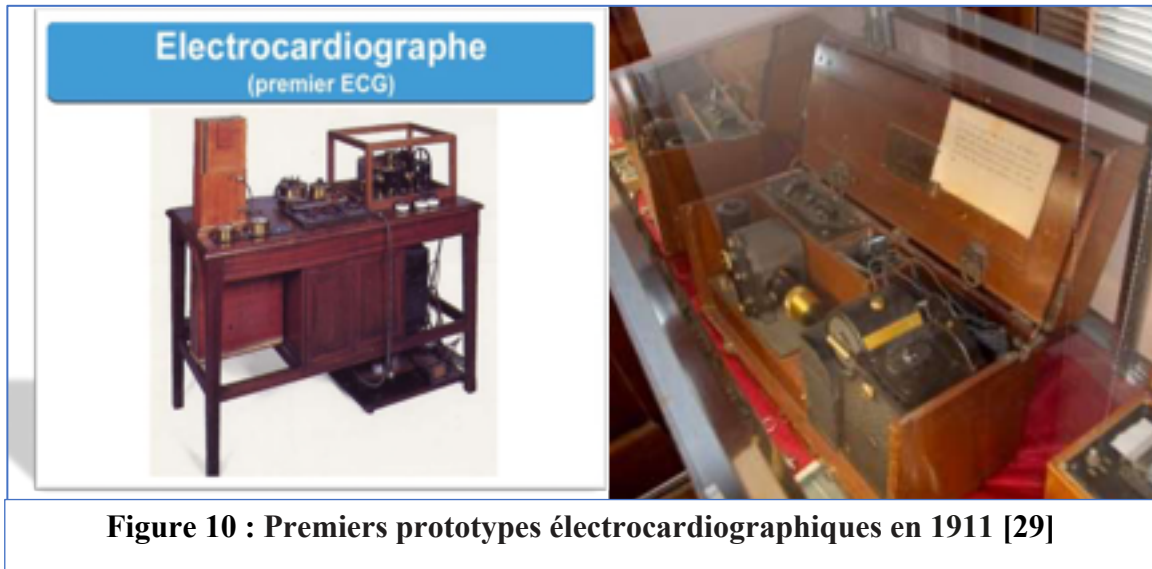


Figure 10 : Premiers prototypes électrocardiographiques en 1911 [29]

#### 2.2.4 Nomenclature ECG

Lors des premiers enregistrements, Waller nomma les ondes qu'il avait observées ABCD (on ne connaissait que quatre déflexions à cette époque). Des techniques mathématiques (utilisant différentes équations) ont été par la suite utilisées pour améliorer la qualité des enregistrements ECG [18].

Traditionnellement, le système de notation mathématique utilisait les lettres de la deuxième moitié de l'alphabet. Les lignes courbes étaient traditionnellement étiquetées en partant de la lettre P et les lignes droites à partir de la lettre Q. C'est de cela que découle la désignation de PQRST des déflexions de l'ECG désormais familière et utilisée pour la première fois par Einthoven [18] (Figure 11).

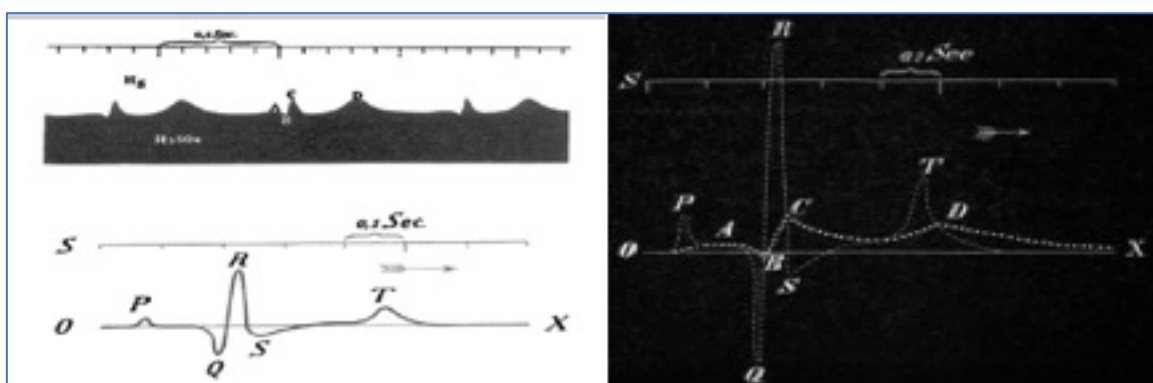


Figure 11 : Premiers tracés ECG par Einthoven : déflexions P, Q, R, S et T imposées aux déflexions précédemment connues A, B, C et D [18]

## PARTIE THÉORIQUE

L'usage des dérivations thoraciques a été décrit pour la première fois au cours des années 1930 [20].

La conférence internationale transatlantique de 1938 a fixé la position des dérivations précordiales V1 à V6. A la même époque Frank Wilson inventa « l'électrode indifférente » (également connue sous le terme « terminal central de Wilson ») qui permis le développement des dérivations « unipolaires » des membres VR, VL et VF (la lettre « V » signifiant « voltage ») [20].

En 1942, le cardiologue américain Emanuel Goldberger augmenta le voltage de ces dérivations de 50 %, créant ainsi le terme de « dérivations majorées » (aVR, aVL et aVF) [21].

Cette nouvelle étape a été capitale et majeure dans l'invention de l'ECG 12-dérivations désormais familier. Depuis, cet examen a pris forme, et sa présentation est restée pratiquement inchangée [21].

### 2.2.5 Développement commercial des appareils ECG

Moins d'une décennie après la publication d'Einthoven sur les premiers enregistrements ECG, un appareil ECG commercialisé à partir de son invention était disponible. Einthoven avait travaillé avec la Cambridge Scientific Instrument Company pour affiner son invention et produire un appareil ECG commercialisable. Il s'attela à transformer l'énorme galvanomètre à corde en un moniteur portable en milieu hospitalier [18].

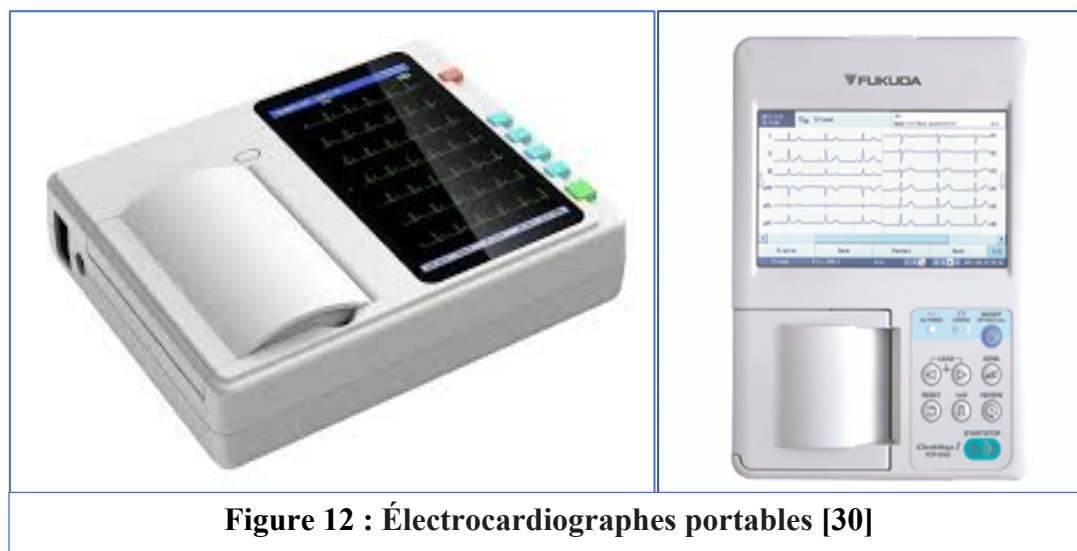
La toute première version de la machine d'Einthoven, de taille plus réduite, fut lancée en 1908. Une version de la taille d'une table fut développée par la suite, et le premier de ces appareils fut fourni à sir Thomas Lewis (qui lui-même jouera un rôle majeur dans le développement des applications cliniques de l'électrocardiographie). Ce n'est qu'en 1926 qu'un appareil ECG portable fut commercialisé. Il avait pesé 36 kg, c'était un matériel encore encombrant, mais son invention a représenté une étape majeure vers une plus grande disponibilité des enregistreurs d'ECG [22].

### 2.2.6 Surveillance ambulatoire de l'ECG

Le « monitoring » ambulatoire de l'ECG est une avancée importante et inestimable pour un diagnostic précoce quel que soit le moment et la situation. Il peut ainsi détecter et analyser des anomalies occasionnelles qui ne se produisent pas forcément durant la consultation médicale [23].

Son invention a vu le jour grâce au travail de Norman J Holter. L'enregistrement ambulatoire est souvent appelé « Holter » en reconnaissance à cette contribution essentielle au développement de ce champ d'investigations. Dans le courant des années 1950, il décrit la technique de « radioélectrocardiographie », qui permettait de transmettre un enregistrement ECG par télémétrie à partir d'un transmetteur porté par le patient, jusqu'à une station centrale [23].

Le matériel initial pesait 38,5 kg et était porté comme un sac à dos ! La technique s'affina et l'équipement s'avéra plus confortable. La possibilité d'enregistrer le signal ECG pendant 24 a été possible en intégrant une bande enregistreuse incorporée à l'appareil porté par le patient. Au cours de ces dernières années nous assistons à une miniaturisation plus poussée des dispositifs portables miniaturisés [23] (Figure 12).



Depuis la commercialisation des électrocardiographes en 1911, les experts et les Sociétés savantes américaines ont proposé des définitions pour les valeurs normales des paramètres électrophysiologiques de la contraction cardiaque (la fréquence des battements, l'axe du cœur et l'intervalle QT) et les critères pour le diagnostic d'anomalies type, bloc de branche, fibrillation atriale, hypertrophie et ischémie du myocarde [30].

## PARTIE THÉORIQUE

### 2.2.7 Les montres ECG connectées : une révolution en rythmologie

Dans certaines situations cliniques, la réalisation de plusieurs Holvers ne permet pas de poser le diagnostic. L'avènement de montres connectées a permis de détecter les arythmies paroxystiques, mais aussi d'effectuer des électrocardiogrammes de bonne qualité.

Le patient peut alors faire un tracé ECG et l'envoyer à son cardiologue en format PDF, afin de l'analyser [24] (Figure 13).

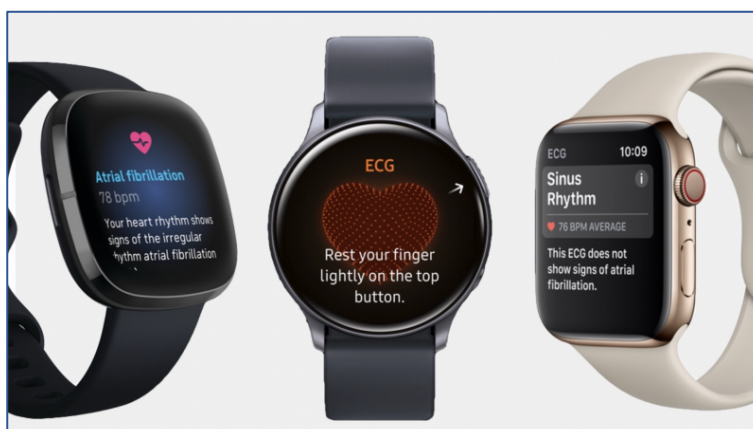


Figure 13 : Les montres ECG connectées [24]

## 2.3 ECG ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'intelligence artificielle (IA), est un ensemble d'algorithmes conférant à une machine des capacités d'analyse et de décision lui permettant de s'adapter intelligemment aux situations en faisant des prédictions à partir de données déjà acquises. Les difficultés rencontrées pendant l'interprétation de l'ECG ont poussé les fabricants d'électrocardiographes à concevoir des algorithmes. Ces derniers transformés en logiciels (*software*) ont été intégrés dans la machine ECG [24].

Ces “built-in algorithms” sont capables de mesurer automatiquement les paramètres électrophysiologiques de la contraction cardiaque et d'identifier les troubles de l'automatisme, de la conduction et certaines maladies du muscle [24].

Grâce à un travail considérable, ces softwares ont obtenu une autorisation de mise sur le marché en Europe (UE) et aux États-Unis (FDA). Ils ont été très peu étudiés ou comparés. L'interprétation qu'ils prodiguent est qualifiée d'insuffisante par rapport aux performances humaines notamment dans les situations d'urgence ou en cas de tracés complexes, bref là où leur intérêt devient plus important [24].

L'utilisation de l'interprétation automatique s'est répandue dans le domaine médical. La plupart des électrocardiographes intègrent désormais cette option. En effet, ces dispositifs intègrent un logiciel dédié à l'analyse des tracés ECG afin de fournir une aide à l'analyse aux professionnels de santé.

Ce programme automatique est basé sur des critères spécifiques :

- La fréquence cardiaque.
- Le rythme, et le cas échéant les troubles du rythme.
- La durée des ondes P, PR, QRS et QT.
- Les axes électriques des dérivations distales et précordiales.
- La description des signes exceptionnels et anormaux de chaque segment du tracé.

Cette fonctionnalité met en lumière les mesures nécessitant une attention particulière et fournit des indications pour l'analyse. Certains systèmes d'interprétation intègrent également **les critères de Seattle** pour l'examen de sportifs réguliers. Établis par un consensus d'experts internationaux à Seattle, ces critères définissent les normes d'interprétation ECG pour faciliter

## PARTIE THÉORIQUE

la différenciation entre les changements physiologiques et la pathologie cardiaque. En effet, l'entraînement intensif et prolongé en endurance et en résistance entraîne de nombreuses adaptations physiologiques. Le cœur de l'athlète subit naturellement des modifications d'ordre structurel, fonctionnel et électrique, souvent sources de « faux positifs » lors de l'examen [24].

L'interprétation automatique est basée sur le traitement du signal, qui peut être principalement classé en quatre étapes : acquisition du signal ECG, prétraitement du signal ECG, extraction des caractéristiques dans différents domaines et schémas de classification [24].

Les limites de cet apprentissage automatique résident dans le fait que les recherches ont utilisé les bases de données disponibles sur Physionet pour l'acquisition de données qui sont obsolètes. Par exemple, la base de données d'arythmie du MIT-BIH, largement utilisée, a été enregistrée entre 1975 et 1980. Au cours des 40 dernières années, les définitions standards des maladies ont changé en fonction de diverses normes, notamment celles de l'American Heart Association (AHA), de la Société européenne de cardiologie (ESC), etc. L'utilisation des annotations fournies dans la base de données pour comparer les résultats avec les moyens automatiques reste donc légèrement discutable. La nécessité d'inclure les bases de données les plus récentes ou d'améliorer les annotations avec les normes récentes peut conduire à une plus grande précision [24].

L'uniformité des dérivations n'est pas assurée par les méthodes automatiques évoquées. Par exemple, la base de données MIT-BIH sur l'arythmie fournit les dérivations MLII et V5, tandis que d'autres bases de données, comme la PTB, fournissent les données sur 15 dérivations. Certaines méthodes sont testées sur les données à 12 dérivations et d'autres sur les données à 2 dérivations.

Et enfin, l'interprétation automatique n'utilise pas les renseignements des patients (âge, sexe, antécédents médicaux, etc.) fournies avec l'ensemble de données, qui peuvent ajouter des variables supplémentaires pour les classificateurs et conduire à des systèmes plus efficaces. L'exemple sur les conditions démographiques des pays ou des régions qui peuvent varier, c'est pourquoi l'algorithme développé pour diagnostiquer une région spécifique doit être adaptable à ces conditions, ce qui peut être validé en particulier avec la base de données obtenue localement. Les bases de données standards/existantes ne permettent pas de résoudre ce problème [24].

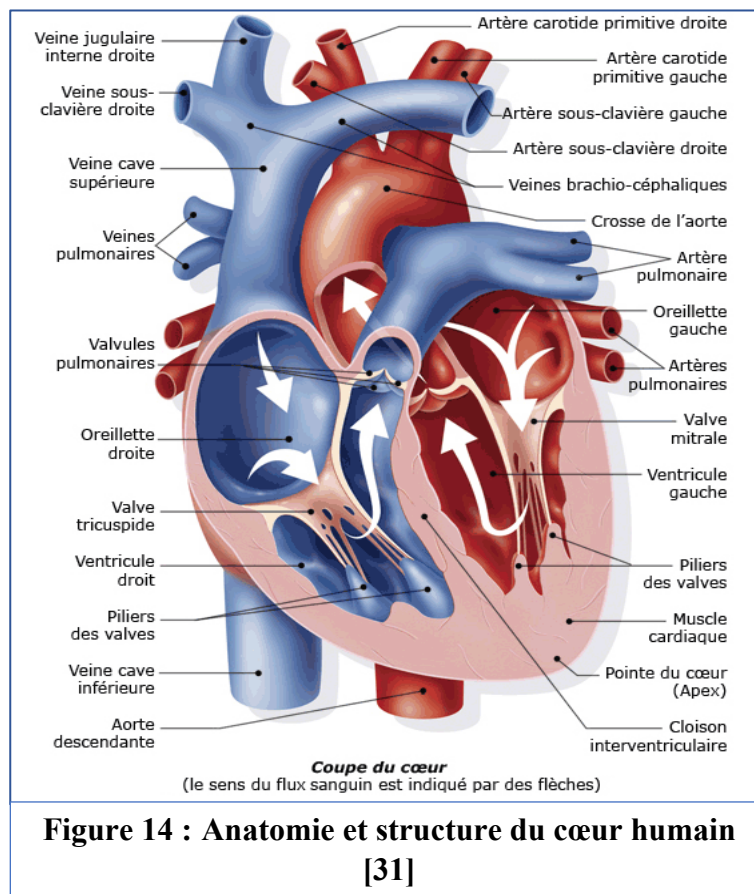
In fine, toutes les interprétations automatiques n'offrent pas le même niveau de performance. Il est donc crucial pour garantir une analyse fiable, précise et la plus juste possible, de fournir des renseignements cliniques du patient qui ont une influence sur l'activité cardiaque.

Les méthodes d'intelligence artificielle (*Artificial Neural Networks; Support Vector Machines; Hidden Markov Models; Kalman Filtering*) qui utilisent le **big data** (banque d'images de taille considérable), le **machine learning** et la puissance de calcul du "**cloud**" surplacent progressivement toutes les méthodes d'interprétations de l'ECG fournies par les constructeurs de software fournis avec l'achat d'une machine qui reposent sur différentes mesures (entre deux points pour la plupart) et la reconnaissance de patterns (*Electrocardiogram Pattern Recognition*) par des algorithmes (softwares de puissance limitée, mal évalués et non mis à jour après la date d'achat) [24].

L'IA permet également d'aller au-delà de ce qui est classiquement visible pour l'homme sur un simple ECG et de proposer des hypothèses sur la survenue d'évènement rythmique ou la détection d'une dysfonction VG, la présence d'une valvulopathie ou une cardiomyopathie hypertrophique, de canalopathies...[24].

## 2.4 ANATOMIE ET STRUCTURE DU CŒUR

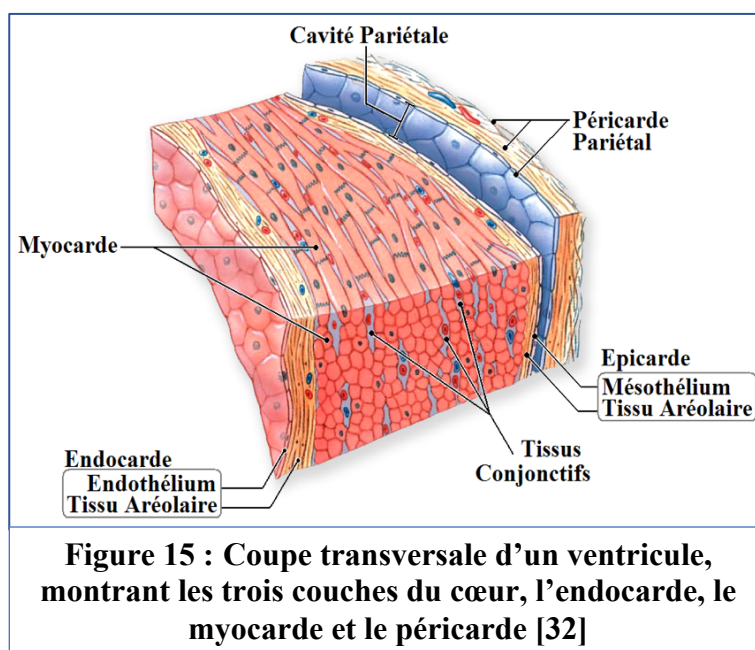
Le cœur humain est un muscle conique, qui se situe dans la cavité thoracique, occupant la partie médiane de la cage thoracique, plus précisément dans le médiastin antéro-inférieur, entre les deux poumons, devant le rachis dorsal et derrière le sternum, il est orienté à gauche et repose sur le diaphragme. Cet organe creux est mû par un muscle qui est le myocarde. Sa taille varie en fonction de la taille du patient, environ 12,5 cm de longueur sur 9 cm de largeur. Son poids varie entre 250 à 350 g, en fonction de plusieurs paramètres (la taille du patient, l'âge, le sexe et la condition physique). Il est plus lourd chez le sportif et plus léger chez le sujet âgé. Il est composé anatomiquement de quatre cavités, deux oreillettes et deux ventricules, recouvertes d'une couche musculaire parsemée de terminaisons nerveuses. L'oreillette et le ventricule gauche sont séparés de l'oreillette et du ventricule droit par un mur musculaire épais : le septum atrio-ventriculaire [31].



Le régime de pression régnant dans les cavités cardiaques explique l'épaisseur de leur paroi. Ainsi la paroi des oreillettes est plutôt mince car il y a un régime de pression faible, se contentant de déverser le sang dans les ventricules. La paroi du ventricule gauche est plus épaisse que celle du ventricule droit. Ceci est expliqué par le fait que le ventricule gauche se contracte contre une

résistance élevée correspondant à la pression systémique régnant dans l'aorte. La chambre du ventricule gauche est également plus spacieuse afin de permettre un volume d'éjection systolique adapté [32].

La paroi cardiaque est constituée de 3 couches ou tuniques, nous distinguons de l'intérieur vers l'extérieur : l'endocarde, le myocarde et le péricarde. Le myocarde est la couche la plus épaisse, se contractant à chaque battement cardiaque. L'endocarde est la tunique interne tapissant les cavités. Et enfin, le péricarde qui entoure le cœur comme une enveloppe protectrice extérieure ; Il est composé de deux feuillets : le péricarde fibreux et le péricarde séreux. Ce dernier comporte une portion pariétale et une portion viscérale qui est collée directement au cœur. L'espace virtuel entre ces deux portions peut contenir physiologiquement de 10 à 20 ml de liquide séreux [33].



C'est le myocarde (*cardium* = cœur, *myo* = muscle), un gros muscle automatique, de type strié, proche des muscles squelettiques, qui assure grâce à sa contractilité et à son élasticité, la vidange et le remplissage des cavités cardiaques, permettant ainsi de faire circuler le sang dans tout l'organisme [33].

Les cellules musculaires cardiaques (les cardiomyocytes) sont reliées entre elles par un tissu conjonctif, constituent un ensemble d'écharpes de faisceaux permettant de relier toutes les parties du cœur. Cette organisation en maillage confère au myocarde la capacité de se contracter

## PARTIE THÉORIQUE

et de conduire l'excitation électrique, mais surtout l'incapacité de rester contracté de façon prolongée [34].

Les contractions musculaires indispensables à l'activité cardiaque sont coordonnées par des fibres nerveuses localisées dans les parois du cœur, ces fibres fonctionnent de façon relativement autonome, mais agissent sous le contrôle du système nerveux central. Quand le myocarde est stimulé électriquement, il se contracte, chaque impulsion électrique assure un battement du cœur. C'est cette activité électrique que capte l'électrocardiographe [34].

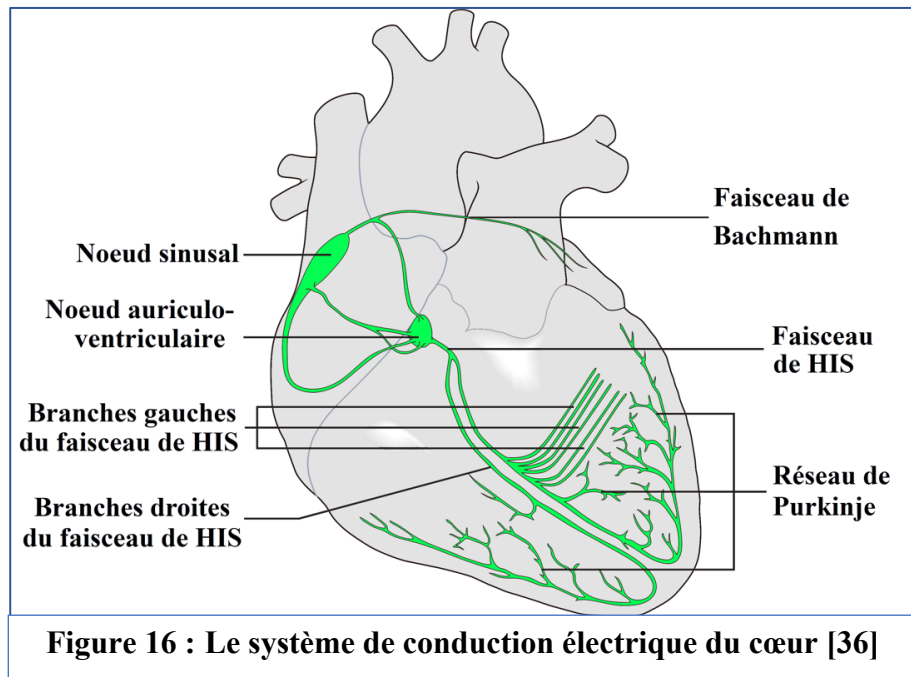
Le cœur assure sa propre oxygénation et celle des autres organes, c'est une pompe qui éjecte le sang dans les circulations systémique et pulmonaire, pour cela, il se contracte de façon rythmique, en moyenne 60 à 80 battements par minute [35].

Ainsi, le sang veineux désoxygéné en provenance des muscles et autres organes via les veines caves supérieure et inférieure, et le sinus coronaire, arrive au niveau de l'oreillette droite. Quand elle se remplit, elle se contracte pour expulser le sang dans le ventricule droit par la valve tricuspide séparant les deux chambres (oreillette et ventricule droits) et qui empêche un retour du flux vers l'oreillette droite. À son tour, le ventricule droit se contracte et propulse le sang veineux via la valve sigmoïde qui prévient le reflux, l'éjectant dans l'artère pulmonaire vers le poumon afin de l'oxygéner : c'est la systole ventriculaire droite. Côté cœur gauche, une fois oxygéné, le sang en provenance des poumons par les veines pulmonaires, arrive dans l'oreillette gauche qui l'envoie dans le ventricule gauche via la valve mitrale qui sépare l'oreillette du ventricule gauches : il s'agit de la systole auriculaire gauche. Enfin, par sa contraction, le ventricule gauche éjecte le sang dans l'aorte via la valve aortique vers les organes : c'est la systole ventriculaire gauche [35].

Les deux systoles auriculaires droite et gauche sont synchrones ; puis après un petit délai, les deux systoles ventriculaires droite et gauche se font de façon simultanée [35].

## 2.5 CONDUCTION ÉLECTRIQUE DU CŒUR

Une conduction normale est une condition sine qua non pour une contraction auriculo-ventriculaire homogène et efficace, et par conséquent un battement cardiaque efficient, pour l'orchestrer, le cœur dispose d'un système de conduction complexe : le système nodal (Figure 16).



Tout commence au niveau du nœud sinusal (le nœud de Keith et Flack), qui représente le générateur naturel d'impulsions électriques appelé aussi le Pacemaker dominant ou encore la pile principale du cœur, situé au niveau de l'atrium droit, entre l'abouchement des deux veines caves, le long de la paroi latérale de l'oreillette droite. Il est constitué de cellules nodales automatiques, capables de se dépolariser spontanément et en permanence sans excitation préalable. La fréquence de base est donnée par ce nœud sinusal, elle est d'environ 120 activations par minute. L'impulsion formée au niveau du nœud sinusal est transmise à la musculature auriculaire définissant la conduction sino-atriale [36, 37, 43] (Figure 17. a, b).

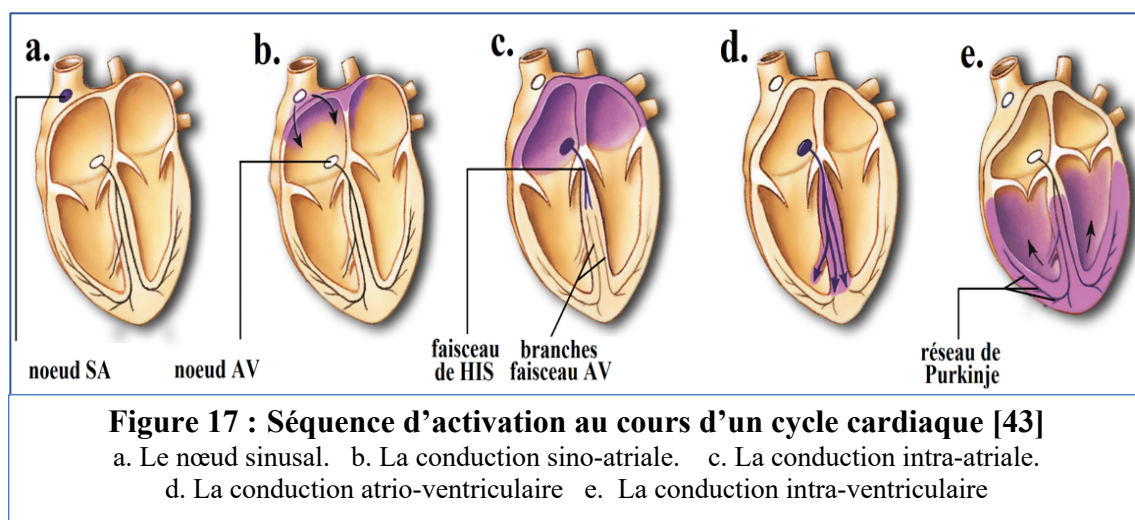
Les impulsions provenant du nœud sinusal (NS) activent d'abord l'oreillette droite puis l'oreillette gauche, via les voies de conduction internodales (antérieure, médiane, postérieure et branche de Bachmann), c'est la conduction intra-atriale, pour arriver enfin au nœud auriculo-ventriculaire (NAV) (Figure 17.c) [38, 43].

## PARTIE THÉORIQUE

Le nœud auriculo-ventriculaire ou le nœud d'Aschoff-Tawara, dont le rythme atteint environ 70 battements/minute, se trouve au niveau de la portion postéro-inférieure de la cloison inter-atriale, dans l'atrium droit, en avant de l'abouchement du sinus coronaire. Il se divise en 3 portions, selon leurs propriétés électrophysiologiques : la portion atriale, la portion nodale qui est dépourvue d'une automaticité propre, imposant un délai et par la suite la régulation de la transmission de l'impulsion électrique au faisceau de His et la dernière portion Hissienne. Ce parcours de l'influx des atriums vers les ventricules est appelé la conduction atrio-ventriculaire (Figure 17.d) [38, 43].

Après une petite pause, l'influx nerveux quitte le nœud auriculo-ventriculaire et part stimuler le faisceau de His. En descendant le long de la cloison inter-atriale, il traverse la cloison atrio-ventriculaire droite, puis la portion fibreuse du septum inter-ventriculaire, avant de se diviser en deux branches : la branche droite et la branche gauche. La droite descend le long de la cloison inter-ventriculaire et la branche gauche, après avoir traversé le septum, descend le long du bord gauche de la paroi. Par ailleurs, pour une contraction coordonnée des deux ventricules, une stimulation simultanée des deux branches est impérative, de même qu'une stimulation simultanée des deux héli-branches gauches est capitale pour une meilleure contractilité de la paroi libre du ventricule gauche [37].

À la pointe des ventricules, ces différentes branches se réfléchissent et se terminent par de multiples arborisations, constituant le réseau de Purkinje se distribuant à tout le myocarde ventriculaire. Ses fibres se propagent d'abord en sous-endocardique, faisant de l'endocarde la première partie du muscle cardiaque à se dépolariser, puis se distribuant à tout le myocarde ventriculaire, pour parfaire la conduction intra-ventriculaire (Figure 17.e) [38,43].



En cas de défaillance du nœud sinusal, des systèmes de sécurité se mettent en place pour prendre le relai du pacemaker naturel. Il s'agit du nœud auriculo-ventriculaire, du faisceau de His, du réseau de Purkinje, mais aussi quelques foyers ectopiques auriculaires [37].

Le rythme assuré par le nœud sinusal peut être modulé par le système extrinsèque, ce dernier est composé de douze nerfs : trois nerfs cardiaques parasympathiques répartis de chaque côté du cœur, et trois nerfs cardiaques orthosympathiques. Trois ou quatre nerfs composent le système sympathique et trois nerfs définissent le système orthosympathique [38].

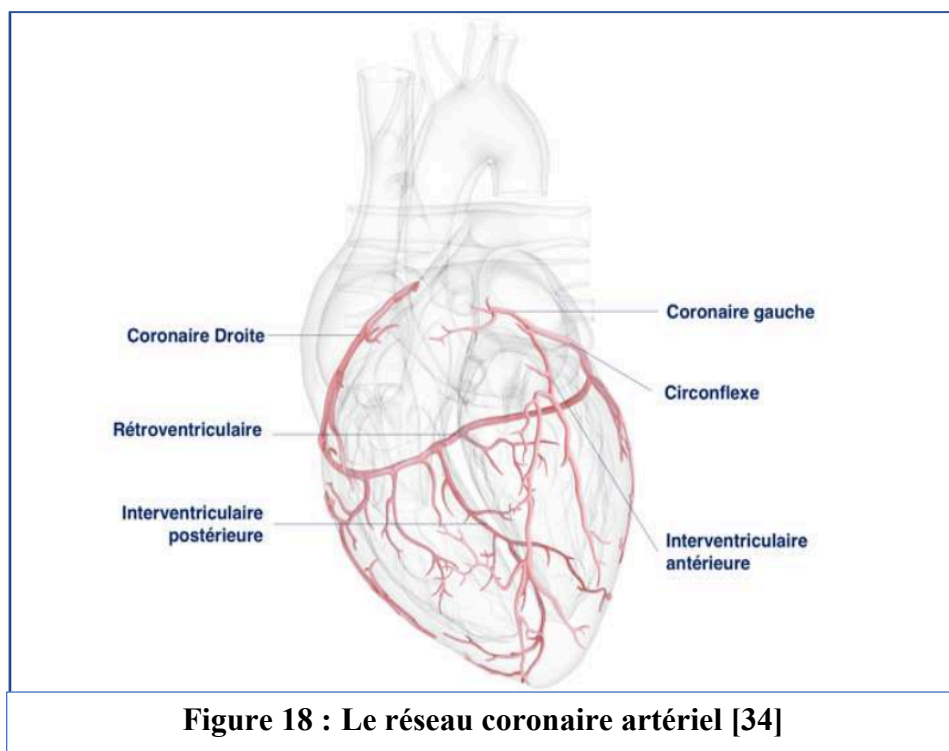
Les nerfs vagues jouent le rôle de cardio-modérateur, ce frein vagal ralentit l'activité cardiaque en abaissant le rythme, la force de contraction et l'excitabilité du tissu nodal. Contrairement aux nerfs orthosympathiques qui augmentent le rythme cardiaque, la force de contraction et l'excitabilité du tissu nodal, ils ont un rôle stimulateur ou de cardio-accélérateur [39, 40, 42].

Chaque phénomène électrique que nous venons de décrire, est directement projeté au niveau de l'électrocardiogramme, à l'exception de l'activité au sein du nœud sinusal, de la conduction sino-atriale et de la repolarisation auriculaire.

### 2.6 VASCULARISATION DU CŒUR

#### 2.6.1 Le réseau coronaire artériel

Le myocarde possède son propre réseau artériel, représenté par les artères coronaires. Les artères coronaires tiennent leur nom du sens étymologique « couronne », car la portion initiale de l'artère entoure le cœur comme une couronne. Elles naissent au niveau des sinus de Valsalva, à la racine de l'aorte. Nous distinguons deux artères coronaires : l'artère coronaire droite et l'artère coronaire gauche (ou tronc commun). Elles circulent à la surface du cœur et permettent de délivrer oxygène et nutriments au muscle cardiaque (Figure 18) [34].



L'artère coronaire droite prend naissance du sinus de Valsalva droit, chemine dans la partie droite du sillon auriculo-ventriculaire, contourne le bord latéral du ventricule droit jusqu'à la croix des sillons où elle bifurque dans la portion postérieure et inférieure du sillon interventriculaire. Elle irrigue l'oreillette droite, le ventricule droit et une partie des surfaces inférieure et postérieure du ventricule gauche. Dans environ 50 % de la population, cette artère fournit également du sang au nœud sinusal. Le faisceau de His et le nœud auriculo-ventriculaire (NAV) sont également vascularisés par l'artère coronaire droite [44].

L'artère coronaire gauche longe la surface de l'oreillette gauche, et se divise en 2 branches : l'interventriculaire antérieure (IVA) et l'artère circonflexe (Cx). L'IVA descend dans le sillon inter-ventriculaire, le long de la surface du ventricule gauche (VG) vers l'apex et approvisionne en sang la paroi antérieure du VG, le septum inter-ventriculaire, la branche droite du faisceau de His ainsi que l'hémi-branche antérieure gauche. Enfin, la perfusion des parois des deux ventricules est assurée par les branches diagonales et les perforantes issues de l'IVA [44].

L'artère circonflexe, chemine dans le sillon auriculo-ventriculaire gauche jusqu'à la face inférieure du ventricule gauche, elle alimente les parois latérales du ventricule gauche, de l'oreillette gauche et dans environ 50 % de la population le nœud sinusal. Elle assure également la perfusion de l'hémi-branche postérieure gauche et contourne le VG pour assurer la perfusion de sa paroi postérieure [44].

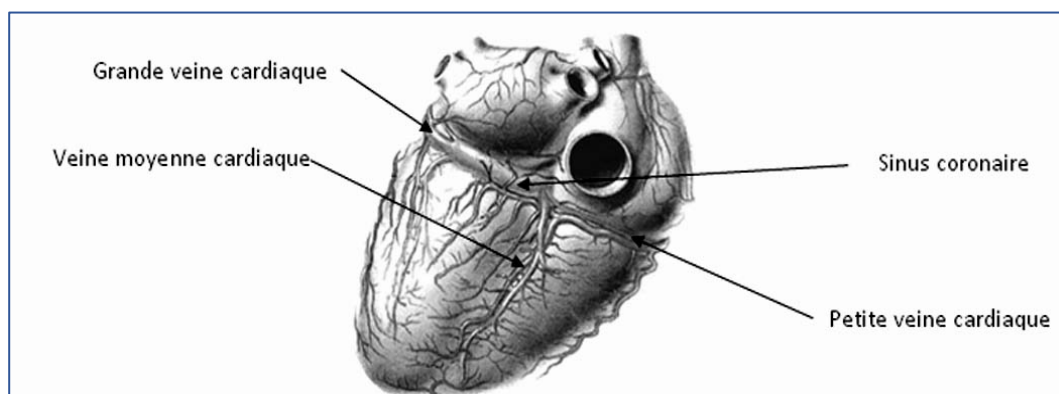
Il se trouve parfois qu'un seul territoire anatomique soit vascularisé par deux artères différentes, donnant des circulations collatérales, et vascularisant directement le muscle cardiaque. Ces circulations collatérales permettent de suppléer la vascularisation d'un territoire donné par rapport à un réseau vasculaire thrombosé [44].

## PARTIE THÉORIQUE

### 2.6.2 Le réseau coronaire veineux

Le sinus coronaire forme un large tronc veineux constitué par un ensemble de veines qui se rejoignent pour assurer le retour veineux du muscle cardiaque, il renvoie le sang dans l'oreillette droite avant de rejoindre la circulation pulmonaire. Il est constitué :

- D'une grande veine cardiaque qui naît à la base du cœur, longe l'artère interventriculaire antérieure par la gauche et s'engage dans le sillon auriculo-ventriculaire pour devenir satellite de l'artère circonflexe avant de se terminer dans le sinus veineux coronaire qui se jette à la face postérieure de l'oreillette droite.
- D'une petite veine cardiaque qui chemine dans le sillon auriculo-ventriculaire droit avant de se jeter dans le sinus coronaire.
- D'une veine moyenne cardiaque : sillon interventriculaire.
- D'autres petites veines accessoires qui se drainent directement dans les cavités [45].



**Figure 19 : Le réseau coronaire veineux d'après F. Netter, Atlas d'anatomie humaine [45]**

## 2.7 ÉLECTROPHYSIOLOGIE CARDIAQUE

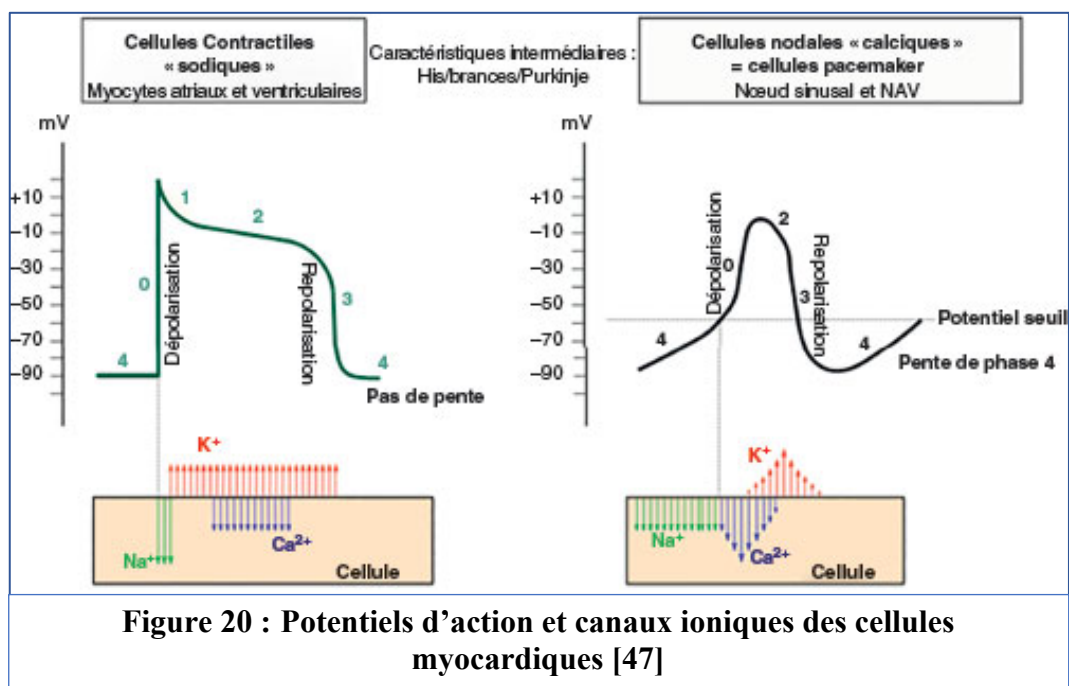
Une bonne compréhension de l'activité électrique du cœur passe obligatoirement par la maîtrise des notions de base de l'électrophysiologie cellulaire, en sachant que chaque contraction cardiaque nécessite une impulsion électrique qui la traverse d'un point à l'autre [15].

L'initiation des contractions cardiaques se fait par des cellules dotées d'une automaticité intrinsèque, ce sont les cellules pacemakers du nœud sinusal. Ces cellules engendrent périodiquement un micro-courant conduit par des cellules spécialisées dans la conduction, ces cellules nodales dites « calciques » s'activent de proche en proche, pour former un front d'activation ou « dipôle » permettant une conduction rapide. Ensuite, ces micro-courants vont exciter d'autres cellules dites contractiles « sodiques » atriales et ventriculaires pour conduire à une contraction, selon un processus qui doit répondre aux besoins de la circulation sanguine [15] (Figure 20).

Le potentiel d'action transmembranaire correspond à la stimulation ou l'activation cellulaire complète, il comporte deux séquences : la dépolarisation puis la repolarisation. La fibre myocardique à l'état de repos est polarisée, entourée par une membrane polarisée positivement sur sa face externe et négativement sur sa face interne. La différence de potentiel entre ces deux faces de la membrane constitue le potentiel de repos, qui est de -90 mV pour cette cellule myocardique [34].

Leur dépolarisation donne naissance à un « potentiel d'action », qui désigne la diminution rapide de la valeur absolue du potentiel de repos provoquant une variation rapide au cours du temps du potentiel membranaire. Ce mécanisme est passif (les mouvements ioniques sont entraînés par les gradients transmembranaires d'ions). La repolarisation permet le retour au potentiel de repos négatif [46,47].

## PARTIE THÉORIQUE



L'électrogénèse du signal induit des mouvements ioniques de part et d'autre de la membrane et passe par cinq phases distinctes : 0,1,2,3,4 [34, 47] (Figure 21).

**Phase 0 : Dépolarisation rapide** avec entrée rapide dans la cellule du Sodium  $\text{Na}^+$  et lente du Calcium  $\text{Ca}^{++}$ . La dépolarisation conduit le potentiel transmembranaire de  $-90\text{mV}$  à  $+20\text{mV}$ . Sur l'ECG, elle correspond au complexe QRS (Figure 21.0).

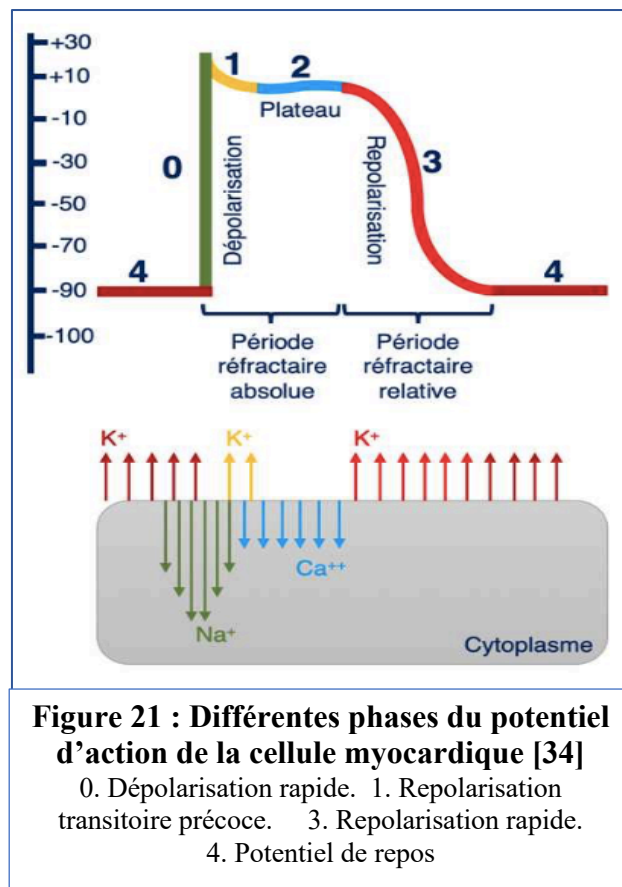
**Phase 1 : Repolarisation transitoire précoce**, ramenant le potentiel vers  $0\text{mV}$ , due à la fermeture des canaux sodiques (Figure 21.1).

**Phase 2 : Plateau**, liée au courant entrant lent du calcium et sortant lent du potassium, permettant la contraction cellulaire, à l'ECG cette phase correspond au segment ST (Figure 21.2).

La phase 1 et 2 : correspondent à la période réfractaire absolue.

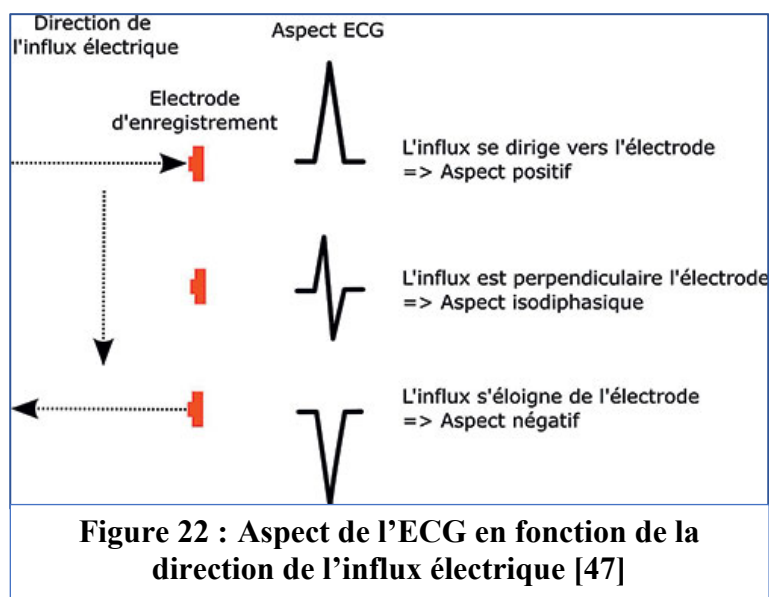
**Phase 3 : Repolarisation rapide**, avec un retour à l'état de base (repos), correspondant à une période réfractaire relative due à un courant sortant rapide du potassium, et fermeture des canaux calciques, se traduisant sur l'ECG par l'onde T (Figure 21.3).

**Phase 4 : Potentiel de repos**, avec une restauration de l'équilibre ionique via un mécanisme actif (pompe  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  ATP dépendante) (Figure 21.4).



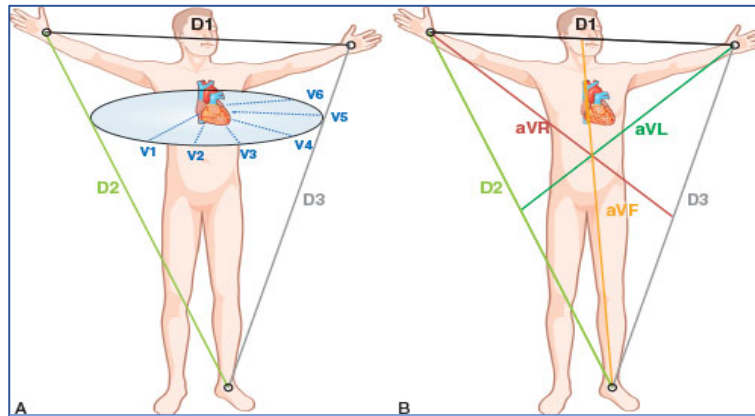
## 2.8 ACQUISITION DU SIGNAL ET TERRITOIRES

Le potentiel d'action avec ses séquences dépolarisation-repolarisation des cellules cardiaques se traduit sur l'ECG par des déflexions (ondes). La déflexion est positive lorsque l'influx électrique se dirige vers l'électrode et négative lorsqu'elle la fuit. Enfin, une onde est plate (isoélectrique) ou diphasique lorsqu'elle se dirige de manière perpendiculaire à l'électrode. (Figure 22) [48].



Un ECG standard de 12 dérivation, est obtenu par l'analyse des données de dix électrodes cutanées placées au niveau des membres et du thorax. Les dérivation permettent d'avoir une idée tridimensionnelle de l'activité électrique du cœur. Les dérivation bipolaires périphériques ou frontales explorent le plan frontal (vertical), elles sont obtenues à partir des membres D1, D2 et D3 (ou I, II et III) formant le triangle d'Einthoven. Elles sont associées aux dérivation dites unipolaires amplifiées des membres : aVR, aVL et aVF (aVR pour le bras droit, aVL pour le bras gauche, aVF pour la jambe gauche), donnant les dérivation de Goldberger [49, 50].

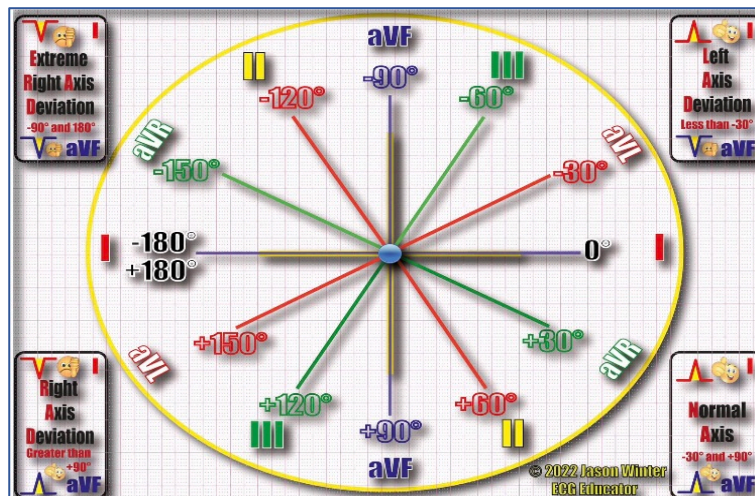
Dans le plan frontal, les dérivation uni et bipolaires déterminent ensemble un double tri-axe de Bailey, au centre duquel se trouve le cœur. La position de chaque électrode est facilement repérée sur un cercle qui permet de déterminer les angles de ces axes par rapport à la ligne horizontale (0°, position de D1). Ce double tri-axe donne des dérivation graduées de 30 en 30° dans le sens des aiguilles d'une montre en partant de D1 [47] (Figure 23).



**Figure 23 : Construction des dérivations frontales  
Le double tri-axe de BAILEY D'après Carole  
Fumat [47]**

A. dérivations frontales bipolaires D1, D2, D3 formant le triangle d'Einthoven  
B. dérivations frontales unipolaires de Wilson : aVR, aVL, aVF

La méthode rapide de détermination de l'axe du QRS consiste à regarder la polarité de D1 et aVF pour savoir dans lequel des 4 cadrans l'axe se trouve, l'axe normal est entre  $-30$  et  $90^\circ$  [51] (Figure 24).



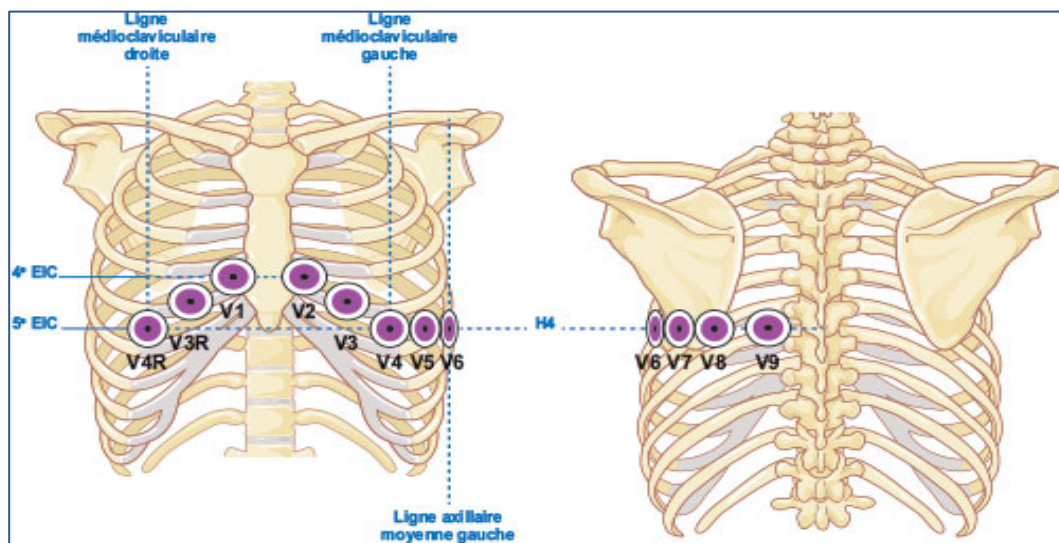
**Figure 24 : Détermination de l'axe des QRS [51]**

Les électrodes sur le thorax sont les « précordiales » et sont notées de V1 à V6 selon Wilson. Ces électrodes unipolaires analysent l'activité électrique dans le plan horizontal ou transversal [52] (Figure 25).

Pour obtenir un ECG à 18 dérivations, il faut déplacer les électrodes afin d'obtenir six dérivations unipolaires supplémentaires : V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> et V<sub>3</sub> sont respectivement positionnées en VE (sous-xyphoïde), V<sub>3</sub>R et V<sub>4</sub>R (symétrique à droite du sternum de V<sub>3</sub> et V<sub>4</sub>), et V<sub>4</sub>, V<sub>5</sub> et V<sub>6</sub>

## PARTIE THÉORIQUE

sont respectivement positionnées dans le dos sur la même ligne horizontale en V7, V8 (pointe de l'omoplate) et V9 [52] (Figure 25).



**Figure 25 : Positionnement des électrodes précordiales [47]**

V1 : 4<sup>e</sup> espace intercostal parasternal droit. V2 : 4<sup>e</sup> espace intercostal parasternal gauche. V3 : équidistance entre V2 et V4. V4 : 5<sup>e</sup> espace intercostal gauche, sur la ligne médioclaviculaire. V5 : même horizontale que V4, ligne axillaire antérieure. V6 : même horizontale que V4, ligne axillaire moyenne. V3R et V4R : symétriques à droite du sternum de V3 et V4. V7 : même horizontale que V6, ligne axillaire postérieure. V8 : même horizontale que V6 sous la pointe de l'omoplate. V9 : même horizontale que V6 en paravertébral.

Plusieurs territoires définis à partir d'un ensemble de dérivations permettent une description ECG correspondant à l'anatomie du cœur et à sa vascularisation coronaire. Il faut toujours se demander si une anomalie ECG fait partie d'un ou de plusieurs territoires, très utile à la localisation de l'infarctus, si elle est diffuse sur toutes les dérivations (en faveur d'une cause générale, métabolique ou médicamenteuse) ou isolée à une dérivation (considérée le plus souvent comme non pathologique) [53] (Figure 26).

Dérivations ST+	Territoire électrique	Artère coronaire
V1 à V2	Septal	IVA moyenne (avant 1 <sup>re</sup> diagonale)
V3 et V4	Apical	IVA moyenne (après 1 <sup>re</sup> diagonale)
V1 à V4	Septo-apical (antéro-supérieur)	IVA moyenne
VL et D1 et/ou RS en V1(V2)	Latéral haut (antérieur moyen)	Circonflexe ou 1 <sup>re</sup> diagonale
V5 et V6	Latéral bas (antéro-latéral)	Circonflexe ou marginale
V1 à V6 V1 à V6 et VL (DI)	Antérieur Antérieur étendu	IVA proximale (avant la 1 <sup>re</sup> septale) ou TC
V7, V8, V9	Latéro-basal	Circonflexe ou coronaire droite
V1 à V4 et D3-VF-D2	Antéro-inférieur (ou septal profond)	IVA dominante
V3R, V4R, VE et/ou V1	Ventricule droit	CD ou marginale du bord droit
D3, VF, D2,	Inférieur	CD ou circonflexe dominante
D3-VF-D2 + VL-VL ou V5-V6 + V8-V9 ou RS V1	Inféro-latéro-basal	CD ou circonflexe dominante

P. Taboulet. 100 ECG autour de l'infarctus

**Figure 26 : Territoires cardiaques : correspondance entre territoire électrique et artère coronaire [52]**

IVA : interventriculaire antérieure ; CD : coronaire droite ; TC : tronc commun

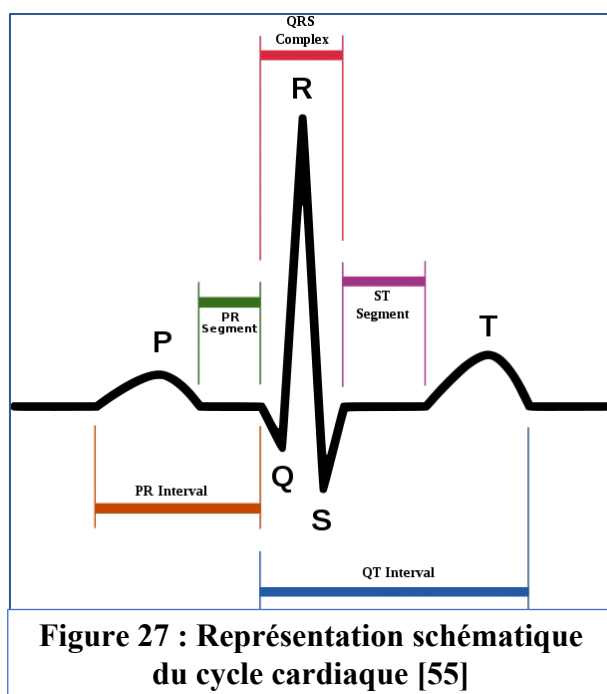
### 2.9 CARACTÉRISTIQUES D'UN ECG NORMAL

Un tracé ECG est considéré comme normal quand il répond à des critères de forme et de temps, et quand il existe un rythme sinusal régulier de fréquence normale, cette interprétation requiert une étude systématique et méthodique des différents phénomènes électriques du cycle cardiaque [54] (Figure 27).

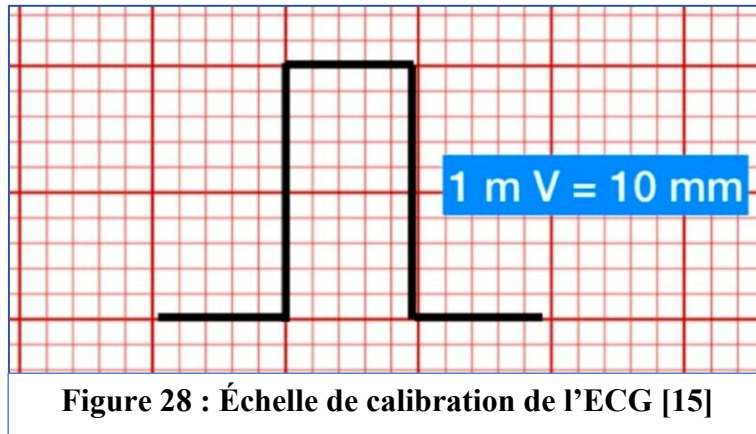
Maîtriser la lecture de cet outil revient à connaître les nombreuses variations de l'ECG normal, en sachant que les enregistrements strictement normaux sont exceptionnels.

Les ECG normaux présentent plusieurs variations [52] :

- En fonction de l'âge, en effet l'ECG du nouveau-né et de l'enfant présente d'importantes différences par rapport à l'adulte.
- En fonction du sexe : de petites différences entre l'homme et la femme existent mais elles s'amenuisent après 40 ans. Elles concernent essentiellement les QRS, la repolarisation et l'intervalle QT
- En fonction des différentes ethnies.
- Et dans certaines situations physiologiques (la femme enceinte)



La vitesse de déroulement du papier est de 25 mm/seconde, et l'amplitude normale des signaux est de 10 mV. Une calibration automatique en début de tracé confirme que la bonne échelle est sélectionnée pour mesurer le voltage des signaux [15] (Figure 28).

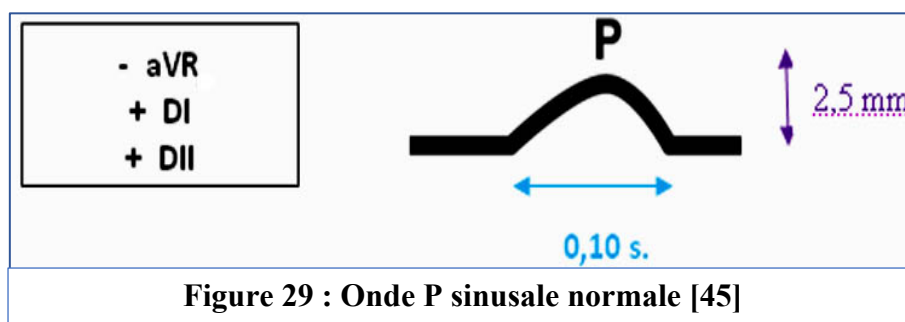


### 2.9.1 L'ONDE P

L'onde P représente la dépolarisation séquentielle des oreillettes, droite puis gauche, à partir du nœud sinusal (Figure 29). C'est le premier évènement électrique visible sur l'ECG.

L'onde P sinusale normale est [56] :

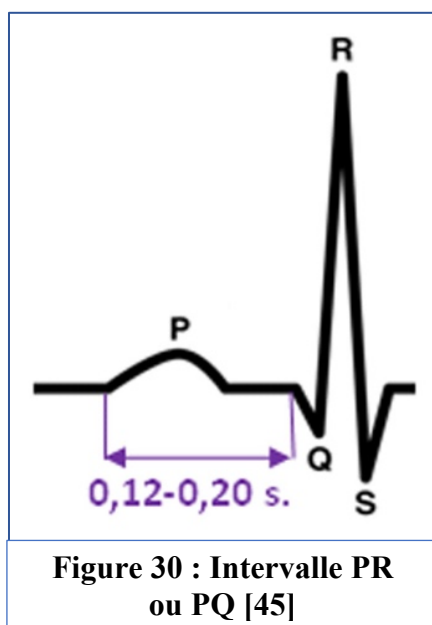
- Une petite déflexion arrondie, parfois avec une petite encoche dans sa partie ascendante, lisse, convexe en dôme, positive en D1, D2, aVF, négative en aVR et biphasique en V1.
- Son amplitude maximale est de 2.5 mm dans les dérivations des membres.
- Sa durée normale est inférieure à 120 millisecondes.
- A un axe à  $60^\circ$ , donc une positivité maximale en D2 justifiant son analyse en D2.
- Les ondes P doivent être uniques et identiques, survenant généralement à intervalles réguliers avec une fréquence entre 60 et 100 battements par minute chez l'adulte, et aucune n'est bloquée.
- Elle est normalement suivie d'un seul complexe QRS.



## PARTIE THÉORIQUE

### 2.9.2 L'INTERVALLE PR OU PQ

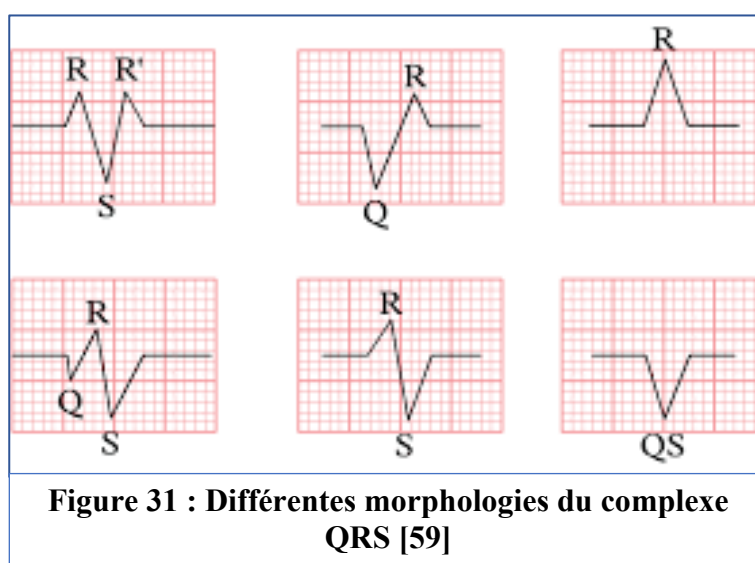
L'espace ou l'intervalle PR reflète sur le tracé ECG, le temps de la conduction auriculo-ventriculaire, explorant en totalité la conduction depuis le nœud sinusal jusqu'à la fin des branches du faisceau de His, représentant le principal indice de la qualité de cette conduction [57] (Figure 30).



Il se mesure du début de l'onde P jusqu'au début de l'onde Q (ou R en l'absence d'onde Q). L'espace PR est normalement compris entre 0,12 à 0,20 secondes (120-200 millisecondes), il peut aller jusqu'à 0,22 secondes chez les personnes âgées. Ces valeurs peuvent diminuer avec la sympathicotonie et augmenter avec la vagotonie. Le segment PR s'étend de la fin de l'onde P au début du complexe QRS. Il correspond au ralentissement de l'influx nerveux, imposé par le nœud auriculo-ventriculaire, ce court segment est rectiligne et isoélectrique [57].

### 2.9.3 LE COMPLEXE QRS

Le complexe QRS représente la dépolarisation ventriculaire, c'est l'activation simultanée des ventricules droit et gauche et la propagation intraventriculaire de la stimulation électrique. Il s'agit de l'activité la plus voltée sur l'ECG. Un QRS normal doit être fin, signifiant que la dépolarisation ventriculaire est rapide et synchronisée entre les deux ventricules, sa durée normale est comprise entre 0,06 et 0,10 secondes et ne doit pas dépasser 0.12 secondes. Il existe différentes morphologies du complexe QRS en fonction des différentes dérivations [58] (Figure 31).



Le QRS normal a un axe frontal compris entre  $-30^\circ$  à  $+90^\circ$  et toujours négatif en aVR. Il se compose de trois ondes [58] :

**L'onde Q** : correspond à la première phase de dépolarisation septale, c'est la première onde négative non précédée par une positivité, de faible amplitude (moins du tiers du complexe QRS), pointue et de durée brève inférieure à 0.04 secondes. L'onde Q septale peut apparaître physiologiquement dans toutes les dérivations des membres et au niveau des dérivations gauches V5 et V6, pour être qualifiée de physiologique, elle doit être fine et peu ample.

**L'onde R** : est par définition la première onde positive, qu'elle soit ou non précédée d'une onde Q, c'est la deuxième phase de dépolarisation orientée vers la jambe gauche et l'avant. Lorsqu'il existe deux ondes positives, la seconde est dénommée R'.

## PARTIE THÉORIQUE

Elle doit répondre aux critères suivants :

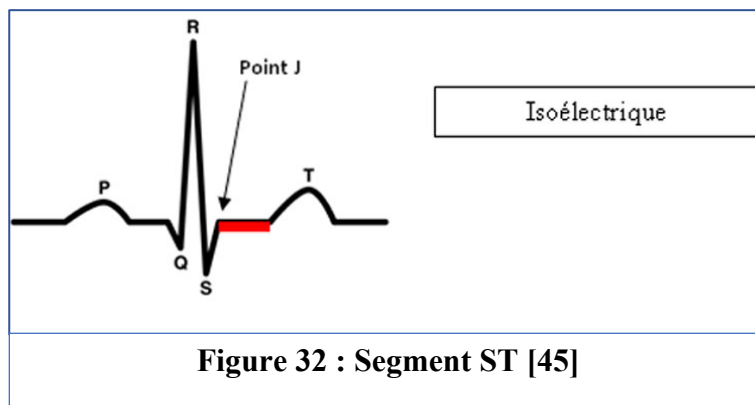
- Étroite < à 0.04 seconde, fine et pointue.
- Dans les dérivations précordiales, elle augmente progressivement en amplitude, de façon harmonieuse de V1 à V5 puis décroît.
- Son amplitude ne doit pas dépasser 26 mm en V5 ou V6.

**L'onde S** : est une onde négative qui fait suite à une onde R, représentant la troisième phase de dépolarisation orientée vers le haut et l'arrière. Elle doit croître de V1 à V2 puis perd de sa profondeur de V2 à V5.

Les ondes Q, R et S sont annotées en minuscules si leur amplitude est inférieure à 5 mm [15].

### 2.9.4 LE SEGMENT ST

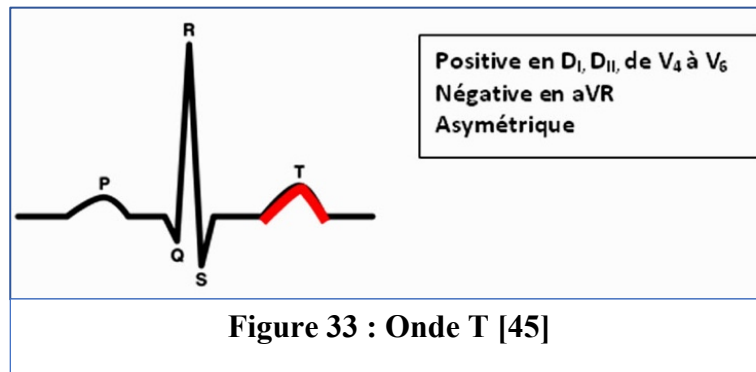
Le segment ST désigne la période entre la fin de la dépolarisation ventriculaire (le point J) et le début de la repolarisation ventriculaire (début de l'onde T), c'est-à-dire la fin de la contraction ventriculaire, il correspond à la phase 2 du potentiel d'action : Plateau [60] (Figure 32).



Il est généralement isoélectrique et suit horizontalement la ligne de base, au même niveau que le segment PR. Il est d'un intérêt tout particulier pour diagnostiquer le syndrome coronarien aigu avec et sans sus-décalage du segment ST [60].

### 2.9.5 L'ONDE T

L'onde T est l'expression de la phase terminale de la repolarisation ventriculaire, c'est la recharge du myocarde ventriculaire à son état électrique de repos, correspondant à la période réfractaire relative, c'est la première déflexion qui suit le complexe QRS [61] (Figure 33).



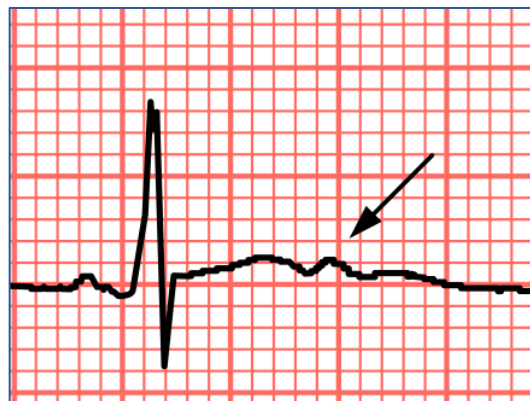
Pour être qualifiée de normale, l'onde T doit répondre aux normes morphologiques, de polarité et de voltage suivantes [61] :

1. Positive dans toutes les dérivations sauf en aVR, V1 et parfois D3, aVL.
2. Dirigée généralement dans le même sens, et a le même axe que le complexe QRS.
3. Son aspect asymétrique est caractéristique : légère pente ascendante, suivie d'une pente descendante plus abrupte, avec un sommet légèrement pointu, ou le plus souvent arrondi.
4. Son amplitude est proportionnelle aux QRS :  $< 2/3$  du QRS et  $> 10\%$  de R, et diminue avec l'âge.

## PARTIE THÉORIQUE

### 2.9.6 L'ONDE U

L'origine de l'onde U demeure discutée, de signification incertaine, elle pourrait traduire la repolarisation du septum interventriculaire, la repolarisation lente des ventricules ou encore la post-dépolarisation tardive. Elle débute à la fin de l'onde T, et elle est de même polarité, inconstante mais facilement identifiable dans certaines dérivations (particulièrement en apicales V3 et V4) (Figure 34) [63].



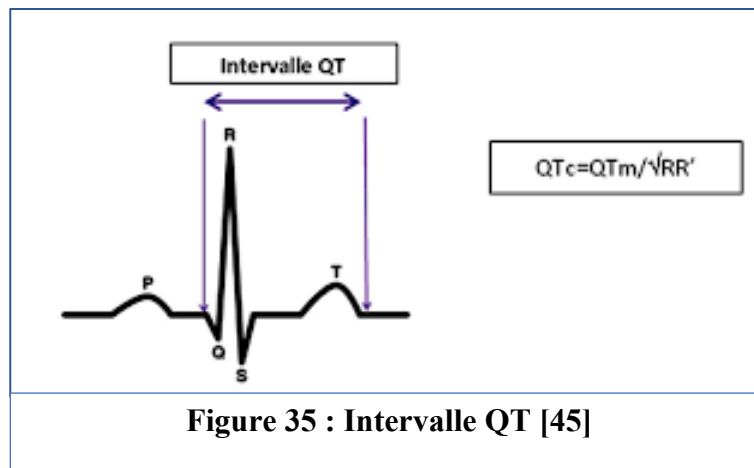
**Figure 34 : Onde U [62]**

Elle est mieux visible chez les sujets jeunes, les vagotoniques, les sportifs et quand la fréquence cardiaque est basse.

C'est une déflexion positive, similaire à l'onde P, de faible amplitude environ le 1/3 de l'onde T, arrondie [63].

### 2.9.7 L'INTERVALLE QT

Cet intervalle est un marqueur fondamental de l'électrophysiologie cardiaque, il représente la systole ventriculaire, il s'étend du début du complexe QRS (dépolarisation) jusqu'à la fin de l'onde T (repolarisation) [64] (Figure 35).



La durée de cet intervalle se mesure sur la dérivation où le QT est le plus long et où la fin de l'onde T est la plus visible, souvent en D2 ou V5/V6, parfois en V3/V4 [64].

L'intervalle QT est fréquence-dépendant (QT corrigé ou QTc), mais varie aussi selon le sexe et le nyctémère [64].

Divers facteurs de correction ont été mis au point pour corriger l'intervalle QT en fonction de la fréquence cardiaque. La méthode la plus couramment utilisée pour corriger l'intervalle QT en fonction de la fréquence cardiaque est la formule d'indexation par Bazett.

Formule de Bazett :  $QTc = QTm / \sqrt{RR}$  [65].

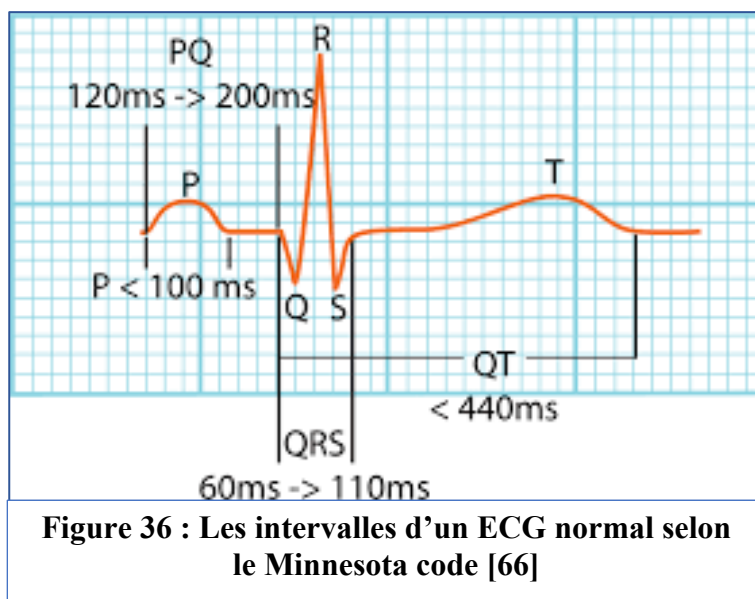
L'intervalle QT corrigé est normal quand il est  $> 0,36$  secondes et  $\leq 0,45$  secondes chez l'homme et  $\leq 0,46$  secondes chez la femme, ou ne doit pas dépasser la moitié de la durée de l'espace entre deux QRS pour une fréquence cardiaque régulière de 60 à 100 battements par minute [65].

## PARTIE THÉORIQUE

### 2.9.8 LE CODE MINNESOTA

En 1960, aux États-Unis, une équipe de chercheurs au laboratoire de Physiologie à l'Université de Minnesota de Minneapolis avait publié une étude sur les différentes anomalies ECG chez différentes populations [67, 68].

Ils ont élaboré un code : "The Minnesota code" illustré dans la figure 36.



Cet outil scientifique de référence a été à l'origine de l'élaboration du système d'interprétation automatique des appareils ECG [69, 70].

C'est un système exhaustif de la vérification de la normalité de l'ECG utilisant 12 critères qui sont :

1. L'onde P sinusale est positive en DI et DII ( $DII \leq 2,5$  mm et  $< 0,12$  secondes),
2. Une seule onde P sinusale précède chaque QRS,
3. La fréquence sinusale est comprise entre 60 et 100 battements par minute,
4. Les intervalles PR ont une durée constante de 120 à 200 millisecondes,
5. L'axe principal du cœur compris en  $-30^\circ$  et  $+90^\circ$  (QRS positifs en DI et DII),
6. Les QRS sont fins  $< 120$  millisecondes),
7. Il n'y a pas d'onde Q,
8. Les QRS ont un aspect rS en V1 et qR en V6 avec une progression harmonieuse de R et S,

9. Les QRS ont des amplitudes de R et S raisonnables,
10. Le segment ST est isoélectrique au segment PR,
11. L'onde T est asymétrique et positive, avec une amplitude  $< 2/3$  et  $> 10\%$  de R,
12. L'intervalle QTc est normal ( $< 430$  millisecondes chez l'homme et  $< 450$  millisecondes chez la femme).

### 2.10 CARACTÉRISTIQUES D'UN ECG PATHOLOGIQUE

#### 2.10.1 LES HYPERTROPHIES

Ce terme historique remonte aux débuts du vingtième siècle, affection cardiaque désignant une augmentation de la quantité de cellules myocardiques d'une cavité. Elle peut être la conséquence d'une dilatation ou d'un épaississement de la paroi de la cavité cardiaque considérée (oreillette ou ventricule), ou l'association d'une dilatation et d'un épaississement. Parfois corrélé au degré de fibrose d'une cavité [71, 72].

##### 2.10.1.1 L'Hypertrophie Auriculaire Droite « HAD »

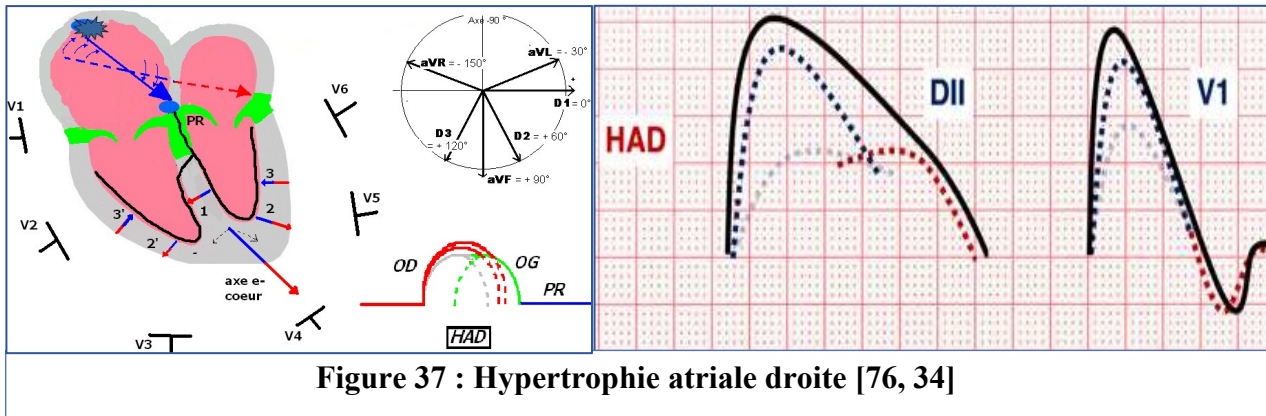
L'Hypertrophie Auriculaire Droite survient le plus souvent par dilatation, suite à l'existence d'une résistance à la systole auriculaire, en rapport avec une surcharge de travail, aiguë ou chronique [73].

Les causes de l'HAD sont : [74]

- La sténose tricuspidiennne.
- Les hypertrophies ventriculaires droites (HVD) avec hypertension pulmonaire (HTAP) aiguë au cours d'une embolie pulmonaire par exemple, ou chronique comme lors d'une broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO).
- La sténose pulmonaire.

Sur le plan électrique, l'HAD modifie les deux premiers tiers de la dépolarisation atriale. Elle se traduit par une onde P sinusale en D2, d'amplitude élevée  $> 2,5$  mm (2,5 petits carreaux verticaux ou 0,25 mV), souvent pointue, appelée « onde P pulmonaire », car elle est souvent liée à des pathologies pulmonaires [75].

Une positivité initiale proéminente de l'onde P en V1 ou V2 ( $> 1,5$  mm ou 0,15 mV) et un axe de P dévié à droite ( $> 70^\circ$  ou mieux vertical) (Figure 37). La durée de l'onde P reste dans les normes ( $< 0,10$  seconde), du fait que l'excès de temps nécessaire à droite est confondu avec le temps nécessaire de la dépolarisation atriale gauche [75] (Figure 37).



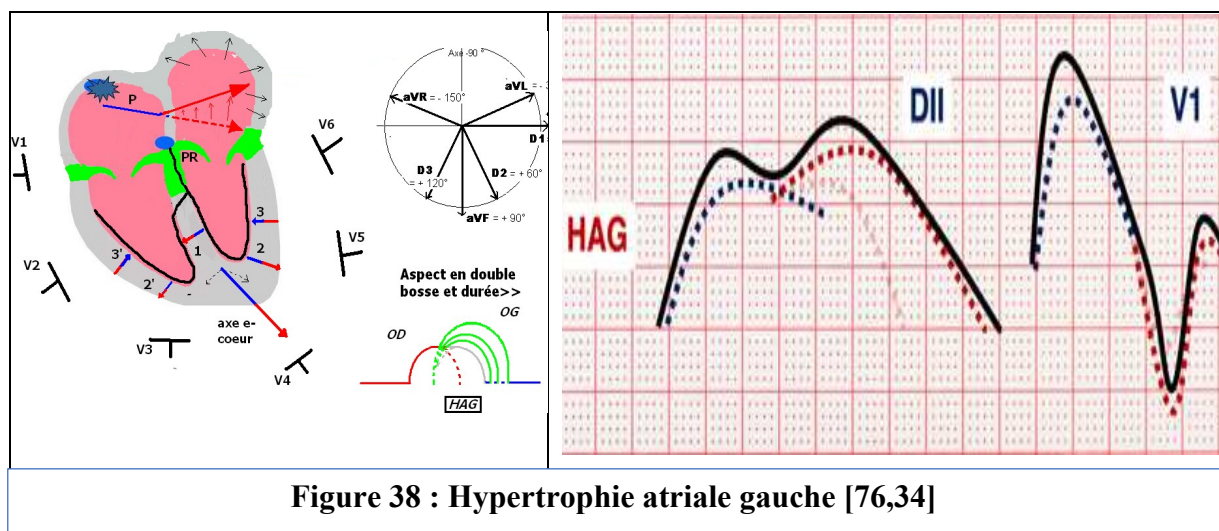
### 2.10.1.2 L'Hypertrophie Auriculaire Gauche « HAG »

La dilatation/hypertrophie de l'oreillette gauche modifie les deux derniers tiers de la dépolarisation atriale, en augmentant sa durée et en modifiant sa morphologie, car l'oreillette gauche dilatée met plus de temps à se dépolariser qu'une oreillette normale [77].

Une HAG se rencontre typiquement au cours de l'évolution de la plupart des cardiopathies gauches à l'occasion d'une résistance à la systole atriale ou d'une régurgitation importante : hypertension artérielle, cardiomyopathie, rétrécissement aortique, valvulopathie mitrale [77].

Une HAG électrique est définie par [78] (Figure 38) :

- Une onde P sinusale large, allongée de durée  $\geq 120$  millisecondes (3 petits carreaux horizontaux ou 3 mm) en D2. Elle est souvent bifide avec une deuxième double bosse  $\geq 40$  millisecondes, elle est connue sous le vocable « onde P mitrale », car elle s'observe fréquemment en cas de dysfonctionnement de la valve mitrale.
- En V1, l'onde P est diphasique avec une forte polarité terminale négative.
- Une déviation axiale gauche de P de  $15^\circ$  vers la gauche ou de la portion terminale de P.

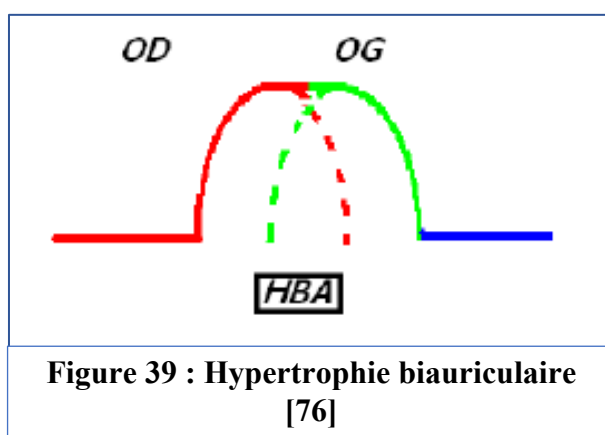


## PARTIE THÉORIQUE

### 2.10.1.3 L'hypertrophie biauriculaire

L'hypertrophie biauriculaire regroupe l'augmentation des deux vecteurs auriculaires et rassemble leurs critères [79] (Figure 39) :

- L'onde P est ample, large et bifide en D2.
- L'onde P est biphasique avec une composante initiale positive, pointue, et une composante terminale négative en V1.



### 2.10.1.4 L'Hypertrophie Ventriculaire Droite « HVD »

L'HVD correspond à un épaississement de la paroi musculaire du ventricule droit, elle résulte d'une surcharge chronique en volume ou en pression du myocarde. Les causes d'une surcharge en pression sont principalement l'hypertension artérielle pulmonaire, l'embolie pulmonaire et les maladies pulmonaires chroniques obstructives. Les hypertrophies par surcharge volumique sont plutôt rares, dues principalement à une insuffisance tricuspide, ou une insuffisance pulmonaire, enfin on peut avoir les deux mécanismes incriminés tel que dans certaines cardiopathies congénitales et les shunts intracardiaques (communication inter atriale,...) [78].

Le diagnostic électrocardiographique repose sur la présence combinée de signes électriques avec principalement une amplitude plus importante des QRS dans les dérivations droites en regard du ventricule droit [79] (Figure 40) :

- Déviation axiale droite du QRS supérieure à  $110^\circ$  représentant le signe le plus précoce.
- En V1 : Onde R dominante, ample  $> 6$  mm, supérieure à S, avec  $R/S > 1$ .
- Onde S profonde  $> 7$  mm, en V5 et V6.

Dans des formes plus sévères, des signes supplémentaires sont observés [79] :

- Sous décalage descendant du segment ST “strain pattern”.
  - Inversion de l’onde T de V1 à V3.
  - Présence d’une onde P type pulmonaire témoignant d’une HAD associée.
  - Trouble de la conduction intraventriculaire avec retard de la déflexion intrinsécoïde, jusqu’à la constitution d’un bloc de branche droite complet.
  - Dans l’embolie pulmonaire, une hypertrophie aiguë peut engendrer un aspect S1Q3T3.
- Il existe des indices pour une appréciation quantitative de l’HVD [79] :
    - Indice de Sokolow- Lyon :  $RV1 + SV5-6 > 10.5 \text{ mm}$
    - R en aVR  $> 4 \text{ mm}$ .
    - $(R \text{ en D1} + S \text{ en D3}) - (S \text{ en D1} + R \text{ en D3}) < 15 \text{ mm}$  [80]

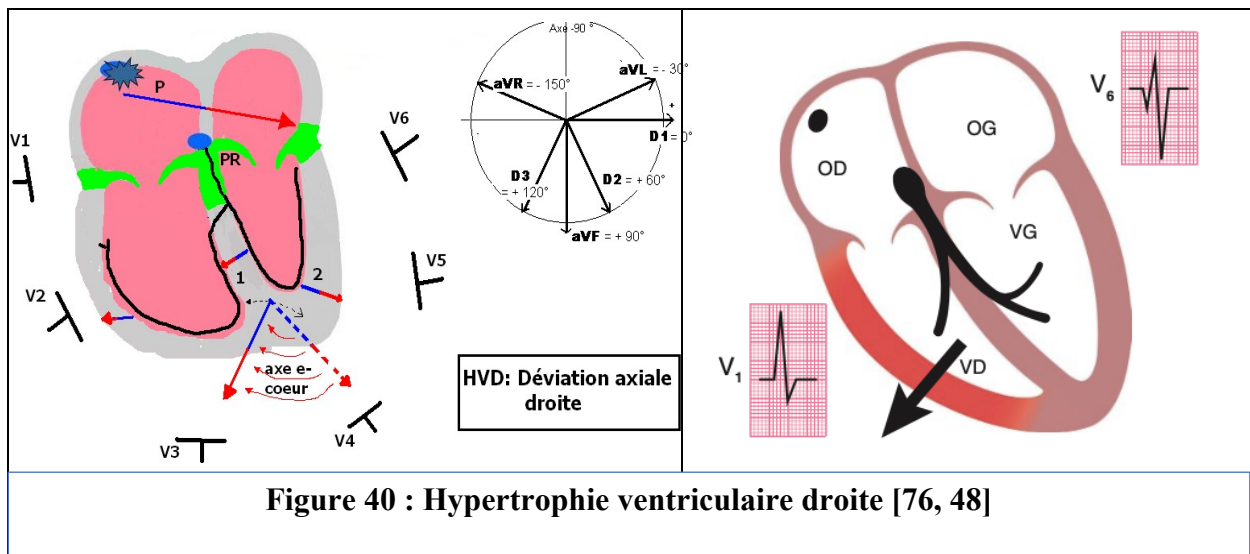


Figure 40 : Hypertrophie ventriculaire droite [76, 48]

### 2.10.1.5 L’Hypertrophie Ventriculaire Gauche « HVG »

L’HVG est caractérisée par une augmentation de la masse musculaire du ventricule gauche, pouvant avoir deux origines : une hypertrophie « HVG de type systolique » et une dilatation « HVG de type diastolique » [81] (Figure 41).

Elle s’observe au cours de nombreuses pathologies : souvent due à une valvulopathie aortique, une hypertension artérielle, une cardiomyopathie ou encore une coarctation de l’aorte.

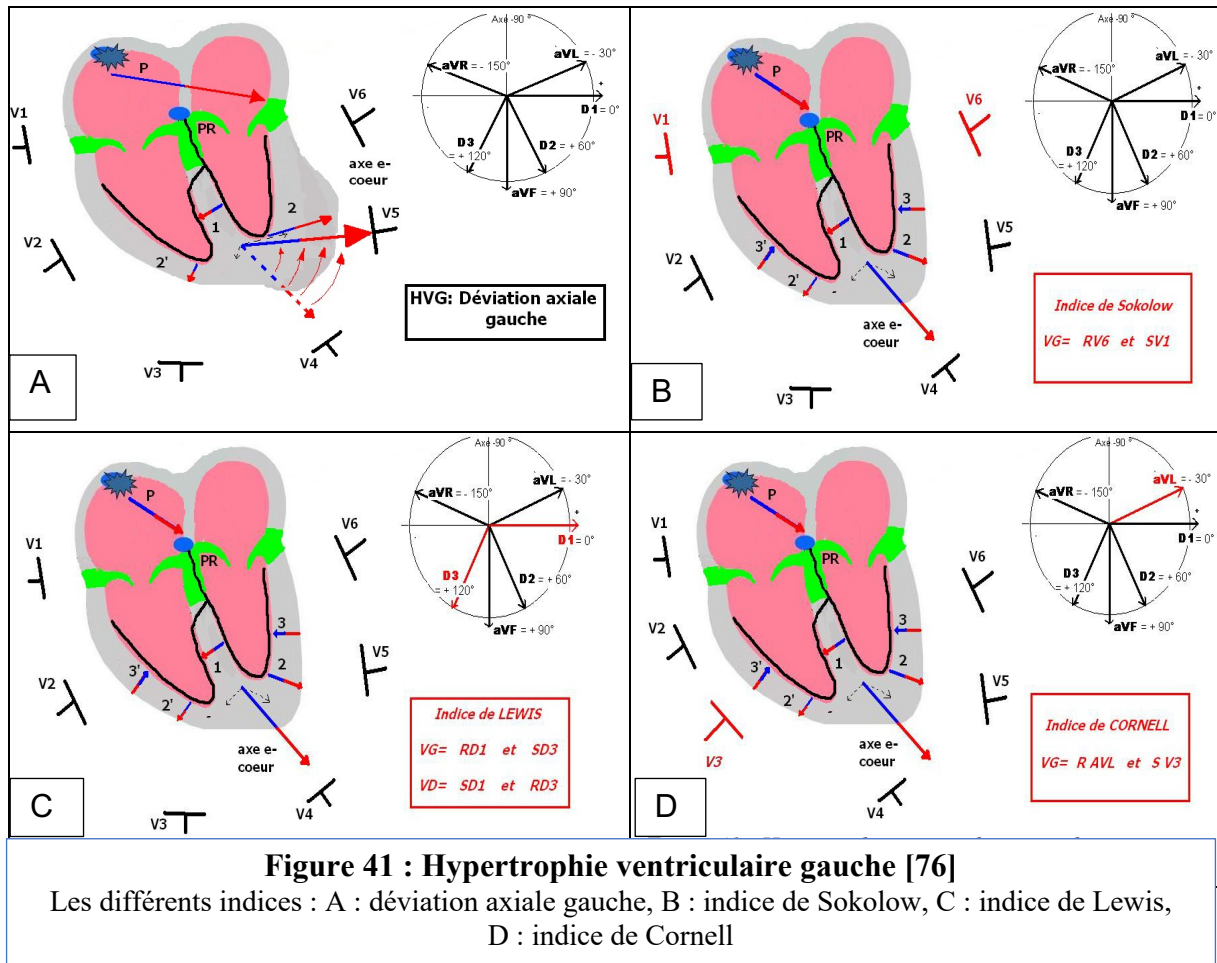
## PARTIE THÉORIQUE

Plusieurs anomalies électriques peuvent être observées [82] :

- Déviation axiale gauche.
- Augmentation de l'amplitude de l'onde R dans les dérivations gauches : V5, V6, D1, aVL.
- Onde S profonde en V1, V2.
- Sous-décalage concave du segment ST en V1, V2.
- Ondes T négatives dans les dérivations gauches en cas d'HVG de type systolique.
- Complexe QRS légèrement élargi.
- Présence d'une onde P mitrale.
- Intervalle QT légèrement allongé.

De nombreux critères et indices, rapportés dans la littérature, de sensibilité et de spécificité variables, permettent le diagnostic électrique d'une HVG [83, 84] :

- Les critères mono-dérivations :
  - Onde R en D1 > 15 mm, > 11mm en aVL, > 20 mm en aVF D2 ou D3, > 25mm en précordiales gauches.
  - Onde S > 14 mm en aVR, > 25 mm en précordiales droites.
- Les indices multi-dérivations :
  - **Indice de Sokolow-Lyon** : SV1 (ou V2) + RV5 (ou V6) > 35 mm c'était l'indice le plus utilisé.
  - **Indice de Cornell** : SV3 + R aVL > 28 mm chez les hommes, > 20 mm chez les femmes.
  - **Index de Lewis** : (R en D1 + S en D3) - (S en D1 + R en D3) > 17 mm.
  - **Romhilt-Estes point score** : SV1/2 > 30 mm, RV5/6 >30 mm ou RD1/2/3/aVF >20 mm.
  - **Indice de Gubner-Ungerleider** : RD1 + SD3 > 25 mm.
  - **Indice de Perugia** : positif si R en aVL + S en V3 > 20 mm (femme) ou > 24 mm (homme).
  - **Score de Framingham** : (R en aVL > 11 mm) ou (R en D1 + S en D3 > 25 mm) ou (S en V1/2/3 > 25 mm) + (R en V4/5/6 > 25 mm) ou (S en V1-2 + RV5-6 > 35 mm).



### 2.10.1.6 L'hypertrophie bi-ventriculaire

L'hypertrophie ventriculaire bilatérale est fréquemment l'expression d'une atteinte cardiaque sévère, ayant entraîné initialement une hypertrophie d'un ventricule, puis secondairement celle de l'autre, comme l'exemple de l'insuffisance mitrale [77].

L'hypertrophie ventriculaire bilatérale cumule des critères de l'HVD et de l'HVG (Figure 42). Mais le diagnostic électrocardiographique est souvent difficile, car les signes d'hypertrophie droite et gauche peuvent s'annihiler [85].

L'aspect du tracé dépend de la prédominance relative de l'une ou de l'autre, et les anomalies de l'une peuvent masquer les signes de l'autre [85].

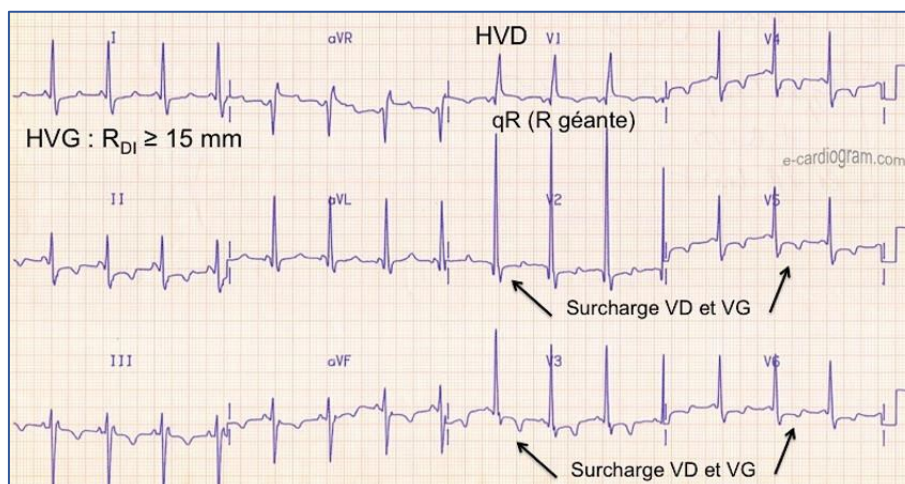
## PARTIE THÉORIQUE

Souvent, les signes ECG d'hypertrophie ventriculaire gauche dominante, mais sont associés à des signes qui ne s'observent pas habituellement en cas d'hypertrophie ventriculaire gauche [52] :

- Position atypique : axe vertical, droit ou hyperdroit.
- R ample en V1 et V2.
- $R/S > 1$  en V1, V2.
- Onde P pulmonaire d'HAD.

Si les signes d'hypertrophie ventriculaire droite prédominent, les signes suivants orientent vers la possibilité d'une hypertrophie ventriculaire gauche associée [85] :

- Position atypique : axe horizontal ou hypergauche.
- Onde R ample en V5 et V6 et V1-V4.
- Onde P mitrale d'HAG.



**Figure 42 : Hypertrophie bi-ventriculaire [52]**

### 2.10.2 LES TROUBLES DE LA CONDUCTION

#### 2.10.2.1 La dysfonction sinusale

Un dysfonctionnement sinusal est une altération de la transmission de l'activité électrique du nœud sinusal vers la musculature atriale, qui s'accompagne de symptômes cliniques manifestes, invalidants, définissant la maladie du sinus « SSS : Sick Sinus Syndrome » [86].

Cette déficience sinusale survient essentiellement chez les sujets âgés, dite dégénérative, ou due à un traitement antiarythmique, une anesthésie sympatholytique, une anomalie métabolique particulièrement l'hyperkaliémie ou endocrinienne (hypothyroïdie) [86].

La maladie sinusale peut, de point de vue électrophysiologique, se présenter sous différents aspects [87] :

- Une bradycardie sinusale inadaptée.
  - Un syndrome de bradycardie- tachycardie.
  - Une arythmie sinusale.
  - Une paralysie sinusale.
  - Un Bloc Sino-Atrial (BSA).
- Une bradycardie sinusale inadaptée correspond à une fréquence sinusale lente non physiologique, qui n'augmente pas ou de façon inadaptée à l'effort « incompetence chronotrope » [86].
  - Un syndrome de bradycardie - tachycardie « Brady-Tachy-Syndrom » est la survenue, avec une bradycardie pathologique, et de façon régulière, d'épisodes de tachycardie sinusale, ou de fibrillation auriculaire avec conduction ventriculaire rapide [86].
  - Dans le bloc sino-atrial, le nœud sinusal se dépolarise normalement, mais l'influx n'est pas transmis à l'oreillette, ce qui conduit à l'absence de façon intermittente de l'onde P [86].

Les BSA sont classés en trois degrés (Figure 43), de gravité croissante [86, 87, 88, 89] :

- **BSA 1<sup>er</sup> degré** : c'est un ralentissement de la conduction intra-atriale qui n'est pas décelable sur l'ECG, se traduisant par une simple bradycardie sinusale. Il peut être suspecté, si au décours d'une extrasystole, l'intervalle P-P post-extrasystole

## PARTIE THÉORIQUE

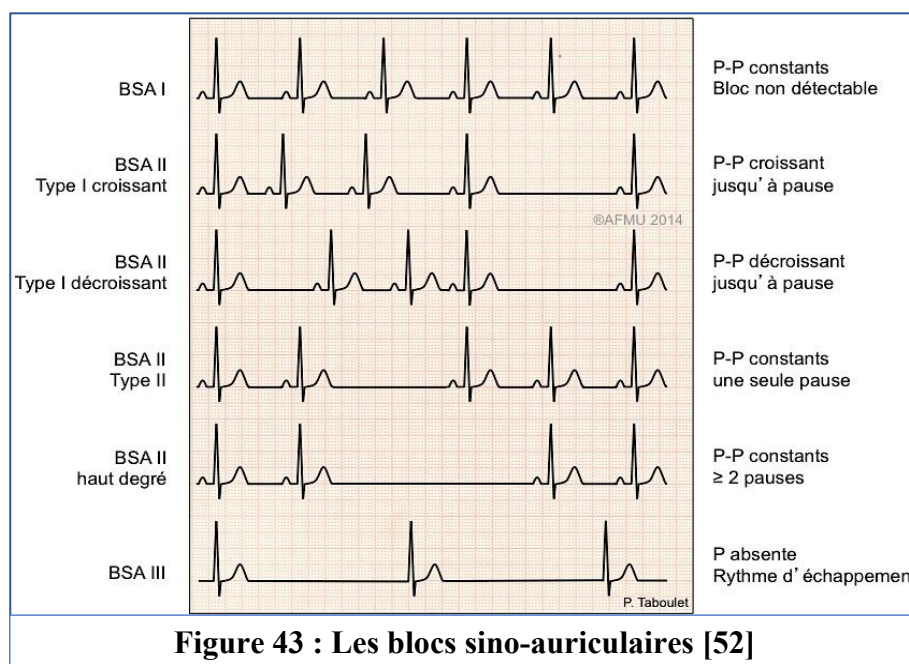
s'allonge brièvement. Le diagnostic est fait par une exploration électrophysiologique.

➤ **BSA 2<sup>ème</sup> degré** : est l'interruption complète de la conduction intra-atriale après plusieurs dépolarisations sinusales consécutives.

Il est divisé en deux types :

- **BSA 2<sup>ème</sup> degré type 1** : Wenckebach : avec un ralentissement croissant de la conduction sino-atriale jusqu'à une absence de la dépolarisation auriculaire. L'intervalle PP s'allonge progressivement jusqu'à la disparition d'une onde P. L'incrément est plus rarement négatif, avec des intervalles P-P qui sont décroissants.
- **BSA 2<sup>ème</sup> degré type 2** : Mobitz : BSA commun, se caractérise par des pauses intermittentes (sans onde P ni QRS) interrompant des cycles d'ondes P régulières. Ces pauses sont de longueur fixe, au moins égales à deux (bloc 2 :1) ou trois intervalles P-P normaux (bloc 3 :1) rarement plus.

➤ **BSA 3<sup>ème</sup> degré ou haut degré** : correspond à l'interruption complète et prolongée de la conduction intra-atriale avec des pauses sinusales longues, précédées et suivies d'un intervalle PP normal et apparition d'un rythme d'échappement par un foyer de substitution.



### 2.10.2.2 Les Blocs Atrio-Ventriculaires « BAV »

Il s'agit d'un retard ou un ralentissement, en un ou plusieurs sites de la conduction entre oreillette et ventricule, en effet le terme « bloc » est incorrectement utilisé sauf lors du BAV complet [90].

Le bloc siège dans le nœud AV (bloc intra nodal), le tronc commun du faisceau de His (bloc intrahissien) et/ou simultanément dans les deux branches de ce faisceau (bloc infrahissien) [90].

Le blocage de conduction AV est variable, d'un simple allongement de l'intervalle P-R à une, plusieurs ou toutes les ondes P bloquées [90].

Les étiologies d'un BAV sont nombreuses : hypertonie vagale, ischémie coronaire, hyperkaliémie, myocardites, maladie de Lenègre, cardiomyopathie, rétrécissement aortique, communication inter atriale, médicaments (les bêtabloquants, l'amiodarone, les inhibiteurs calciques, les digitaliques, les antiarythmiques de classe Ic, les stabilisants de membranes ou certains anesthésiques), maladies infectieuses ou inflammatoires...[90].

Sur le plan évolutif, nous distinguons deux types de BAV : BAV aigu et BAV chronique (paroxystique ou permanent) [90].

Le pronostic et la tolérance des BAV dépendent [90] :

- Du degré, si le bloc est incomplet.
- De la fréquence du rythme d'échappement, si le bloc est complet.
- De la fonction myocardique sous-jacente.
- Du siège du bloc.
- De l'étiologie.

Suivant l'importance du trouble de la conduction, on distingue trois grades : (Figure 44)

➤ **BAV 1<sup>er</sup> degré : [91]**

Retard ou prolongation de la conduction entre les oreillettes et les ventricules, sans qu'aucune impulsion atriale ne soit empêchée d'atteindre les ventricules.

Le bloc est le plus souvent intra-nodal, généralement asymptomatique, presque toujours bénin quand il est isolé, mais peut progresser vers un bloc de plus haut degré.

A l'ECG : Allongement fixe et constant de l'intervalle PR au-delà de 200 millisecondes (0.20 seconde).

## PARTIE THÉORIQUE

### ➤ **BAV 2<sup>ème</sup> degré :**

Certains influx auriculaires ne peuvent être conduits aux ventricules mais la conduction AV est encore possible, la transmission est partiellement interrompue « bloc partiel ». On distingue différents types de BAV du deuxième degré [92] :

### ➤ **BAV 2<sup>ème</sup> degré de type Mobitz I (Luciani-Wenckebach) [92] :**

Un allongement progressif du temps de conduction AV jusqu'au blocage complet de l'impulsion électrique des oreillettes.

Sur le tracé ECG : l'intervalle PR s'allonge progressivement de cycle en cycle jusqu'à ce que l'onde P ne soit plus suivie d'un complexe QRS (onde P bloquée).

Le bloc est le plus souvent de siège nodal et de bon pronostic.

### ➤ **BAV 2<sup>ème</sup> degré de type Mobitz II [93] :**

L'impulsion électrique des oreillettes est subitement bloquée de manière inopinée avec un intervalle PR stable mais inopinément une onde P n'est pas suivie de QRS.

Le siège du bloc est le plus souvent distal, infranodal, hissien ou sous-hissien.

Le risque de passage en BAV complet est plus grand qu'en cas d'un Mobitz I et le pronostic est plus défavorable.

- **BAV 2/1 [92] :**

Après chaque onde P donnant un complexe QRS, une onde P est bloquée. L'intervalle PR est stable.

Le BAV 2/1 peut correspondre aux deux extrêmes : un type Mobitz 1 (bénin) ou un type Mobitz 2 (malin).

- **Un BAV de haut degré [93] :**

C'est un bloc où plusieurs ondes P (au moins deux) successives peuvent être bloquées mais il n'est pas complet car la conduction raccroche à certains moments (BAV 3/1, 4/1, etc.)

### ➤ **BAV 3<sup>ème</sup> degré ou BAV complet [94] :**

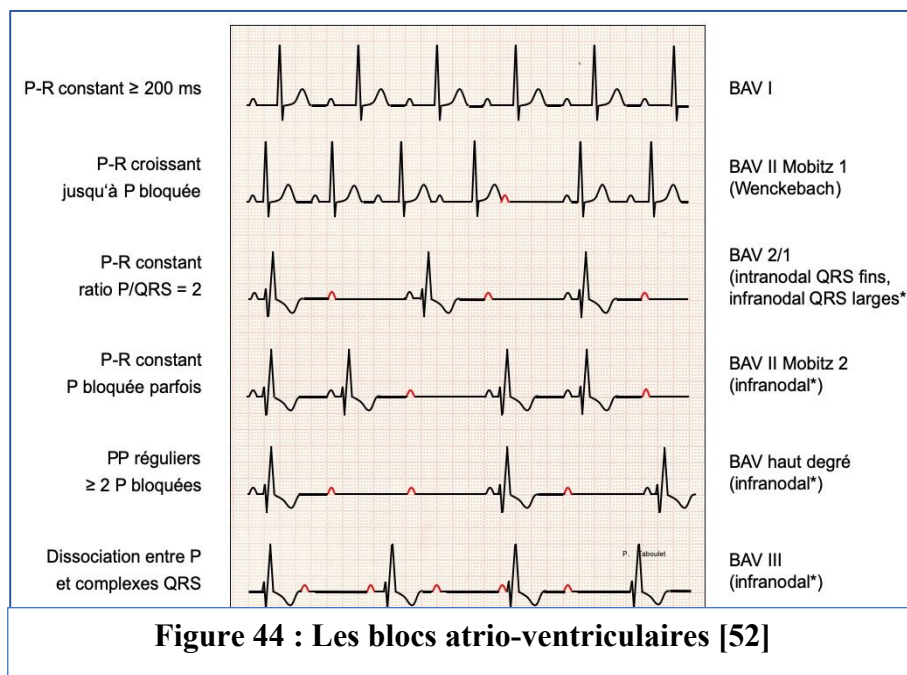
Interruption complète de la transmission des impulsions sinusales aux ventricules, aucune onde P n'entraîne de complexe QRS. La lésion responsable du blocage est située soit dans le nœud auriculo-ventriculaire, dans les branches ou plus rarement dans le tronc du faisceau de His.

Un foyer d'excitation automatique sous-jacent, pacemaker physiologique accessoire, hissien ou ventriculaire selon le niveau de blocage, se crée et prend la commande du cœur constituant un rythme d'échappement, ce dernier permet une bonne tolérance.

En cas d'apparition brutale d'un BAV complet, le temps nécessaire à l'établissement d'un foyer d'échappement est appelé « phase de pré-automatisme ».

**Les critères électrocardiographiques d'un BAV complet sont [95,96] :**

- Une **dissociation auriculo-ventriculaire** complète, les fréquences de dépolarisation des oreillettes et des ventricules sont régulières mais totalement dissociées l'une de l'autre, avec une fréquence ventriculaire inférieure à la fréquence auriculaire.
- Des complexes QRS réguliers plus ou moins larges dont la fréquence dépend du siège du foyer d'échappement.
- Lorsque le foyer d'échappement est proximal, au-dessus de la bifurcation du faisceau de His, les complexes QRS sont "fins" (< 120 millisecondes) et la fréquence d'échappement d'environ 40-50 battements par minute.
- Plus l'échappement est bas situé, plus le QRS est large et déformé, avec un risque accru de longue pause (asystolie), et la fréquence ventriculaire de 30 à 40 battements par minute.



**Figure 44 : Les blocs atrio-ventriculaires [52]**

## PARTIE THÉORIQUE

### 2.10.2.3 Les Blocs de Branche « BB »

Les blocs de branches correspondent à un ralentissement (bloc incomplet) ou une interruption anatomique (bloc complet) et/ou fonctionnelle (aberration) de la conduction intraventriculaire sur une ou plusieurs branches du faisceau de His. Ce blocage peut affecter soit la branche droite soit la branche gauche, ou l'un de ses deux faisceaux, parfois les deux branches [97, 98].

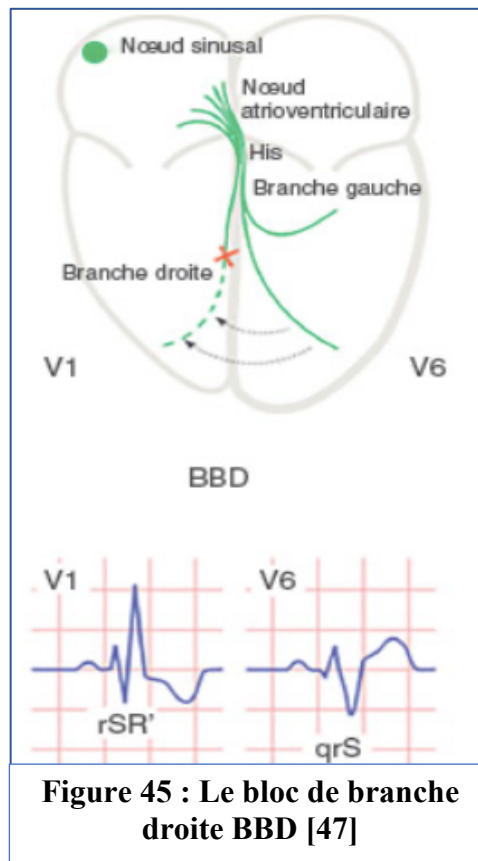
Sur l'ECG un bloc de branche se caractérise par une modification de la largeur des QRS. Il s'accompagne d'anomalies secondaires de la repolarisation, se traduisant par un décalage du segment ST et une onde T opposée à l'axe du QRS.

Le BB est incomplet entre 100 et 120 millisecondes, et complet s'il est supérieur à 120 millisecondes [98].

⇒ **Le Bloc de Branche Droite « BBD »** (Figure 45)

Interruption de la conduction dans la branche droite du faisceau de His, caractérisée par [99] :

- Un retard droit en V1-V2 avec aspect en M : rsr', rsR', rSR' avec une onde r initiale moins ample et large que l'onde r' ou R'.
- Le retard à l'apparition de la déflexion intrinsécoïde en V1 est > 50 millisecondes.
- Une onde S peu profonde, mais large en D1 ou V6 (de durée supérieure à R ou S > 40 millisecondes chez l'adulte).
- Une déviation axiale droite des QRS, avec grande onde S empâtée en D1 et V6.
- Une onde T négative.



### ➤ Le Bloc de Branche Gauche « BBG »

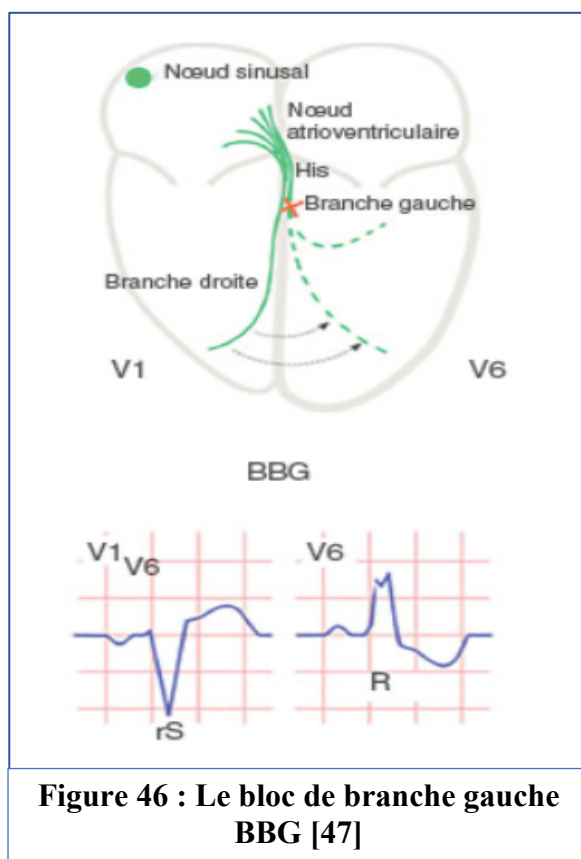
Interruption de la conduction dans la branche gauche, se définissant par l'association des signes suivants [94, 100] (Figure 46) :

- Une onde R large, crochetée (RR') ou empâtée, aspect en M en V5-V6 et D1-aVL.
- Une apparition retardée de la déflexion intrinsécoïde en V5-V6 (TIR > 60 millisecondes), mais normale en V1-V3 (quand l'onde r est détectable).
- Un aspect QS ou rS en dérivation précordiales droites.
- Une onde T inversée et asymétrique en D1, aVL, V5 et V6.

En cas d'infarctus, le BBG rend le diagnostic difficile. Le BBG est moins anodin que le BBD. Le plus souvent secondaire à une atteinte organique anatomique (lésion), parfois fonctionnel en cas d'aberration, ou réversible (toxique, métabolique, ischémique...).

Il nécessite des examens à la recherche d'une myocardiopathie ou une cardiopathie ischémique [101].

## PARTIE THÉORIQUE



### ➤ Le bloc fasciculaire antérieur gauche

L'HémiBloc Antérieur Gauche « HBAG » fait suite au blocage de la conduction de l'influx au niveau du faisceau antérieur de la branche gauche du faisceau de His. Il est caractérisé par [102] (Figure 47) :

- Une déviation axiale gauche, au-delà de  $-45^\circ$  (hypergauche).
- Dans les dérivations précordiales, on retrouve des ondes S profondes en V5 et V6, une montée lente de l'onde R dans toutes les dérivations précordiales, et dans les dérivations D1 et aVL on distingue une petite onde Q (qR en D1), rS en D2 et D3.
- Une onde Q en D1 et aVL.

Les étiologies sont nombreuses et peu spécifiques. Les plus fréquentes sont le vieillissement et l'hypertrophie ventriculaire gauche [102].

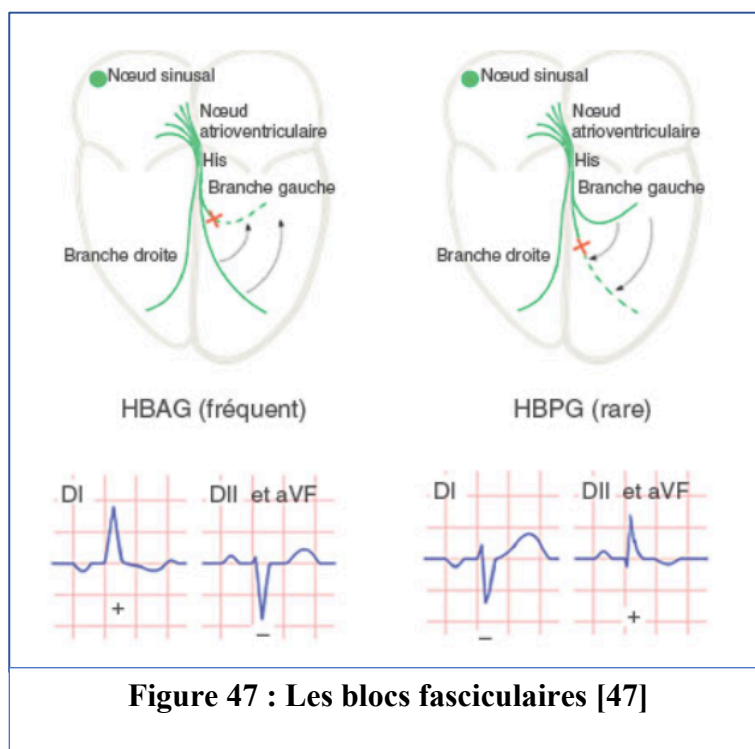
### ➤ Le bloc fasciculaire postérieur gauche [103]

L'HémiBloc Postérieur Gauche « HBPG » traduit un blocage de l'hémibranche postérieure de la branche gauche du faisceau de His (Figure 47).

Plus rare que l'HBAG, il atteste d'une atteinte sévère du tissu conducteur et doit conduire à rechercher systématiquement un trouble conducteur de plus haut degré.

Le diagnostic de l'HBPG est difficile sur l'ECG, il comporte :

- Une déviation axiale droite ou hyperdroite  $> + 90^\circ$ .
- Une petite onde Q en D2, D3 et aVF.
- Une montée lente de l'onde R dans les dérivations précordiales : qR en D2 et D3, rS en D1.



➤ **Le bloc bilatéral, alternant ou à bascule [104] :**

Bloc de conduction intraventriculaire qui touche de façon plus ou moins simultanée les trois faisceaux majeurs du faisceau de His : branche droite et faisceaux antérieur et postérieur de la branche gauche, donnant :

- Un bloc de branche droit alternant avec un bloc de branche gauche ;
- Un bloc de branche droit associé avec tantôt un bloc fasciculaire antérieur gauche et tantôt un bloc fasciculaire postérieur gauche en alternance ;
- Un bloc AV complet intermittent.

## PARTIE THÉORIQUE

### ➤ Le bloc bifasciculaire [105] :

Interruption de la conduction dans 2 des 3 divisions principales du faisceau de His :

- Un bloc de branche gauche complet.
- Un bloc de branche droit associé à un bloc fasciculaire gauche (HBAG ou HBPG).
- Un bloc fasciculaire antérieur ou postérieur gauche alternant (exceptionnel).

L'association « BBD et HBAG » est fréquente dans l'évolution d'une cardiopathie et n'évolue que rarement vers un bloc AV de haut degré.

L'association « BBD et HBPG » est exceptionnelle, mais évolue constamment vers un BAV 2 type Mobitz 2 ou un BAV 3, et des explorations complémentaires sont nécessaires pour en préciser le pronostic.

### ➤ Le bloc trifasciculaire

Interruption complète ou incomplète, permanente ou en alternance des trois divisions principales du faisceau de His (branche droite, faisceau antérieur gauche, faisceau postérieur gauche). Il s'agit d'un bloc infranodal de mauvais pronostic [106].

A l'ECG, il peut s'exprimer par : [107]

- L'alternance d'un BBD complet avec un BBG complet donnant un bloc bilatéral.
- L'association d'un BBD complet et d'un HBAG alternant avec un HBPG.
- L'association d'un BAV 2 Mobitz II avec un BB complet (droit ou gauche).
- L'association d'un BAV 2 Mobitz I avec un bloc bifasciculaire complet et permanent.

### 2.10.3 LES TROUBLES DU RYTHME « TDR »

Les Troubles Du Rythme (TDR) ou les arythmies résultent d'anomalies dans la genèse ou la conduction de l'impulsion électrique. Ils peuvent survenir sur cœur apparemment sain ou compliquer une cardiopathie préexistante.

Ils sont distincts par leur (s) mécanisme (s), leur siège et leur caractère bénin ou malin [108].

- Trois facteurs principaux déterminent leur survenue et définissent le « triangle de l'arythmogenèse de Coumel » [108] :
  - Un substrat électrophysiologique.
  - Un facteur gâchette.
  - Des facteurs modulateurs péjoratifs.
- Les mécanismes responsables sont [104] :
  - ⇒ Hyperautomatisme : c'est la décharge d'un foyer physiologique.
  - ⇒ Automatisme anormal : la décharge d'un foyer ectopique (post-dépolarisation)
  - ⇒ Un circuit de réentrée (microréentrée ou macroréentrée), de loin le mécanisme le plus fréquent.

Le siège d'une arythmie peut être : atrial, jonctionnel ou ventriculaire [109].

Les arythmies sont de tolérance variable, allant de la simple gêne à l'altération sensible de la qualité de vie du fait de symptômes invalidants [109].

- Certaines arythmies sont bénignes évoluant vers la résolution spontanée, exemples : arythmie sinusale, extrasystoles atriales, extrasystoles ventriculaires bénignes, bigéminisme..., d'autres malignes pouvant évoluer vers la mort subite, exemples : extrasystoles ventriculaires malignes, torsade de pointes, tachycardie ventriculaire... [110].

#### **Classification des troubles du rythme : [109]**

##### **➤ Les anomalies du rythme sinusal :**

- La bradycardie sinusale
- La tachycardie sinusale
- L'arythmie sinusale

## PARTIE THÉORIQUE

### ➤ Les troubles du rythme auriculaires :

- L'extrasystole atriale
- La tachysystolie atriale
- La fibrillation atriale
- Le flutter atrial

### ➤ Les troubles du rythme jonctionnels :

- L'extrasystole jonctionnelle
- La tachycardie jonctionnelle par réentrée intra nodale
- La tachycardie par réentrée sur un faisceau accessoire = Wolff-Parkinson-White

### ➤ Les troubles du rythme ventriculaires :

- L'extrasystole ventriculaire
- Le rythme idio-ventriculaire
- La tachycardie ventriculaire
- La torsade de pointes
- La fibrillation ventriculaire

### 2.10.3.1 Les anomalies du rythme sinusal

#### 2.10.3.1.1 La bradycardie sinusale

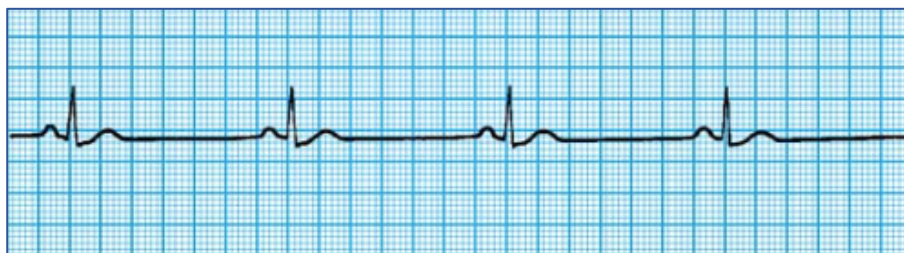
Le rythme est sinusal, chaque onde P est suivie d'un complexe QRS, avec une fréquence cardiaque inférieure à 50 battements par minute [86] (Figure 48).

Une fréquence proche de 40 /min peut être appropriée (hypertonie vagale du sportif, relaxation ou per anesthésie) sur cœur sain [86].

Les étiologies [111] :

- La principale est une hypertonie vagale.
- Une étiologie iatrogène est fréquente : amiodarone, bêtabloquant, digoxine, inhibiteur calcique, morphino-mimétique, ivabradine, thalidomide...
- Une cardiopathie ischémique.
- Une étiologie métabolique peut engager le pronostic (hyperkaliémie, hypothermie, hypothyroïdie).
- Une déficience sinusale dégénérative du sujet âgé.

Si la bradycardie sinusale est sévère, des complexes d'échappement ou des rythmes d'échappement peuvent survenir.



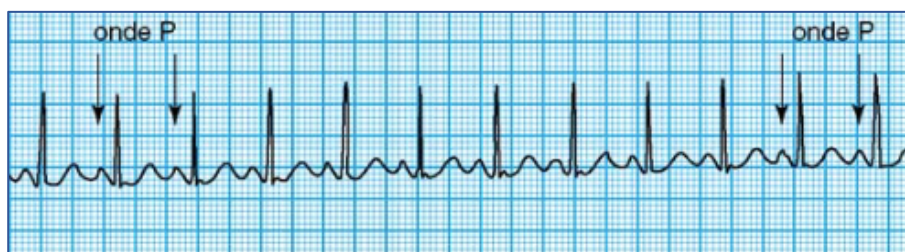
**Figure 48 : La bradycardie sinusale [18]**

### 2.10.3.1.2 La tachycardie sinusale

Décharge sinusale rapide avec une fréquence cardiaque supérieure à 100 battements par minute, chaque onde P est suivie d'un complexe QRS [112] (Figure 49).

Les principales causes sont [113] :

- Physiologiques : nourrisson et enfant, effort surtout chez les athlètes, anxiété, douleur, fièvre.
- Médicamenteuses : adrénaline, atropine, sympathomimétiques, ...
- Cardiologiques : Cardiopathie ischémique, Insuffisance cardiaque, ...
- Embolie pulmonaire.
- Anémies, hyperthyroïdie, hypovolémie...



**Figure 49 : La tachycardie sinusale [18]**

### 2.10.3.1.3 L'arythmie sinusale

Le rythme est sinusal mais irrégulier, avec une variation de la fréquence cardiaque observée pendant l'inspiration et l'expiration, liée aux modifications du tonus sympathique et parasympathique au cours du cycle respiratoire. Elle correspond à une optimisation de la fréquence cardiaque en fonction des échanges gazeux [114].

La fréquence cardiaque augmente normalement durant l'inspiration, en réponse réflexe à l'augmentation du volume sanguin retournant au cœur, et diminue pendant l'expiration.

Ce phénomène physiologique est signe de bonne santé, il est anodin et ne nécessite aucune exploration ni traitement [115].

## PARTIE THÉORIQUE

Sur l'ECG, les ondes P sinusales sont normales, chaque onde P est suivie d'un complexe QRS et les intervalles R-R varient de plus de 160 millisecondes, se raccourcissant au cours de l'inspiration et s'allongeant durant l'expiration [116] (Figure 50).

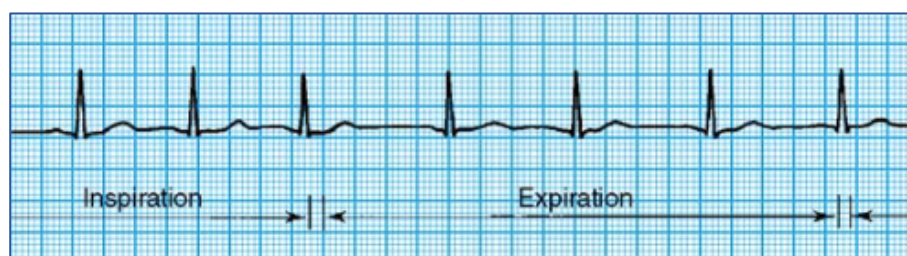


Figure 50 : L'arythmie sinusale [18]

### 2.10.3.2 Les troubles du rythme auriculaires

#### 2.10.3.2.1 L'extrasystole atriale « ESA »

Une extrasystole est, comme son nom l'indique, une activité électrique cardiaque anticipée/précoce et ectopique de morphologie différente, provenant soit des oreillettes, soit des ventricules, exceptionnellement de la jonction AV, qui s'intercalent dans un rythme de base et le perturbent [117].

L'ESA est un battement ectopique survenant prématurément avant le temps escompté, secondaire à l'existence d'un foyer d'automatisme anormal, situé dans l'oreillette gauche ou droite ou une veine pulmonaire [117].

Diagnostic ECG [118] (Figure 51) :

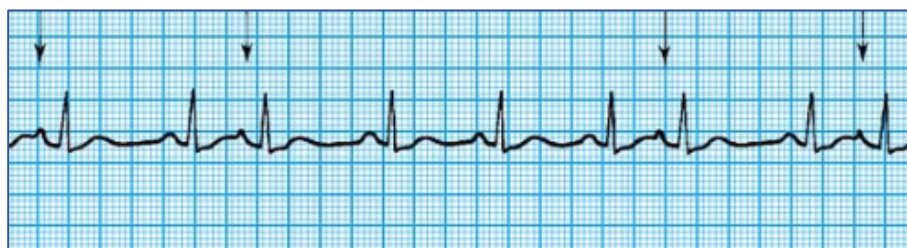
- Présence d'un atriogramme prématuré (onde P'), de morphologie différente de l'onde P sinusale.
- L'intervalle P'-R est souvent différent de l'intervalle P-R en rythme sinusal, parfois plus court si l'ESA naît dans l'oreillette droite basse, à proximité du nœud AV.
- Le complexe QRS conduit est généralement identique aux QRS d'origine sinusale.

Les ESA nombreuses, répétitives (en doublet, triplet ou en salve), polymorphes ou à couplage court constituent un état d'hyperexcitabilité atriale qui expose au risque d'arythmie atriale [118].

Les ESA sont fréquentes et anxiogènes, mais le plus souvent bénignes chez le sujet sain.

Leur incidence augmente avec l'âge, elles sont quasi constantes au-delà de 60 ans.

Le facteur déclenchant des ESA (catécholaminergique ou vagal, ischémique, hypokaliémie, caféine, stress, toxique...), le substrat et les facteurs modulateurs sont importants à connaître, surtout si un traitement antiarythmique est envisagé [119].



**Figure 51 : L'extrasystole atriale [18]**

### 2.10.3.2.2 La tachysystolie atriale « TSA »

Au cours de la tachycardie atriale les influx sont générés par un foyer ectopique situé plus volontiers dans une quelconque région du myocarde auriculaire que dans le nœud sinusal, elle correspond à un état d'hyperexcitabilité atriale, souvent annonciatrice d'une fibrillation atriale ou d'un flutter [120].

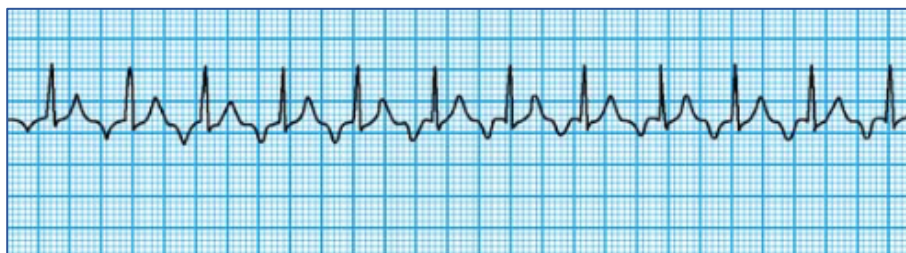
La TSA peut être focale (TAF), due à une activation centrifuge de l'oreillette à partir d'une petite région atriale, et son mécanisme est soit un hyperautomatisme, soit une microréentrée, elle est régulière avec une fréquence atriale entre 130 et 240 battements par minute, permanente ou paroxystique [120] (Figure 52).

En fonction de leur localisation, les ondes atriales (P') sont différentes des ondes P sinusales. Elles peuvent être négatives, étroites ou larges, anormalement pointues [121].

La TAM ou la tachysystolie atriale multifocale, est caractérisée par la coexistence de plusieurs foyers avec multiples extrasystoles atriales polymorphes, associant au moins trois ondes P' différentes, souvent en salves [121].

Elles peuvent survenir sur cœur sain, quel que soit l'âge, fréquentes chez les sujets âgés, mais sont souvent associées à des anomalies structurales. Elles représentent environ 5 % des tachycardies supraventriculaires, ses principales causes sont : [122]

- Une intoxication par la digoxine.
- Une cardiopathie ischémique ou rhumatismale.
- Une broncho-pneumopathie chronique obstructive
- L'usage d'agents sympathomimétiques : salbutamol, cocaïne, amphétamines, ...



**Figure 52 : La tachysystolie atriale [18]**

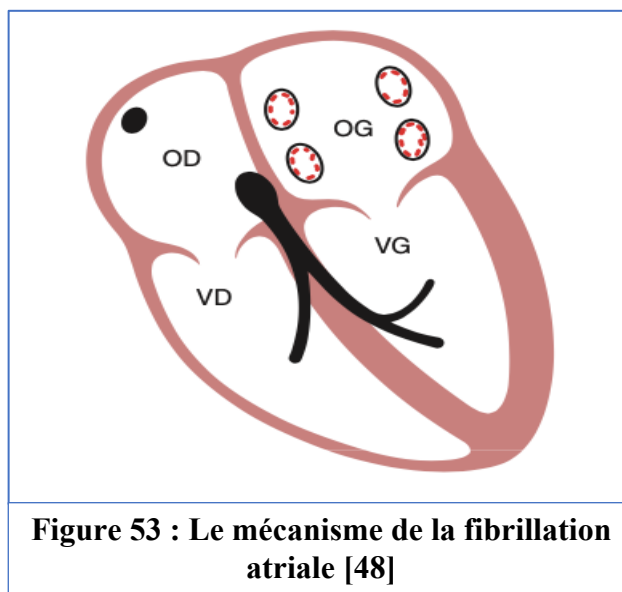
### 2.10.3.2.3 La Fibrillation Atriale « FA »

La FA est une tachycardie atriale en rapport avec une activité électrique anarchique du myocarde atrial, encore appelée arythmie complète par fibrillation atriale ou AC/FA conduisant à une dépolarisation désordonnée parcourant les oreillettes du fait de multiples « vaguelettes » d'activation, responsable d'une défaillance de la contraction atriale efficace, et par conséquent une chute de 10 à 15% du débit cardiaque par perte de la systole auriculaire, en réduisant le remplissage ventriculaire [123].

C'est la plus fréquente des tachycardies supraventriculaires, touchant 5 à 10 % des sujets âgés. La FA est responsable de contractions non coordonnées et inefficaces de l'oreillette et entraîne une surmortalité par décompensation cardiaque ou accident embolique [124].

Elle peut être paroxystique en général < 48 heures ou maximum < 7 jours, cessant spontanément avec retour au rythme sinusal, persistante et continue > 7 jours et/ou nécessitant une cardioversion, sans interposition d'épisodes de rythme sinusal, ou permanente > 7 jours, cardioversion inefficace ou futile : elle est continue sans espoir de restauration du rythme sinusal [124].

Elle résulte de multiples foyers ectopiques situés au niveau des veines pulmonaires ou dans l'oreillette gauche (surtout) et doués d'automatisme anormal ou de nombreux circuits de microréentrées secondaires à des plages de fibrose atriale [125] (Figure 53).



Sur l'ECG, le diagnostic repose sur des critères majeurs (a, b, c) et mineurs (d et e) qui sont : [126,127] (Figure 54)

- a. L'absence d'onde P sinusale.
- b. Des atriogrammes qui varient de façon anarchique en amplitude, forme et fréquence (ondes f entre 300 et 500/min).  
Ils forment une ondulation ou trémulation de la ligne de base qui peut être relativement ample ou à peine visible dans les formes vieilles.
- c. Des intervalles R-R totalement irréguliers « rythme irrégulièrement irrégulier ».
- d. Des complexes QRS à fréquence rapide (100-150/mn).
- e. Des complexes QRS fins, les QRS peuvent être larges en cas de bloc de branche lésionnel, aberration ventriculaire, préexcitation ou rythme infra-nodal en cas de bloc AV de haut degré.

La fréquence cardiaque des QRS est fonction des possibilités de conduction du NAV, définissant une FA à réponse ventriculaire rapide ou à réponse ventriculaire lente [127].

Une fois la fibrillation auriculaire diagnostiquée, la cause doit être recherchée [128,129] :

- Elle peut être isolée chez le sujet jeune < 60 ans, sans HTA ni argument clinique ou échocardiographique pour une maladie cardio-pulmonaire, elle est favorisée par l'effort ou une hypertonie vagale.

## PARTIE THÉORIQUE

- Causes secondaires cardiaques : ischémie coronaire, valvulopathie, hypertension artérielle, cardiomyopathie, péricardite et myocardite, chirurgie cardiaque, cathéter dans l'oreillette.
- Causes secondaires extracardiaques : sepsis, pneumopathie, hypokaliémie, hypothermie ou une apnée du sommeil, embolie pulmonaire, intoxication à composante bêta-adrénergique (cocaïne, amphétamines...), mécanisme neurogène, médicaments, hyperthyroïdie, alcoolisation massive ou chronique.

Le contrôle de la fréquence cardiaque est obtenu avec des substances bloquant le nœud auriculo-ventriculaire telles que la digoxine, le vérapamil ou les bêtabloquants [129].



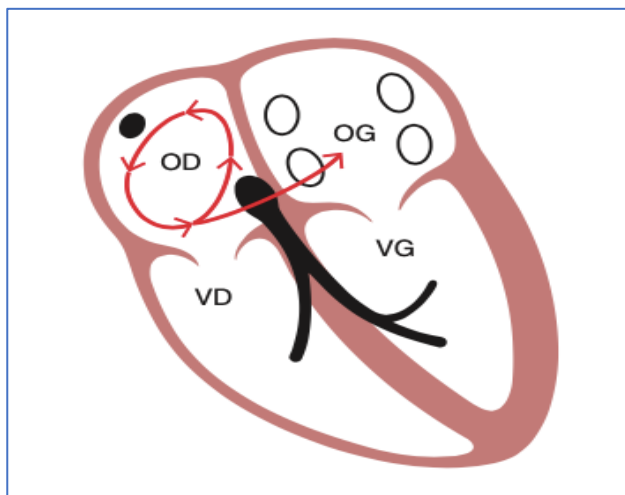
**Figure 54 : La fibrillation atriale [18]**

### 2.10.3.2.4 Le flutter atrial

C'est une tachycardie atriale qui se manifeste par des contractions auriculaires plus lentes, régulières et coordonnées que la FA, les battements ventriculaires sont réguliers en permanence ou par intermittence [130].

Cette arythmie réduit le débit cardiaque et provoque une stase sanguine dans le cœur, augmentant le risque d'insuffisance cardiaque, et d'accidents thrombo-emboliques [130].

Le flutter atrial résulte habituellement d'une boucle d'activation atriale se répétant à l'identique « arythmies par réentrée », autour d'un ou plusieurs obstacle(s) anatomique(s) ou fonctionnel(s). Cette activation est « organisée » en circuit de macroréentrée à l'intérieur de l'oreillette droite qui tourne dans le sens anti-horaire, par opposition à l'activation d'une oreillette en fibrillation atriale qui est « fibrillatoire » ou anarchique [131] (Figure 55).

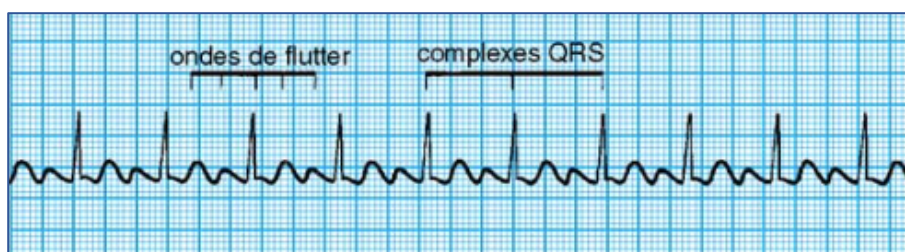


**Figure 55 : Le mécanisme du flutter atrial [48]**

Le flutter atrial est dix fois moins fréquent que la fibrillation atriale, il en partage les étiologies, les conséquences hémodynamiques et le pronostic, quoique moins emboligène. Les flutters peuvent se transformer en fibrillation atriale et vice versa, se chroniciser ou se réduire spontanément [132].

Le diagnostic électrique du flutter atrial commun est en général facile et repose sur [133] (Figure 56) :

- Activité atriale monomorphe, rapide et régulière, sans retour à la ligne isoélectrique, l'enchaînement de ces ondes atriales appelées onde F, donne un aspect sinusoïdal dit en « battements d'ailes » (flutter en anglais), « en dents de scie » ou encore « en toit d'usine ».
- La fréquence atriale est comprise entre 250 et 350 /min.
- La fréquence ventriculaire est généralement à 150 /min.



**Figure 56 : Le flutter atrial [18]**

## PARTIE THÉORIQUE

### 2.10.3.3 Les troubles du rythme jonctionnels

#### 2.10.3.3.1 L'extrasystole jonctionnelle « ESJ »

L'ESJ est une activité électrique anormale et prématurée prenant naissance au niveau de la jonction atrioventriculaire, soit nodale, soit hissienne [133].

Les ESJ dites « communes » vont activer les ventricules par voie antérograde, donnent naissance à un complexe QRS survenant plus tôt que prévu. Les oreillettes vont être activées par voie rétrograde, ce qui se traduit par une inversion de l'onde P et sa survenue avant, pendant ou après le complexe QRS [134].

Les ESJ sont rares, avec des aspects ECG variés et trompeurs, se traduisant généralement par [135] (Figure 57) :

- Un complexe QRS prématuré d'aspect fin, identique ou légèrement élargi à celui des complexes sinusaux.
- Une onde P rétrograde à polarité négative en dérivations inférieures avec un intervalle P-R < 0,12 secondes), soit survenant pendant le QRS, soit après le QRS.



Figure 57 : L'extrasystole jonctionnelle [18]

#### 2.10.3.3.2 La tachycardie jonctionnelle « TJ » par réentrée

La TJ appartient au sous-groupe des tachycardies supraventriculaires, elle correspond à un rythme idio-jonctionnel accéléré, il en existe deux formes [136] :

- Les tachycardies par réentrée, soit auriculoventriculaire dédoublée, soit nodale appelée Maladie de Bouveret.
- Les tachycardies par rythme réciproque, correspondant à une réentrée par une voie accessoire (faisceau de Kent), détaillées ultérieurement.

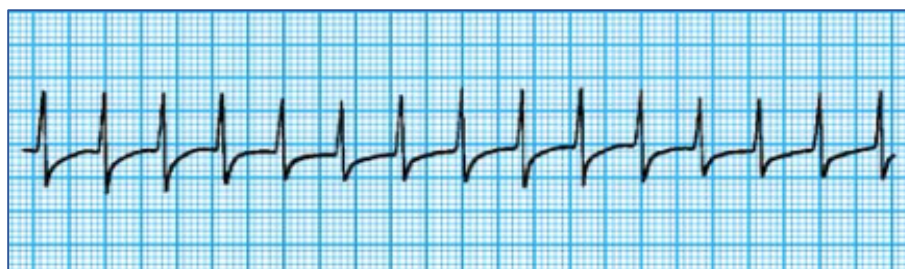
D'un point de vue physiopathologique, la TJ est liée à une stimulation en boucle « réentrée » qui va s'auto-entretenir. Il existe deux voies de conduction au niveau de la région nodale ou paranodale, avec un blocage unidirectionnel de l'une de ces deux voies : l'une est à conduction lente, transmettant la stimulation de façon antérograde « slow pathway », l'autre voie est à conduction rapide, qui transmet la stimulation de manière rétrograde « fast pathway » [137].

La tachycardie jonctionnelle a souvent un début marqué par une accélération progressive et une fin par une décélération progressive (*warm up* et *cool down*), elle est réduite par les manœuvres vagales ou par l'adénosine en intraveineux [138].

La TJ est rare et méconnue. Elle s'observe physiologiquement chez des sujets jeunes (hyperadrénergique ou en cas de fièvre), dans le cadre d'une toxicité médicamenteuse (digitalique ou théophylline), d'une ischémie myocardique. Certaines formes sont secondaires à une chirurgie cardiaque [138].

La tachycardie par réentrée auriculo-ventriculaire ou nodale ont en commun les caractéristiques électriques suivantes [139] (Figure 58) :

- L'activité atriale est monomorphe avec un retour à la ligne isoélectrique visible entre deux ondes P (critère majeur), les ondes P sont soit invisibles, incluses dans les complexes QRS, soit rétrogrades inversées, se présentent à la fin de QRS sous forme d'une petite onde S.
- Les complexes QRS sont généralement fins, il s'agit de tachycardie très régulière, souvent rapide, avec une fréquence entre 100 et 130 /min, rarement plus, selon le mécanisme de l'arythmie et le tonus sympathique.



**Figure 58 : La tachycardie jonctionnelle par réentrée [18]**

## PARTIE THÉORIQUE

### 2.10.3.3.3 La tachycardie par réentrée sur un faisceau accessoire

Les tachycardies liées à une voie de conduction accessoire ont été décrites pour la première fois par les découvreurs Wolff, Parkinson et White « WPW » [140].

Le syndrome WPW est un syndrome de pré-excitation, au cours duquel il existe un pont musculaire atrioventriculaire, c'est le faisceau accessoire de Kent, qui transmet la stimulation du nœud sinusal vers les ventricules de façon plus rapide [140].

L'influx descend depuis une oreillette jusqu'au ventricule via un faisceau accessoire perméable dans le sens antérograde et remonte vers l'oreillette par la voie nodo-hissienne de façon rétrograde avant de descendre à nouveau par le faisceau accessoire, donnant une tachycardie paroxystique [141].

La tachycardie est dite orthodromique quand l'influx descend au ventricule par la voie normale et remonte du ventricule à l'oreillette par le faisceau accessoire donnant des ondes P visibles après des complexes QRS fins, et antidromique quand la descente initiale se fait par le faisceau accessoire et la remontée par le NAV à l'origine de QRS larges [141].

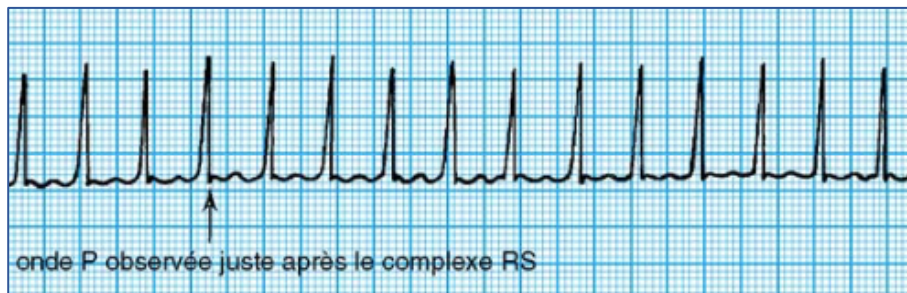
Une tachycardie par réentrée atrioventriculaire antidromique est généralement bien tolérée, mais la possibilité de passage en fibrillation atriale à réponse ventriculaire très rapide est possible spontanément ou lors de la cardioversion. Le risque de transformation secondaire en fibrillation ventriculaire, est exceptionnel mais réel.

Le diagnostic différentiel majeur est une tachycardie ventriculaire, bien que la tolérance et le terrain soient généralement différents [142,143].

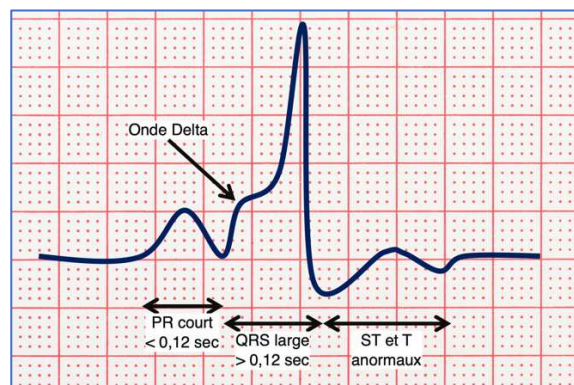
Sur le tracé ECG, on retrouve des signes caractéristiques liés à l'existence d'une pré-excitation ventriculaire sur un rythme sinusal [144] (Figure 59) :

- Tachycardie rapide et régulière 120 à 250 /min
- Raccourcissement de l'espace PR < 0.12 secondes, dû à une dépolarisation prématurée, directe des ventricules par le faisceau accessoire, sans passer par la voie nodo-hissienne.
- Une montée lente du complexe QRS l'élargissant modérément, dessinant une onde delta (Figure 60).

- Repolarisation anormale et précoce des ventricules avec un sous-décalage du segment ST caractéristique.



**Figure 59 : La tachycardie jonctionnelle par réentrée dans le syndrome WPW [18]**



**Figure 60 : L'onde Delta du syndrome WPW [34]**

### 2.10.3.4 Les troubles du rythme ventriculaires

#### 2.10.3.4.1 L'extrasystole ventriculaire « ESV »

L'ESV est un battement ectopique prématuré, originaire du myocarde ventriculaire et parfois du faisceau de His ou des fibres de Purkinje. L'influx dépolarise les ventricules de proche en proche et remonte par voie rétrograde vers le nœud AV, via le faisceau de His. Il peut y rester bloqué ou gagner les oreillettes qu'il dépolarise de façon rétrograde [145].

Du point de vue électrocardiographique, les ESV se caractérisent par [146] (Figure 61) :

- La survenue prématurée d'un complexe QRS élargi, déformé, avec aspect de bloc de branche.
- L'absence d'onde P préalable.
- Une pause compensatrice post-extrasystole.

## PARTIE THÉORIQUE

- Une repolarisation altérée avec un décalage du segment ST opposé au sens de la déflexion principale du QRS « discordance appropriée ».
- La fréquence des ESV augmente avec l'âge. Le plus souvent, elles sont bénignes et idiopathiques, mais elles peuvent se manifester par des palpitations gênantes, révéler ou déclencher une arythmie ventriculaire plus sévère ou une cardiopathie, raison pour laquelle il faut évaluer leur origine et leur caractère bénin ou malin [147].

L'origine de l'ESV doit être précisée à l'aide de son amplitude, sa largeur, son axe dans le plan frontal et son aspect en dérivation V1. Ainsi en fonction de sa localisation, on distingue : [148,149]

- La partie haute du septum interventriculaire : les ESV sont amples et peu élargies < 0,12 secondes.
- Le ventricule gauche : les ESV ont une prédominance positive en V1 avec un retard droit.
- Le ventricule droit ou le septum : les ESV ont une prédominance négative en V1 avec un retard gauche, et sont le plus souvent bénignes que celles originaires du ventricule gauche.
- Si l'axe est dévié à droite (D1 négatif) elles proviennent de la partie antérieure de division de la branche gauche et si l'axe est dévié à gauche (D1 positif), elles proviennent de la partie postérieure de cette division.
- Les ESV du système de Purkinje : sont rares, dangereuses, car couplage court 240-320 millisecondes, risque de phénomène R/T et fibrillation ventriculaire.

La description de l'ESV doit être systématique selon [150] :

- Sa morphologie : on distingue des ESV monomorphes « monofocales » quand elles présentent toujours la même forme (même aspect de QRS) car leur origine ventriculaire reste identique, et des extrasystoles polymorphes « plurifocales » quand la forme des extrasystoles varie (aspect des QRS variable) car plusieurs sites de formation existent.
- Son rythme d'apparition : on décrit un bigéminisme quand chaque complexe QRS normal est suivi d'une extrasystole, un trigéminisme quand une extrasystole suit deux complexes QRS normaux. Un doublet définit un rythme où chaque complexe QRS normal est suivi de deux extrasystoles consécutives.
- Leurs nombres : couplets ou doublets : deux battements d'ESV de suite, triplets : trois battements d'ESV de suites, et salves d'ESV : plus de trois battements consécutifs d'ESV.

- Si la fréquence du foyer extrasystolique est stable, on parle de parasystolie.

L'ECG permet d'évoquer leur caractère malin en présence de [150] :

- ESV fréquentes :  $> 30$  / heure ou  $> 500$  / jour.
- ESV polymorphes :  $\geq 3$  aspects différents, larges  $> 140$  millisecondes, polyphasiques : crochetées.
- ESV répétitives : doublets, triplets ou salves.
- ESV à couplage variable ou court (ex.  $\leq 400$  millisecondes) avec risque de phénomène R/T.
- ESV augmentant à l'effort, au cours d'une décharge catécholaminergique ou en situation hypoxique ou toxique.
- ESV sur cardiomyopathie ou ischémie.
- ESV avec indice d'anomalie de l'électrogénèse (syndrome de Brugada, anomalie de l'intervalle QT...).

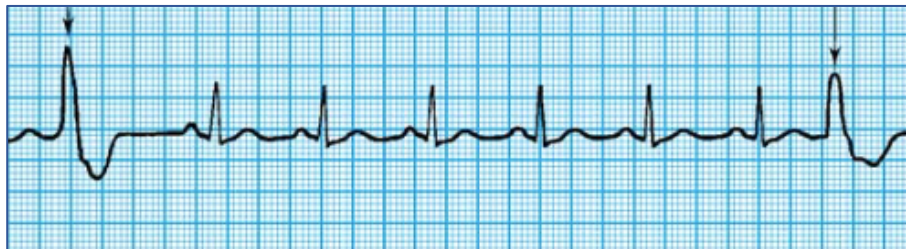


Figure 61 : L'extrasystole ventriculaire [18]

### 2.10.3.4.2 Le rythme idio-ventriculaire

Le rythme idio-ventriculaire, est un rythme propre aux ventricules, naissant dans le faisceau de His, le réseau des fibres de Purkinje ou le myocarde contractile en raison d'un hyperautomatisme. Il correspond à une activité électrique de sauvetage quand les ventricules ne reçoivent plus d'influx nerveux correct, le meilleur exemple étant le BAV complet [151].

Ce rythme ventriculaire lent de 20 à 40 battements par minute, et l'absence de systole auriculaire peuvent réduire considérablement le débit cardiaque, et être responsables d'une instabilité hémodynamique.

Il est caractérisé par [152] :

- L'absence d'onde P.

## PARTIE THÉORIQUE

- 3 complexes QRS ou plus, réguliers, dont l'origine est un foyer ectopique, ce complexe QRS est élargi et de morphologie anormale.
- Le segment ST et l'onde T auront des directions opposées à celle du complexe QRS.
- L'intervalle QT est allongé.

Le rythme idio-ventriculaire accéléré (RIVA) est une forme particulière de ce type, c'est une forme lente de tachycardie ventriculaire, partageant les mêmes aspects électriques que le rythme idio-ventriculaire, mais avec une fréquence plus élevée, de 40 à 120 /min, apparaissant et disparaissant de façon graduelle, alternant parfois avec un rythme sinusal [152] (Figure 62).

Le RIVA s'observe habituellement à la phase aiguë d'un syndrome coronarien aigu, il est de bon pronostic marquant une reperfusion, et ne nécessitant aucun traitement, ou plus rarement, de mécanisme différent au cours d'une intoxication digitalique [153].

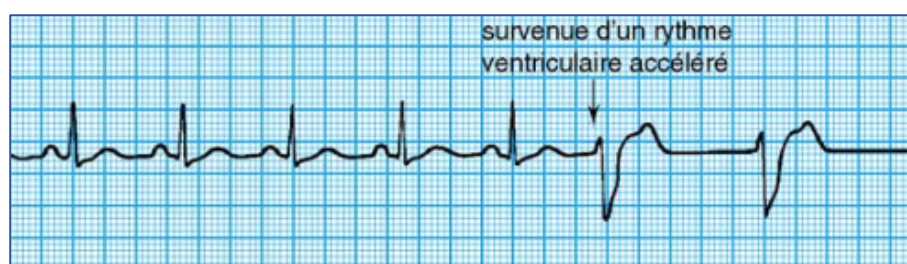


Figure 62 : Le rythme idio-ventriculaire [18]

### 2.10.3.4.3 La tachycardie ventriculaire « TV »

La TV est une tachycardie régulière à complexes QRS larges, définie par au moins trois battements ventriculaires successifs à une fréquence supérieure à 120 battements par minute. Elle se constitue soit par stimulation en boucle « réentrée », soit du fait d'un foyer d'automatisme anormal, prenant naissance dans le myocarde ventriculaire, au-dessous de la bifurcation du faisceau de His [154].

En fonction de leur durée, on distingue des TV non soutenues de durée inférieure à 30 secondes, ou TV soutenues de durée supérieure à 30 secondes [154].

Le diagnostic de TV est suspecté en premier devant une tachycardie régulière à QRS larges et spécialement en présence d'une cardiopathie sous-jacente [155].

Le diagnostic ECG se fait sur plusieurs critères, les deux les plus importants car considérés comme pathognomoniques, sont la dissociation atrioventriculaire et les complexes de capture/fusion [155,156] (Figure 63) :

- Une fréquence ventriculaire supérieure à 120 /minute.
- Des complexes QRS larges > 120 millisecondes.
- La dissociation atrioventriculaire avec plus de QRS que d'ondes P.
- Les complexes de capture et de fusion : la capture est un QRS fin et prématuré, précédé d'une onde P, intercalé dans le tracé en cours de tachycardie à QRS larges. La fusion est un QRS moins large, intermédiaire ou hybride entre le rythme sinusal et la TV et pas forcément prématuré car le QRS provient à la fois de la dépolarisation atriale transmise et de la dépolarisation ventriculaire de la TV.

Les causes de la tachycardie ventriculaire sont nombreuses [157,158] :

- ⇒ Cardiopathies : cardiopathie ischémique, cardiomyopathie hypertrophique ou dilatée, Cardiomyopathie arythmogène du ventricule droit, cardiopathie congénitale.
- ⇒ Syndrome du QT long, Prolapsus valvulaire mitral.
- ⇒ Myocardite, perturbations électrolytiques.
- ⇒ Médicaments proarythmogènes, idiopathiques.

C'est un état électrique instable, prémonitoire de l'arrêt cardiaque observé dans plus de la moitié de toutes les morts subites, on dit qu'une TV « dégénère » en fibrillation ventriculaire, puis en asystolie du fait de l'anoxie cellulaire si celle-ci n'est pas prise en charge.

En présence d'une altération hémodynamique, la tachycardie ventriculaire représente une urgence médicale et nécessite une cardioversion par choc électrique en urgence. Les patients dont l'état clinique est stable peuvent être traités chimiquement (la lignocaïne, la flecaïnide, le sotalol, le disopyramide et l'amiodarone) [159].

On appelle flutter ventriculaire une tachycardie ventriculaire régulière très rapide supérieure à 250 /min avec des QRS monomorphes. C'est un stade préfibrillatoire le plus souvent mal toléré [159].

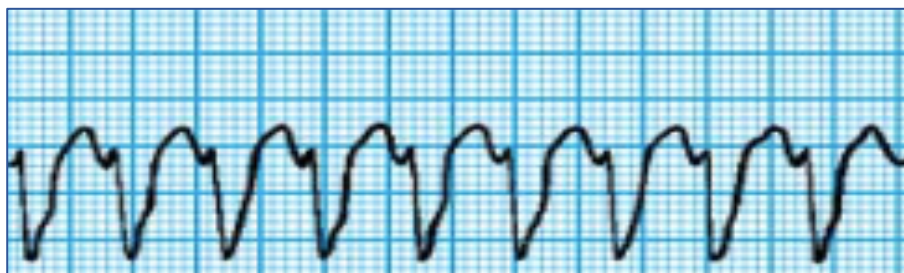


Figure 63 : La tachycardie ventriculaire [18]

### 2.10.3.4.4 La torsade de pointes « TdP »

La TdP est une tachycardie ventriculaire polymorphe, de courte durée < 30 secondes, non soutenue, décrite pour la première fois par un Français, Dessertenne.F, en 1966.

Le nom vient de l'aspect caractéristique des ondulations sur l'ECG avec une variation de l'amplitude et la direction de l'axe des QRS qui changent tous les 5 à 10 complexes, c'est une rotation en torsade des complexes QRS autour de la ligne isoélectrique et un intervalle QT long en rythme sinusal [160].

Les TdP s'accompagnent parfois d'une syncope, mais elles peuvent être asymptomatiques, car elles sont brèves et s'arrêtent spontanément mais récidivent à très court terme et le risque majeur est la dégénérescence en fibrillation ventriculaire [161].

La TdP est due à un trouble de la repolarisation ventriculaire avec comme substrat électrophysiologique, un allongement et une inhomogénéité des périodes réfractaires liée à un QT long acquis et/ou congénital. La gâchette est représentée par une ESV survenant au milieu de l'onde T en période réfractaire vulnérable, déclenchant la TdP [162].

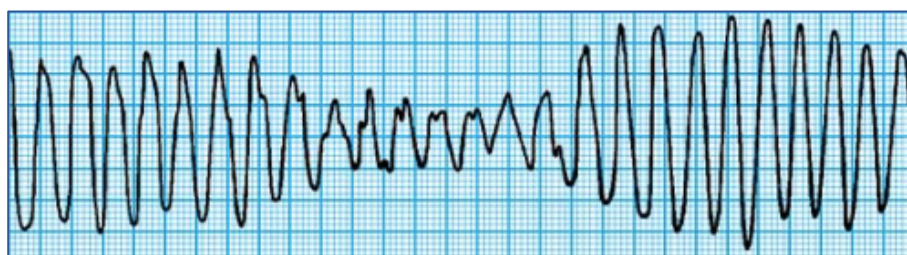
Les modulateurs péjoratifs sont une bradycardie et les facteurs allongeant l'intervalle QT en particulier une hypokaliémie, une hypomagnésémie, une substance ou médicament avec effet stabilisant de membrane, ischémie myocardique aiguë, myocardite, takotsubo, ischémie cérébrale, maladie de Steinert, etc. [162,163].

Sur l'ECG, les signes électriques suivants sont retrouvés [164] (Figure 64) :

- La fréquence ventriculaire varie entre 200 et 250 /minute pendant généralement moins de 30 secondes.
- Les complexes QRS sont peu discernables, leur amplitude varie progressivement, et tous les 5 à 10 complexes leur axe change.

- Le sommet de l'onde R semblant tourner autour de la ligne isoélectrique selon une rotation progressive et cyclique avec des pointes qui s'inversent régulièrement de sens.
- Un intervalle QT long inter critique est indispensable au diagnostic.

La prise en charge des torsades de pointes consiste à administrer du magnésium, à corriger les troubles ioniques, à accélérer la fréquence cardiaque et à arrêter les médicaments allongeant le QT [165].



**Figure 64 : La torsade de pointes [18]**

### 2.10.3.4.5 La fibrillation ventriculaire « FV »

La FV est le plus grave des troubles du rythme cardiaque, elle traduit une activité électrique anarchique et complètement désorganisée du myocarde ventriculaire, il en résulte une désynchronisation totale responsable d'un arrêt circulatoire « asystolie », c'est une urgence absolue et la mort est inéluctable en l'absence de défibrillation immédiate [166].

Le tracé ECG est désorganisé avec une tachycardie irrégulière dans la fréquence et l'amplitude, à QRS larges polymorphes (Figure 65).

Selon l'amplitude de ces complexes ou trémulations, nous pouvons distinguer fibrillation ventriculaire à grandes et à petites mailles [167].

Ce trouble du rythme fatal complique généralement une extrasystolie maligne ou une tachycardie ventriculaire, au cours : [168,169]

- D'un événement cardiologique aigu : syndrome coronarien aigu, myocardite...
- D'une cardiopathie préexistante structurelle : cardiopathie ischémique, cardiomyopathie...

## PARTIE THÉORIQUE

- D'une anomalie de l'électrogénèse : syndrome du QT long, syndrome de Brugada, syndrome du QT court, FV idiopathique.
- D'une anomalie métabolique : hypokaliémie, hypercalcémie, hypothermie, hyperkaliémie.
- De prise de toxiques : cocaïne, amphétamines.
- D'une contusion myocardique.



**Figure 65 : La fibrillation ventriculaire [18]**

### 2.10.4 LE SYNDROME CORONAIRE AIGU « SCA »

#### 2.10.4.1 Définitions

Le terme syndrome coronaire/coronarien aigu (acute coronary syndrome) est un terme générique large “qui inclut les patients qui présentent des symptômes ou des signes cliniques récents évocateurs d’une pathologie coronaire, avec ou sans changement de leur ECG, avec ou sans élévation aiguë de leur concentration de troponine cardiaque” [170].

Le terme infarctus du myocarde (*myocardial infarction*) « est utilisé en cas d’élévation et/ou baisse de la troponine cardiaque et au moins un critère de lésion myocardique aiguë (symptômes d’ischémie myocardique, nouveaux changements ECG ischémiques, développement d’ondes Q pathologiques, imagerie montrant une perte récente de myocarde viable ou une anomalie récente de la cinétique régionale compatible avec une étiologie ischémique, une obstruction coronaire objectivée par angiographie ou autopsie) » [170, 171].

La majorité des infarctus sont dus à l’obstruction d’une artère coronaire épicaudique à la suite d’une rupture de plaque d’athérome, d’un thrombus dans 60 à 80 % des cas, ou d’une dissection coronaire spontanée, mais d’autres mécanismes ischémiques sont incriminés. En effet, il existe des SCA sans obstruction coronaire > 50 % à l’angiographie, ils sont secondaires à plusieurs étiologies, parmi eux le spasme coronaire épicaudique (angor de Prinzmetal), l’embolie ou la thrombose coronaire, la dysfonction microvasculaire et autres cas avec athérosclérose non obstructive ou thrombolyse spontanée (MINOCA pour *myocardial infarction non obstructive coronary artery*) [170,172].

Lésion myocardique : *myocardial injury* on utilise ce terme en cas d’élévation de la troponine en l’absence de symptômes d’ischémie myocardique ou de pathologie coronaire [170].

L’ischémie myocardique : désigne la présence d’une clinique compatible avec un angor ou un SCA sans élévation de la troponine [170].

L’angor instable est défini par une douleur thoracique (ou équivalent) secondaire à une ischémie myocardique au repos ou lors d’un effort minimal en l’absence de lésion/nécrose aiguë des cardiomyocytes. L’ECG de repos peut être normal ou modifié [171].

## PARTIE THÉORIQUE

L'expression clinique des syndromes coronariens aigus (SCA) est très variée. Une douleur thoracique aiguë ou un équivalent, survenant dans un contexte prédisposant, justifie d'évoquer ce diagnostic.

Le syndrome coronarien aigu évolue en différentes phases [173] (Figure 66) :

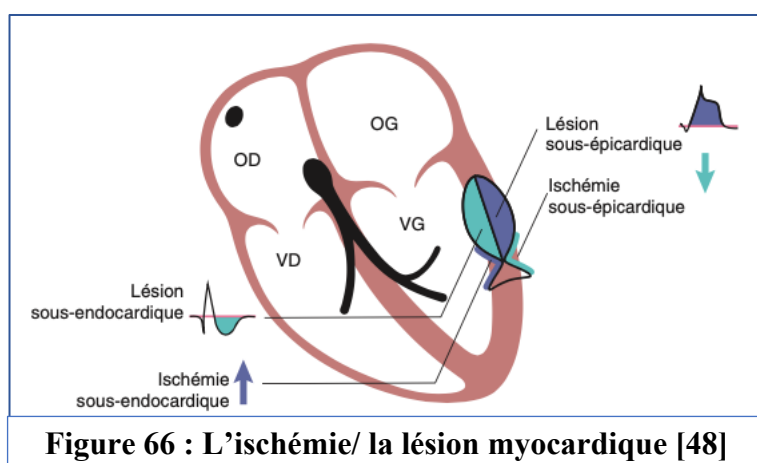
⇒ **L'ischémie** : qui intéresse l'onde T, On distingue :

- Une ischémie sous endocardique : T positives, géantes, pointues et symétriques.
- Une ischémie sous épocardique : T négative et symétrique.

⇒ **La lésion** : se traduit par une modification du segment ST, on distingue :

- Les lésions sous épocardiques : sus décalage de ST.
- Les lésions sous endocardiques : sous décalage de ST.

⇒ **La nécrose** : se traduit par une onde Q large  $> 0,04$  secondes et de profondeur variable, permettant de définir une nécrose rudimentaire si l'onde Q est peu profonde et une nécrose transmurale si Q est profonde.



**Figure 66 : L'ischémie/ la lésion myocardique [48]**

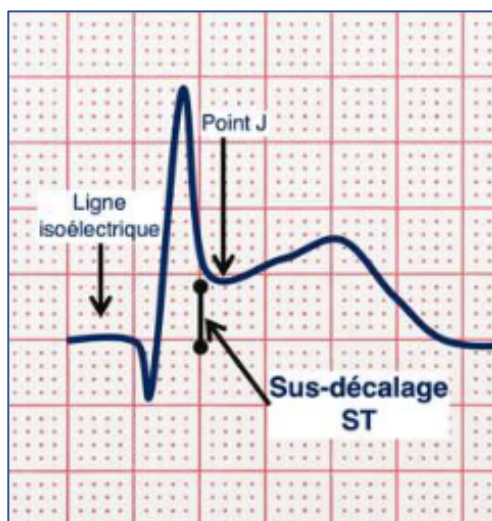
L'ECG permet non seulement le diagnostic précoce du SCA et sa prise en charge dans des délais courts permettant des gestes thérapeutiques comme la thrombolyse ou des actes interventionnels urgents de revascularisation coronarienne (angioplastie). Il permet également d'évaluer le stade, l'étendue et la localisation, permettant une appréciation précise de l'extension et d'estimer les risques et les complications potentielles [174].

L'ECG enregistré dès le premier contact avec le patient permet de définir deux entités :

- Le SCA avec sus-décalage persistant du segment ST.
- Le SCA sans sus-décalage persistant du segment ST.

### 2.10.4.2 Le SCA avec sus-décalage persistant du segment ST : « SCA ST+ »

Un sus-décalage du segment ST est une élévation du point J par rapport à la ligne isoélectrique (Figure 67), il représente l'expression électrique habituelle d'une occlusion coronaire aiguë dans les premières heures [175, 176].



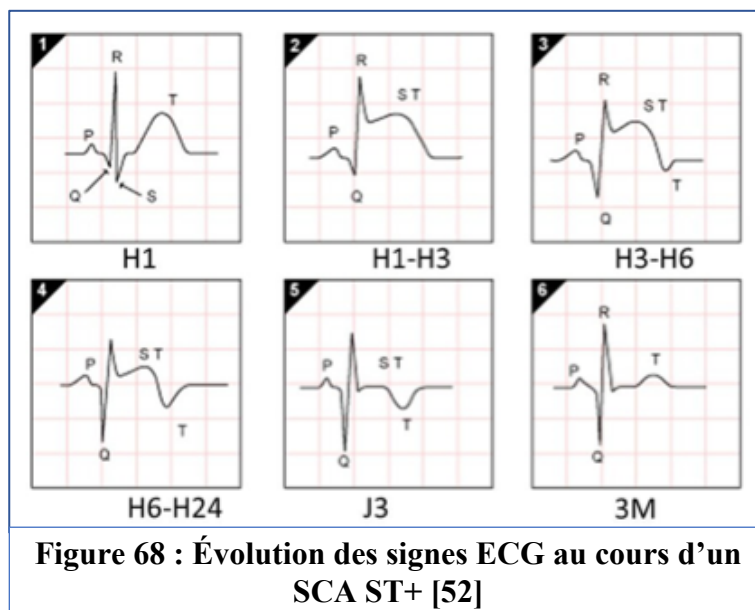
**Figure 67 : Sus-décalage du segment ST [34]**

La reconnaissance sur un ECG d'un sus-décalage du ST, dans un contexte de douleur thoracique est cruciale, car elle conduit à une prise en charge spécifique [177].

Les signes électriques évoluent en plusieurs phases : [177,178,179] (Figure 68)

- Au début lors des premières minutes : onde T positive ample pointue et symétrique (ischémie sous-endocardique : éphémère).
- Onde de Pardee : sus-décalage ST, convexe vers le haut, englobant l'onde T avec un sous-décalage en miroir dans les dérivations opposées.
- Un sus-décalage d'au moins 1 mm dans les dérivations frontales et de 2 mm en précordiales dans au moins deux dérivations contiguës.
- Apparition d'une onde Q de nécrose large > 0,04 secondes et profonde > à 1/3 R qui la suit. Elle apparaît après la 6<sup>ème</sup> heure, elle persiste habituellement comme cicatrice de nécrose dans 90 % des cas.
- En quelques heures à quelques jours : le segment ST revient à la ligne isoélectrique et apparition d'onde T négative. L'aspect d'infarctus associe alors des ondes Q et des ondes T négatives.

## PARTIE THÉORIQUE



**Les Critères diagnostiques du SCA ont été redéfinis à l'ECG en 2018 (Fourth Universal Definition of Myocardial Infarction) :**

- Le premier critère est un nouveau sus-décalage permanent de ST au niveau du point J dans au moins deux dérivations contiguës ou adjacentes : avec une amplitude en V2-V3  $\geq 0,2$  mV (2 mm) chez l'homme après 40 ans ( $\geq 2,5$  mV avant 40 ans) et  $\geq 0,15$  mV (1,5 mm) chez la femme ou  $\geq 0,1$  mV (1 mm) dans les autres dérivations. L'aspect horizontal et surtout convexe du sus-décalage sont les plus évocateurs, ou encore une onde de T positive qui correspond à un sus-décalage de ST englobant l'onde T.
- Le second critère est l'existence d'un bloc de branche gauche récent dont la repolarisation diffère de la règle de la discordance appropriée qui prévaut en cas de complexes QRS larges.
- Le troisième critère est l'image en miroir, qui est un signe inconstant, avec un sous-décalage de ST limité de V1 à V3 (2 mm), en particulier lorsque l'onde T est positive. Ce critère semble paradoxal, mais il peut témoigner d'un infarctus basal dont seul le miroir est visible en V1-V3(V4) sur un tracé de douze dérivations.

C'est souvent sur l'évolution des tracés ou la comparaison avec un ECG antérieur que le diagnostic d'occlusion coronaire aiguë peut être porté [179].

Les éléments ECG précoces associés à un mauvais pronostic sont [180] :

- Un nombre élevé de dérivations impliquées par le sus-décalage de ST.
- L'importance du sus-décalage et sa localisation.

- L'existence d'un miroir.
- La somme des décalages positifs et négatifs.
- L'élargissement des QRS ou la fragmentation des QRS.
- Un bloc de branche gauche récent.
- L'existence d'une tachycardie ou de complications rythmiques.

La stratégie thérapeutique repose sur la désobstruction immédiate de l'artère occluse, soit mécanique (angioplastie) soit reperfusion pharmacologique par fibrinolyse intraveineuse [181].

### 2.10.4.3 Le SCA sans sus-décalage persistant du segment ST : « SCA ST- »

Le diagnostic d'un SCA ST- est évoqué devant l'association, d'un syndrome clinique fait de douleurs thoraciques spontanées ou pour des efforts modérés, de durée variable mais transitoires, de signes électriques qui sont très variables, et parfois non contributifs au diagnostic. Le diagnostic repose sur une cinétique positive (ou négative) de troponine [182].

L'ECG peut mettre en évidence [183] :

- Un sous-décalage transitoire ou persistant du segment ST.
- Des anomalies de l'onde T.
- Un sus-décalage per critique du segment ST qui peut être identifié mais qui régresse spontanément ou après trinitrine.
- Dans quelque cas, il est normal.

⇒ **Le sous-décalage de ST** : est l'anomalie la plus fréquemment rencontrée, il s'agit d'un nouveau sous-décalage de  $ST \geq 0,5$  mm (0,05 mV) au niveau du point J dans au moins 2 dérivation contiguës. Il est généralement horizontal ou descendant avec une onde R proéminente ou un ratio  $R/S > 1$  [184].

⇒ **Anomalies de l'onde T** [185]

Une onde T inversée  $\geq 1$  mm (0,1 mV) ou diphasique dans au moins 2 dérivation contiguës avec une onde R proéminente ou un ratio  $R/S > 1$ .

Elle est typiquement symétrique, profonde  $\geq 3$  mm et large avec parfois prolongation de l'intervalle QT.

Si l'onde T est inversée profonde « giant negative T waves », une reperfusion/désocclusion coronaire récente est hautement probable.

Une onde T inversée de faible amplitude ( $\geq 1$  mm) dans deux dérivation où l'onde R est proéminente avec  $R/S > 1$  peut aussi traduire isolément une ischémie coronaire subaiguë, en particulier en territoire inférieur ou latéral.

## PARTIE THÉORIQUE

### ⇒ Ondes Q de nécrose [186]

Des ondes Q de nécrose peuvent s'inscrire à tous les stades d'un SCA ST-, mais sont généralement présentes sur l'ECG initial.

Une perte de la progression harmonieuse de l'onde R de V1 à V3-V4 ou des complexes QRS fragmentés dans deux dérivations contiguës, sont considérés parfois comme un équivalent d'onde Q de nécrose.

### ⇒ ECG normal [187]

Un ECG normal ou subnormal n'exclut pas la possibilité d'un SCA ST-. En effet, une occlusion/sub-occlusion coronaire aiguë avec une repolarisation normale ou subnormale sur l'ECG est possible, dans environ 5 % des cas, dont les principales raisons sont :

- Un petit territoire coronaire ischémique.
- L'ischémie est incomplète avec un bon réseau collatéral d'aval.
- Le territoire coronaire est mal exploré, exemple l'ischémie dans l'artère circonflexe.
- Une « pseudo-normalisation » d'un ECG de base anormal, en rapport avec l'ischémie coronaire aiguë.
- Il peut enfin s'agir d'une occlusion/désocclusion avec risque de ré-occlusion.

Pour toutes ces raisons, si la situation clinique est évocatrice d'ischémie coronaire : douleur évocatrice, sujet à risque, pas de diagnostic alternatif clair. Il est difficile d'écarter le diagnostic de SCA devant un ECG initial normal, atypique ou peu modifié, surtout en cas de bloc de branche ou d'hypertrophie ventriculaire, sans multiplier les tracés ni s'aider de la biologie et/ou de l'imagerie [187].

#### 2.10.4.4 SCA non ST+ à haut risque ou équivalents ST+

La reconnaissance de six entités ECG non ST+ à haut risque ou équivalents ST + est indispensable, pour une stratégie optimisée, plus rapidement invasive (angiographie dans l'intention de proposer une revascularisation), en raison de leur pronostic défavorable [188,189] :

1. Un sous-décalage de ST > 1 mm dans 6 dérivations avec ST+ en aVR ou V1 traduisant une forme sévère de coronaropathie avec ischémie sous endocardique circonférentielle.
2. Un sus-décalage de ST subtile : < 1 mm ou ≤ 1 dérivation ou transitoire, est fortement évocateur d'occlusion coronaire en contexte évocateur en particulier en D3, aVL

et s'accompagne d'autres modifications ECG : Complexes QRS modifiés par l'ischémie, ondes T amples, miroir, changement dynamique de ST/T, bradycardie ou BAV : Cette entité partage le mauvais pronostic des SCA ST+.

3. Un sous-décalage isolé de ST de V1 à V3 (V4) peut traduire un infarctus basal.
4. Des ondes T de Winter : dans les dérivations précordiales, on constate un segment ST ascendant à partir d'un point J sous-décalé de 1 à 3 mm et qui se termine par une onde T ample, positive et symétrique "*up-sloping ST with positive tall T waves*".
5. Des ondes T géantes "hyperaiiguës" (premier stade d'un ST+).
6. Un bloc de branche gauche avec perte de la discordance appropriée.

### 2.10.4.5 SCA et BBG

La reconnaissance d'une séquelle de nécrose est particulièrement difficile en cas de bloc de branche gauche, En effet, la primo dépolarisation du VG est altérée générant des ondes Q larges et profondes, surtout en D3-aVF et V1-V4 et à l'inverse peut masquer les ondes Q de nécrose [174,190].

On peut s'aider de signes assez spécifiques, mais peu sensibles, qui peuvent apparaître dès la phase aiguë d'un infarctus ou au stade tardif [190] :

- **Signe de Cabrera** : crochetage de la branche ascendante de l'onde S en V3 ou V4 (0,05 seconde) en faveur d'un infarctus antéro-septal [191] (Figure 69).

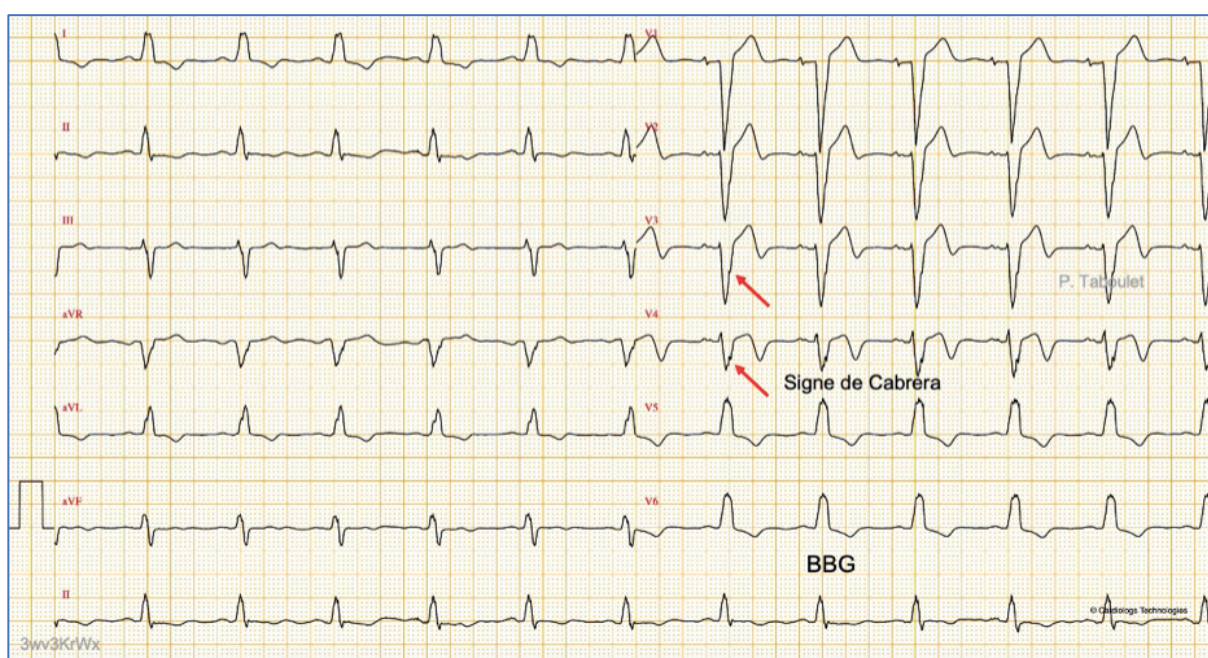


Figure 69 : Le signe de Cabrera [52]

## PARTIE THÉORIQUE

- **Signe de Chapman** : crochetage de la pente ascendante de l'onde R – aspect RsR' – en dérivations latérales D1, aVL ou V6 [192] (Figure 70).

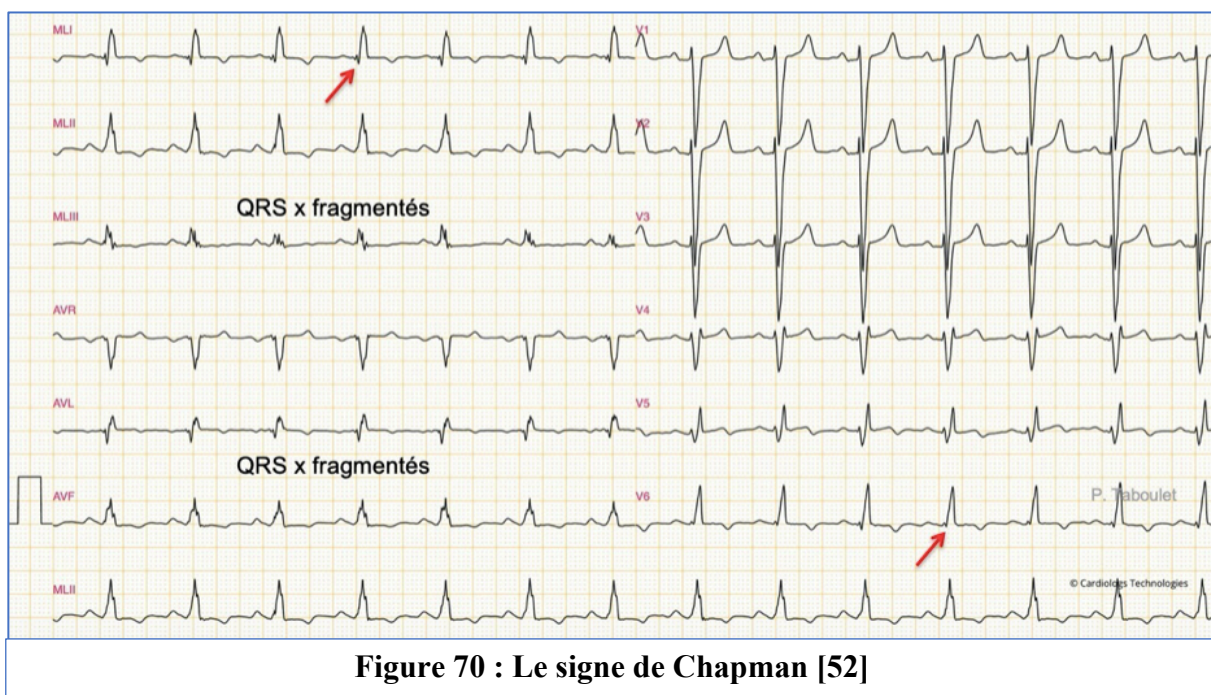


Figure 70 : Le signe de Chapman [52]

- **Critères de Sgarbossa modifiés** permettent de faciliter, en phase aiguë, le diagnostic d'infarctus avec bloc de branche gauche ou d'infarctus avec pacemaker. Ces critères reposent sur la règle de la « discordance appropriée » qui existe entre les polarités des complexes QRS et celles des segments ST normalement opposées. Ainsi, un complexe QRS négatif ( $R < S$ ) est suivi par un sus-décalage de ST (ST+) et vice versa [193].

Les anomalies suggérant une occlusion coronaire sont [193, 194] (Figure 71) :

- La concordance positive : un sus-décalage de ST  $\geq 1$  mm lorsque les QRS sont positifs,
- La concordance négative : un sous-décalage de ST  $\geq 1$  mm en V1, V2 ou V3,
- La majoration de la discordance : un sus-décalage de ST  $\geq 5$  mm lorsque les QRS sont négatifs.

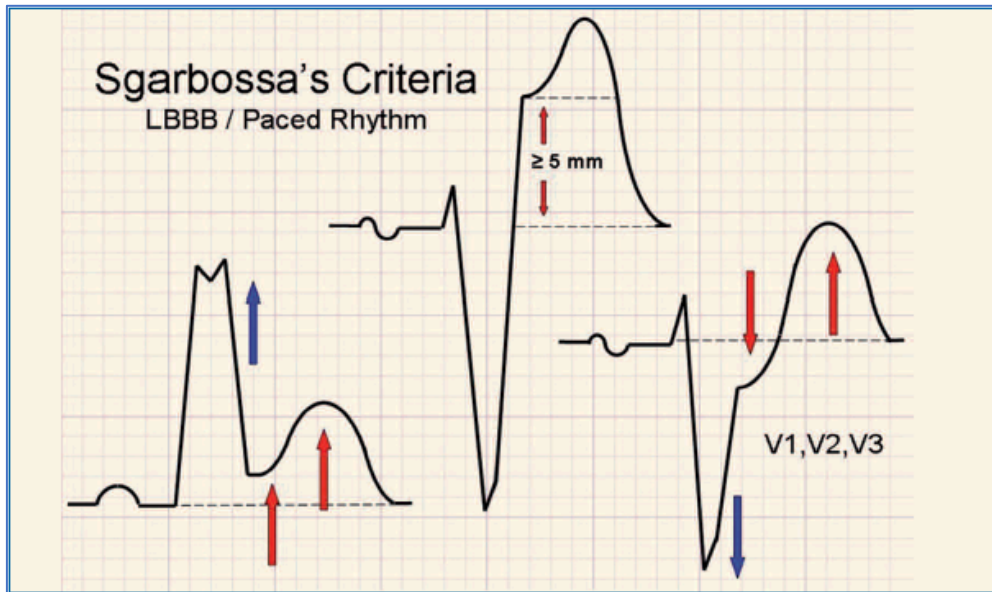


Figure 71 : Les critères de Sgarbossa modifiés [193]

## PARTIE THÉORIQUE

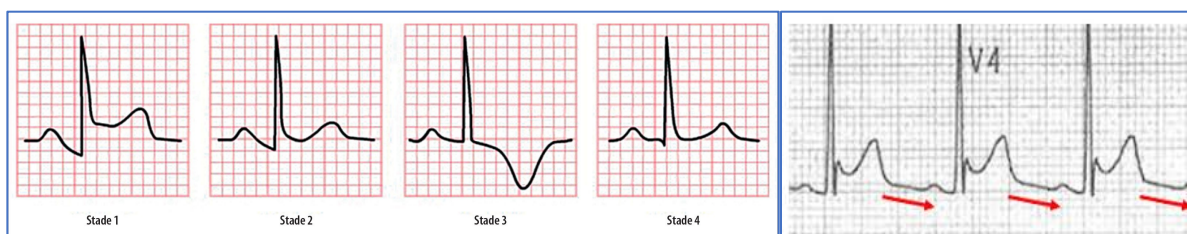
### 2.10.5 LA PÉRICARDITE

L'inflammation de la séreuse qui entoure le cœur produit une lésion sur l'épicaire au contact. Elle se manifeste par une douleur thoracique pleurétique avec parfois un frottement péricardique à l'auscultation [195].

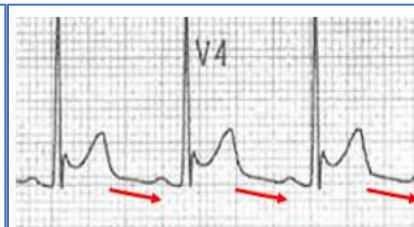
Les étiologies sont nombreuses, aiguës : infectieuse, auto-immune, néoplasique, post-infarctus, embolie pulmonaire, traumatique, péricardotomie, allergique..., ou chroniques : urémique, myxœdème, irradiation [196].

La péricardite aiguë se présente avec des modifications ECG caractéristiques dans environ 60 à 80 % des cas, évoluant en quatre phases stéréotypées [197] (Figure 72) :

- Stade 1 : sus-décalage du segment ST diffus, concave vers le haut sans miroir, ondes T positives le premier jour accompagnées d'un sous-décalage diffus de PQ : c'est le signe de Spodick. (Figure 73)
- Stade 2 : ondes T plates entre la 24<sup>e</sup> et la 48<sup>e</sup> heure ;
- Stade 3 : ondes T négatives la première semaine ;
- Stade 4 : normalisation au cours du premier mois.

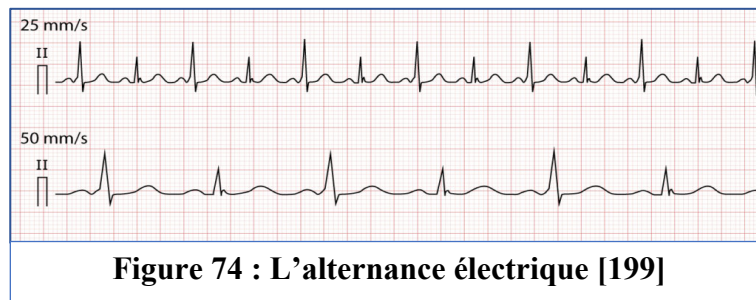


**Figure 72 : Les 4 stades évolutifs de la péricardite [52]**



**Figure 73 : Signe de Spodick [198]**

Les péricardites avec gros épanchements rapidement constitués donnent une alternance électrique caractérisée par le changement alternatif de la hauteur des ondes R et/ou des ondes T d'un battement à un autre, qui est un signe de tamponnade [200] (Figure 74).



Les épanchements péricardiques chroniques lentement constitués (myxœdème, radiothérapie, à paillettes de cholestérol, urémie, etc.) donnent des signes d'épanchement avec microvoltage des QRS défini comme une diminution de QRS  $\leq 5$  mm ( $\leq 0.5$  mV) dans les dérivations des membres et  $\leq 7$  mm ( $\leq 0.7$  mV) dans les dérivations précordiales [201].

La péricardite chronique constrictive donne des troubles diffus de la repolarisation avec des ondes T aplaties et un voltage réduit [202].

## PARTIE THÉORIQUE

### 2.10.6 L'EMBOLIE PULMONAIRE « EP »

C'est l'obstruction d'au moins une artère pulmonaire ou l'une de ses branches, en général par un thrombus fibrino-cruorique.

Le diagnostic d'EP est suspecté sur la clinique devant toute dyspnée, douleur thoracique, malaise ou syncope inexplicée, justifiant la réalisation rapide d'un ECG [203].

L'ECG seul n'est pas suffisamment sensible ou spécifique pour permettre ou exclure ce diagnostic, il est normal dans environ 30 % des cas, il n'est modifié qu'au cours d'une EP suffisamment sévère pour entraîner un retentissement hémodynamique sur le cœur droit.

Un ECG typique est celui d'un cœur pulmonaire aigu avec [204, 205, 206] :

- Tachycardie sinusale.
- En frontales :
  - ⇒ S1Q3 (SD1  $\geq$  R ou SD1 profonde  $>$  3 mm) avec présence d'une onde Q en D3 qui atteste d'une dextrorotation ou, plus spécifique, le signe S1Q3(T3) avec présence d'une onde T inversée en D3 (Figure 75).
  - ⇒ Déviation axiale droite des QRS.
- En précordiales :
  - ⇒ En V1 : retard droit (RsR' en V1) ou bloc de branche droite incomplet ou complet ou onde Q (aspect qR ou QR).
  - ⇒ Zone de transition des QRS tardive dans le précordium (R/S ratio  $>$  1 apparaît en V5 voir V6).
  - ⇒ Ondes T inversées de V1 à V3 (V4) et en D3.
  - ⇒ Onde P pulmonaire ample d'HAD.
- Des troubles du rythme supra-ventriculaires et ventriculaires peuvent se voir : FA, extrasystoles, TV.



Figure 75 : L'aspect S1Q3T3 [50]

## 2.10.7 LES TROUBLES ÉLECTROLYTIQUES

### 2.10.7.1 L'HYPERKALIÉMIE

L'hyperkaliémie est un trouble hydroélectrolytique fréquent, rencontré en particulier chez l'insuffisant rénal, avec certains médicaments ou dans certaines situations aiguës, exemples : hypovolémie, rhabdomyolyse, pouvant perturber profondément l'électrogénèse et la conduction des influx au travers du cœur et donc menacer le pronostic vital [207].

Les modifications ECG sont en fonction de la kaliémie, plus l'hyperkaliémie est sévère, plus les anomalies affectent la genèse du rythme, la conduction intracardiaque et la repolarisation ventriculaire [208].

Au fur et à mesure de l'augmentation de la kaliémie, on observe [209,210] (Figure 76) :

- ⇒ D'abord, quand l'hyperkaliémie est modérée, cela modifie la repolarisation ventriculaire : l'onde T devient ample, pointue et symétrique « T en forme de tente », de façon diffuse.
- ⇒ Puis apparaît un sous-décalage de ST avec disparition de l'onde U et les ondes P deviennent plates et peuvent disparaître, l'espace PQ s'allonge et le complexe QRS s'élargit.
- ⇒ L'hyperkaliémie sévère se traduit par des anomalies d'automatisme et de conduction avec des tracés très variés et parfois par une hémodynamique sévèrement altérée.

A l'étage atrial :

- Bradycardie sinusale, BSA voire paralysie sinusale.
- Bloc inter-atrial : onde P bifide, aplatie, allongée, presque invisible.

A l'étage jonctionnel :

- BAV de degré variable.

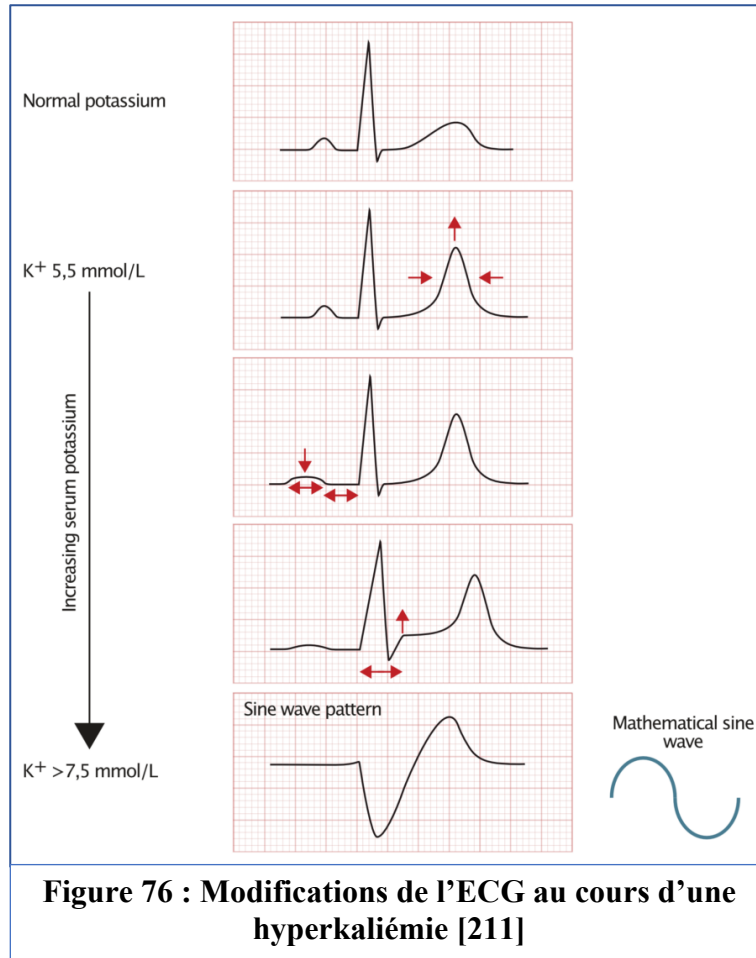
A l'étage ventriculaire :

- Élargissement des complexes QRS prenant l'aspect d'un bloc intraventriculaire ou d'un bloc de branche atypique, aspect en lame de sabre ou sa repolarisation : perte de la discordance appropriée des ondes T.
- Axe droit ou extrême droit.
- Onde R ample en aVR > 3 mm (ou S < R)
- Le segment ST peut être sus ou sous-décalé mimant un SCA.

## PARTIE THÉORIQUE

Trouble du rythme ventriculaire :

- TSV à QRS larges mimant une TV.
- Le tracé peut prendre l'apparence d'une sinusoïde caractéristique ("sine-wave") qui ressemble à une tachycardie ventriculaire.
- TV et FV qui peuvent conduire rapidement au décès.



### 2.10.7.2 L'HYPOKALIÉMIE

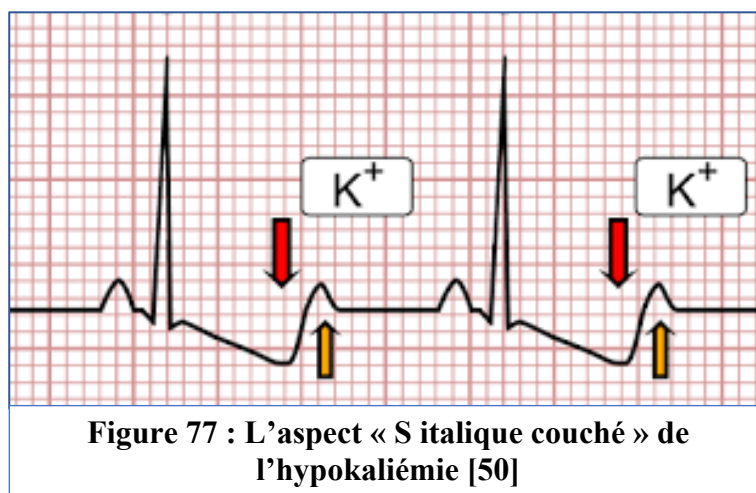
Une baisse du potassium extracellulaire peut modifier la repolarisation atriale ou ventriculaire et favoriser des arythmies.

Les signes cliniques se limitent à une faiblesse musculaire, à des crampes, une constipation parfois sévère ou des malaises secondaires aux troubles du rythme [212].

Les étiologies sont nombreuses, exemples : diarrhées, diurétiques, anorexie... [212].

Aspect ECG [213, 214] :

- Une onde T aplatie.
- Une onde U dominante (ratio U/T > 1) qui fusionne parfois avec l'onde T dans certaines dérivations.
- L'intervalle QTc est allongé mais difficile à mesurer.
- Une hypokaliémie plus sévère s'accompagne d'un sous-décalage de ST descendant ( $\geq 0,5$  mm), un peu concave vers le haut suivi par une onde T qui se positive tardivement et fusionne avec l'onde U et l'intervalle QT est long, il en résulte parfois un aspect assez typique en « S italique couché » (Figure 77).
- Les complications sont dominées par les troubles du rythme, qui peuvent menacer le pronostic vital : ESA, FA, un rythme jonctionnel accéléré, ESV et salves de TV, TdP surtout en cas de bradycardie associée, etc.



## PARTIE THÉORIQUE

### 2.10.7.3 L'HYPERCALCÉMIE

L'hypercalcémie augmente le gradient de calcium de part et d'autre de la membrane des myocytes et donc le flux habituel entrant de calcium durant la phase 2 du potentiel d'action. Cette phase 2 est raccourcie ce qui peut modifier l'ECG et entraîner en cas d'hypercalcémie sévère des complications rythmiques, notamment une arythmie ventriculaire [52, 215].

A l'ECG : la triade évocatrice d'une hypercalcémie associe [52, 216] (Figure 78) :

- Un point J ascensionné, souvent empâté avec parfois des ondes J qui déforment et prolongent les QRS. Ce signe est fréquent, parfois discret.
- Un segment ST+, court et convexe en dôme, qui débute immédiatement après ou avant la fin du QRS et englobe l'onde T. Ce signe doit faire évoquer le diagnostic.
- Un intervalle QTc raccourci corrélé à la sévérité de l'hypercalcémie.

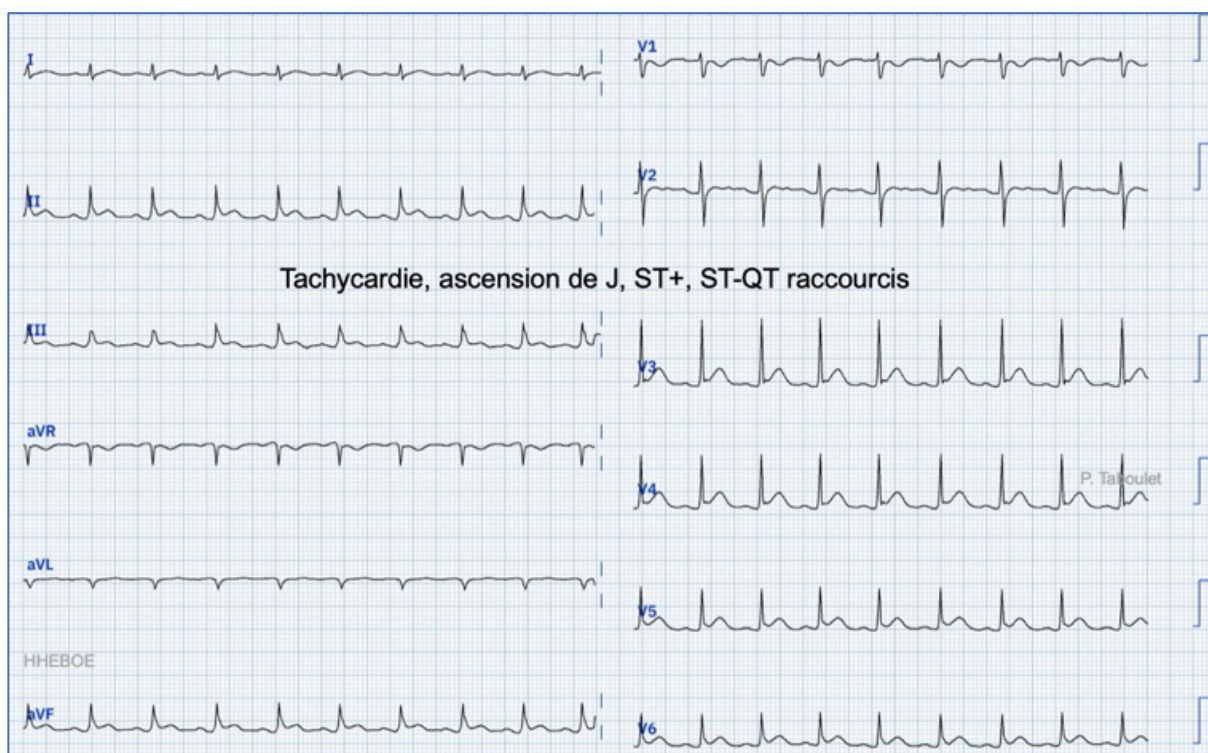


Figure 78 : Les signes électriques de l'hypercalcémie [52]

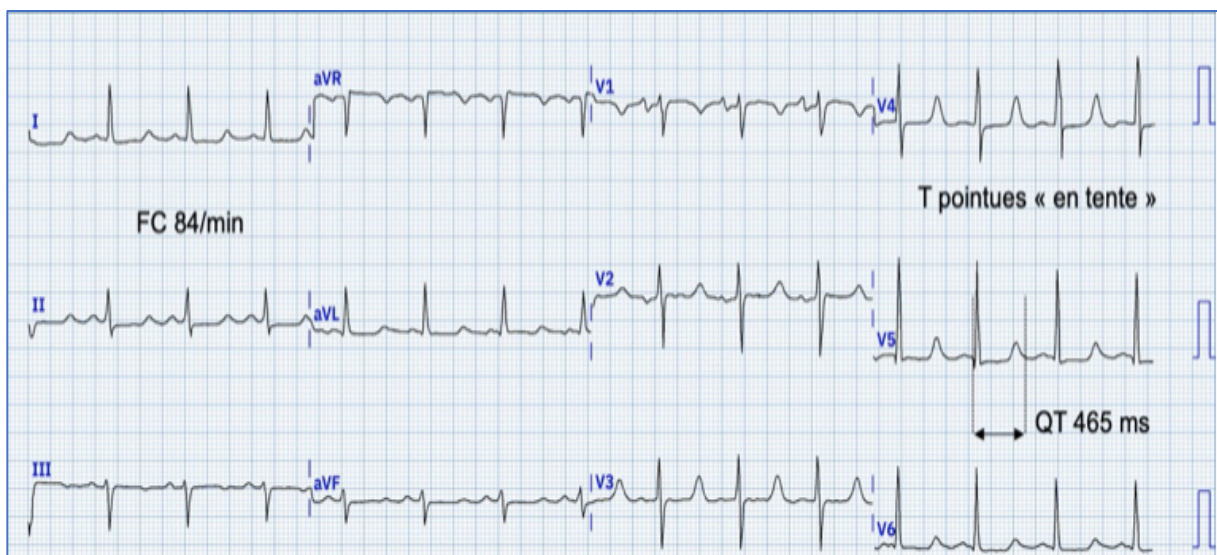
### 2.10.7.4 L'HYPOCALCÉMIE

Une baisse du calcium extracellulaire prolonge la phase 2 du potentiel d'action, ce qui peut modifier la repolarisation. Néanmoins, la corrélation entre calcémie et signes ECG est assez mauvaise [52].

A l'ECG [52, 217] (Figure 79) :

Une hypocalcémie sévère peut entraîner des modifications dont la plus fréquente et la plus typique est une prolongation du segment ST et de l'intervalle QT sans modification de l'onde T.

D'autres manifestations sont possibles mais rares : des ondes T pointues « en tente », aplaties ou inversées, des QRS discrètement élargis. Il n'y a pas de risque rythmologique particulier.



**Figure 79 : Les signes électriques de l'hypocalcémie [52]**

## PARTIE THÉORIQUE

### 2.10.8 L'IMPRÉGNATION ET L'INTOXICATION DIGITALIQUES

Les digitaliques (digoxine, digitaline) sont des substances extraites d'une plante (la digitale) utilisée pour ralentir la réponse ventriculaire d'une fibrillation atriale en inhibant une enzyme membranaire des cellules contractiles (la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase dépendante) et stimulent le centre bulbaire du pneumogastrique (vagomimétiques). Ils sont faiblement tonicardiaques (inotrope positif), ralentissent la conduction dans le nœud AV (dromotrope négatif) et dépriment l'automatisme atrial (bathmotrope négatif) [218].

La cupule digitalique est un signe d'imprégnation, c'est un sous-décalage de ST concave. En anglais, on l'appelle également "en moustache de Salvador Dali" car elle présente une forme semblable à la moustache du peintre (Figure 80), associée à un intervalle QT normal ou court et une onde U ample [50, 219].

L'intoxication digitalique peut se manifester par :

Une bradycardie, un BSA voire une paralysie sinusale et/ou un BAV, une FA, une ESA ou ESJ, une TSA, un rythme idio-jonctionnel accéléré, une arythmie ventriculaire : ESV souvent polymorphes, et parfois TV [220].

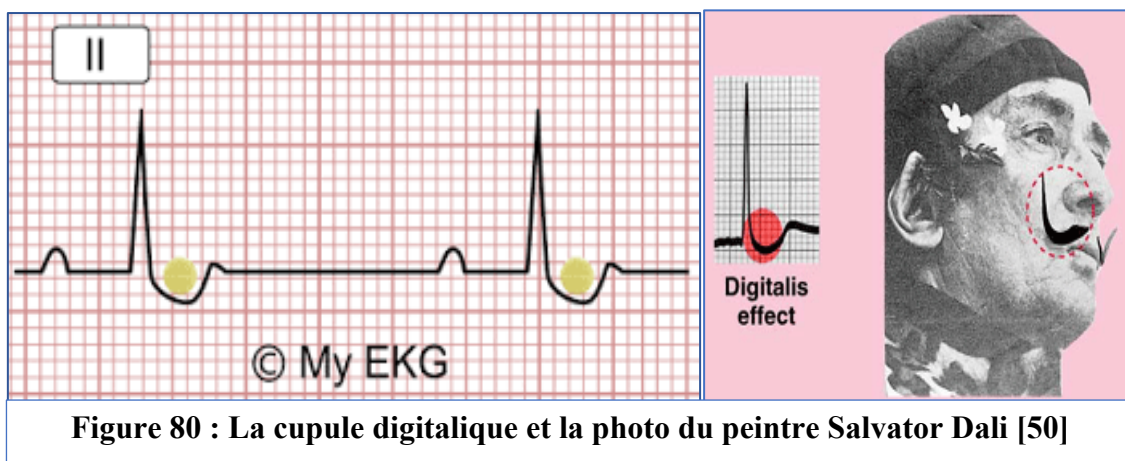


Figure 80 : La cupule digitalique et la photo du peintre Salvador Dali [50]

### 2.10.9 LE SYNDROME DE BRUGADA

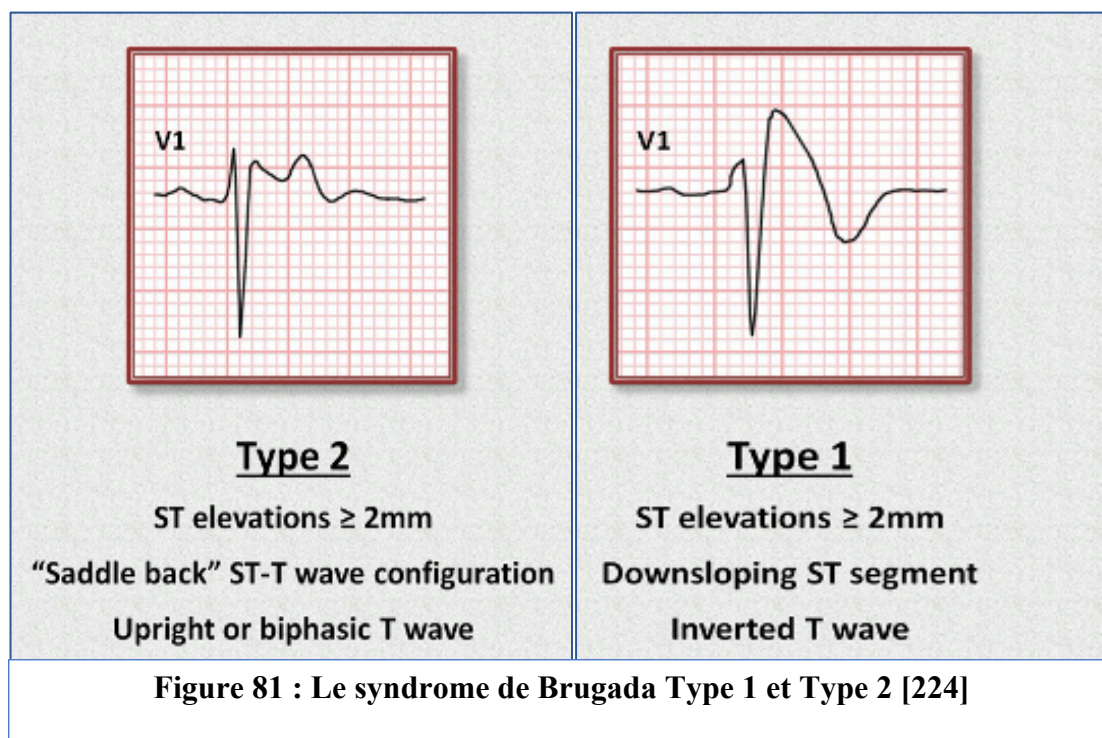
Le syndrome de Brugada est une maladie génétique rare, dû à une anomalie des canaux sodiques et caractérisé par la tirade : cœur sain + modifications ECG typiques + mort subite par risque accru d'arythmie ventriculaire [221].

Le cœur est indemne de cardiopathie structurale, mais les progrès de l'imagerie révèlent des anomalies histologiques microstructurelles principalement dans la chambre de chasse du ventricule droit et qui constituent un substrat vulnérable.

Le principal diagnostic différentiel est le SCA ST + antérieur [222].

L'ECG est caractérisé par [223] :

- Un bloc de branche droite complet ou incomplet.
- Un sus-décalage persistant du segment ST dans les dérivations précordiales droites (V1 à V3) et une onde T inversée (*coved-type ST-segment elevation*), il existe 2 types : type 1 avec un sus-décalage en dôme, type 2 : un sus-décalage en selle (Figure 81).



## PARTIE THÉORIQUE

### 2.10.10 L'HYPOTHERMIE

L'hypothermie peut affecter profondément l'électrogénèse et menacer le pronostic vital [225].

À L'ECG, tous les intervalles RR, PR, QRS et QT peuvent s'allonger, on peut observer [226] :

- Des artéfacts liés aux frissons.
- Une bradycardie sinusale.
- Un bloc sino-atrial, intertrial ou intranodal.
- Un bloc intraventriculaire.
- Un intervalle QT long.
- Et une onde J d'Osborn ou signe de la bosse du chameau (*camel-hump sign*), qui est la modification la plus typique (Figure 82) :
  - C'est une onde surnuméraire qui apparaît comme une déflexion positive interposée entre la fin du QRS et le début du segment ST.
  - Son amplitude est mal corrélée au degré d'hypothermie.
  - Elle peut se voir au cours d'autres pathologies (hypercalcémie, hémorragie méningée, etc.)

Une hypothermie sévère peut se compliquer de FA lente, de brady-arythmie sévère voire d'asystolie dans les cas les plus sévères. Mais c'est surtout la FV qui menace, en particulier lors du réchauffement [227].

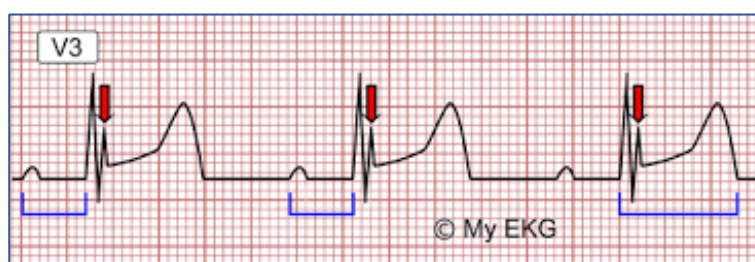


Figure 82 : L'onde J d'Osborn [50]

### 2.10.11 LE STIMULATEUR CARDIAQUE OU LE PACEMAKER

Le pacemaker (PM) « *cardiac pacing* » est un dispositif électronique, faisant aujourd'hui, partie intégrante des gestes thérapeutiques des troubles du rythme. Sa fonction essentielle est de fournir une « bouée de sauvetage » aux patients présentant une bradycardie symptomatique. Néanmoins, d'autres fonctions sont de plus en plus complexes : interrompre une tachycardie, défibriller, restaurer la synchronisation des contractions ventriculaires gauches et droites au cours de l'insuffisance cardiaque,... [228].

Le pacemaker est implanté en général sous la clavicule, en regard du muscle pectoral droit. Il délivre des impulsions électriques au cœur à l'aide de sonde(s) introduite(s) par voie veineuse jugulaire ou plus rarement céphalique [229].

Il existe 3 types de PM [230] :

- Le PM simple-chambre est relié à l'OD ou à la pointe du VD à l'aide d'une seule sonde.
- Le PM double-chambre est relié à l'OD et au VD à l'aide de deux sondes.
- Le PM triple chambre utilisé pour la resynchronisation ventriculaire a une sonde supplémentaire introduite par le sinus veineux coronaire vers la pointe du cœur.

Les pacemakers peuvent être temporaires, permettant d'apporter un entraînement électrosystolique en urgence ou de compenser une courte période de bradycardie durant un infarctus du myocarde par exemple ou encore jusqu'à ce qu'un pacemaker permanent soit implanté. Ils peuvent à l'inverse être permanents, implantés dans le corps du patient [231].

D'une manière générale, les indications d'un pacemaker permanent sont [232,233] :

- Le BAV du troisième degré avec épisode de syncope ou de lipothymie.
- Le BAV du troisième degré acquis asymptomatique, avec une fréquence ventriculaire inférieure à 40 battements /min, ou des pauses supérieures à 3 secondes.
- Le BAV du second degré, sans distinction du type I ou II de Mobitz, en présence d'un épisode de bradycardie symptomatique.
- Le Bloc bi- ou trifasciculaire avec une histoire typique de syncope ou un épisode intermittent documenté de défaillance du faisceau restant.
- La maladie du sinus responsable d'une bradycardie symptomatique.
- Les syndromes : vasovagal malin et du sinus carotidien dans leurs variétés « cardio-inhibitrices » responsables de bradycardies.

## PARTIE THÉORIQUE

Il existe un code international, validé, selon la classification NBG (North American Society of Pacing and Electrophysiology (NASPE) and the British Pacing and Electrophysiology Group), comportant jusqu'à cinq lettres successives, pour décrire le type de pacemaker. Chacune des lettres indique un aspect de la fonction du pacemaker, la 1<sup>ère</sup> lettre : la cavité stimulée, la 2<sup>ème</sup> lettre : la cavité détectée, la 3<sup>ème</sup> lettre : la réponse à la détection d'un évènement spontané, la 4<sup>ème</sup> lettre : le contrôle de la fréquence et la 5<sup>ème</sup> lettre : les fonctionnalités antiarythmiques [234].

Un pacemaker se traduit sur l'ECG par l'existence intermittente ou permanente d'un signal électrique bref et pointu « spike » qui précède l'activité atriale (entraînement atrial) ou ventriculaire (entraînement ventriculaire) ou les deux (entraînement dual ou double chambre). L'analyse de l'électrocardiogramme est nécessaire pour l'appréciation du fonctionnement, correct ou pathologique, du pacemaker. Le Rythme électroentraîné est caractérisé par [235] (Figure 83) :

- Des spikes qui sont généralement faciles à identifier, sous forme de pointes verticales effilées, de courte durée, généralement moins de 2 millisecondes apparaissant comme un simple trait vertical sans épaisseur. Lorsqu'ils capturent le rythme atrial ou ventriculaire, les spikes modifient le signal électrique atrial (l'onde P) et ventriculaire (le QRS).
- L'onde P électroentraînée est déformée, parfois microvoltée voire invisible dans la plupart des dérivations.
- Les complexes QRS électro entraînés sont larges ( $\geq 120$  millisecondes) – en cas de stimulation ventriculaire droite – avec un aspect de retard gauche évoquant un bloc de branche gauche.



**Figure 83 : Les spikes du Pacemaker [50]**



## **3 PARTIE PRATIQUE**





### 3.1 PROBLEMATIQUE

Le diagnostic et la prise en charge précoces des maladies cardiovasculaires sont devenus un enjeu et un objectif de santé publique dans le monde.

L'ECG est aujourd'hui, un examen central et obligatoire en situation d'urgence.

Il a l'avantage d'être facile à réaliser mais son interprétation a toujours été qualifiée de difficile par les praticiens. Ce domaine a suscité l'élaboration non seulement de plusieurs manuels mais la conception de logiciels et d'algorithmes d'analyse de l'ECG.

100 ans après sa première utilisation, l'ECG reste le "gold standard" pour comprendre, analyser le rythme et diagnostiquer la majeure partie des maladies cardiaques urgentes en 2024. L'avènement de la technologie et de l'intelligence artificielle (IA) pour l'interprétation de l'ECG pourra-t-elle remplacer un jour l'apport du praticien dans ce domaine ?

Le recours à l'intelligence artificielle, avec une interprétation automatique et traitement de signal, excluant le facteur Humain et les particularités épidémiologiques et cliniques n'est pas dénué d'erreur.

Les systèmes d'interprétation actuels ne possèdent pas un sens critique dans l'analyse des données cliniques et biologiques, ils ne permettent pas une comparaison des ECG dans le temps. Le recours à un expert est une attitude prudente dans les cas complexes mais difficile à obtenir en raison du manque de ce type d'expertise.

Il faudra donc rester prudent, posséder des connaissances en ECG, les entretenir et les améliorer.

C'est dans ce contexte, et au cours de ma formation d'abord en tant qu'étudiante, puis qu'enseignante, que j'ai été interpellée par l'absence et les insuffisances concernant la formation de l'interprétation de l'électrocardiogramme. Cette situation est toujours d'actualité.

C'est dans cette optique qu'en 2015 et suite aux demandes incessantes des étudiants en médecine concernant les difficultés rencontrées dans l'interprétation de l'ECG, que nous avons entrepris en collaboration avec le centre de simulation de la Faculté de Médecine de Mostaganem, des actions pour pallier à ces insuffisances.

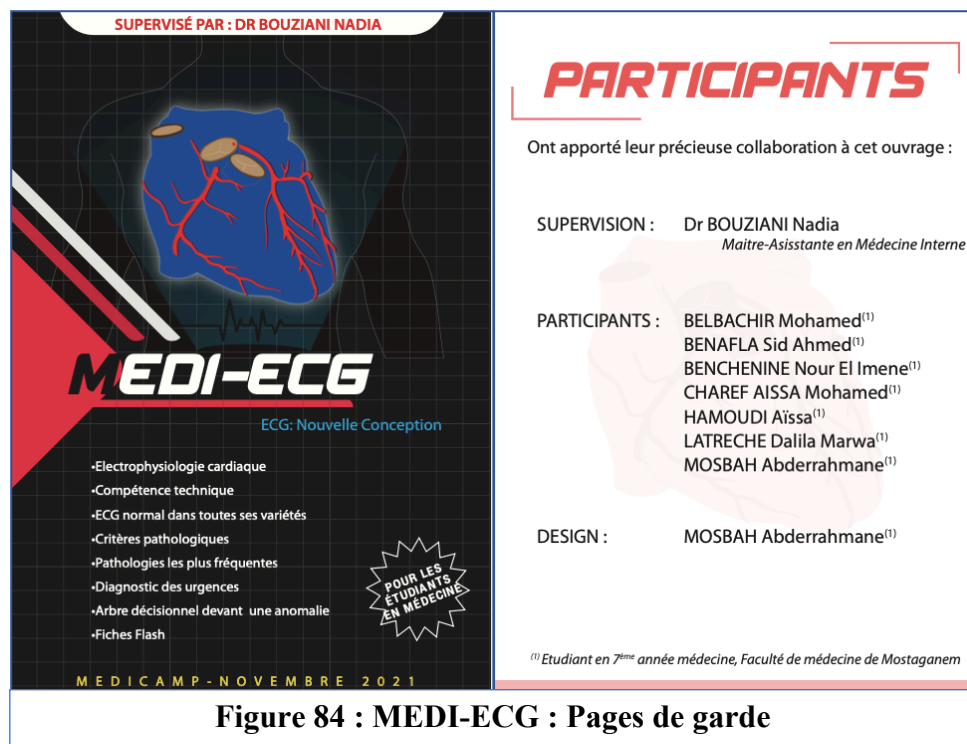
Nous avons d'abord élaboré un programme de formation pour les étudiants puis pour les enseignants afin de permettre sa généralisation à l'ensemble de la faculté.

## PARTIE PRATIQUE

La formation a rencontré un engouement important mais la survenue de la pandémie de la Covid-19, a entraîné son arrêt en présentiel. Nous avons donc décidé de concevoir un manuel. Ce dernier a été élaboré en collaboration avec les étudiants de 7<sup>ème</sup> année de médecine, ce livre d'apprentissage et d'entraînement, pédagogique et didactique, dont l'objectif était de permettre aux étudiants la maîtrise de ce magnifique outil qui est l'ECG.

Cet ouvrage permet d'aborder un panel varié de pathologies cardiovasculaires comme le syndrome coronaire, les troubles du rythme et de la conduction, les intoxications, les troubles métaboliques, et bien d'autres.

En 2022, notre ouvrage « MEDI-ECG » édité par ITS (Édition Itinéraires Scientifiques) était un best-seller lors du SILA (Salon International du Livre d'Alger). (Figures 84,85,86,87).



**Figure 84 : MEDI-ECG : Pages de garde**

<b>SOMMAIRE</b>		<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	
PRÉFACE	02	1-ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE HUMAINE, ELAIN MARIEB -9ÈME ÉDITION.	
GÉNÉRALITÉS	04	2-CARDIO-PARAMED.COM - ANATOMIE CORONAIRE.	
ECG NORMAL	14	3-CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE VAUDOIS- Service de Cardiologie – Syndrome coronarien aigu.	
HYPERTROPHIE DES CAVITÉS	28	4-COLLEGE DES ENSEIGNANTS DE CARDIOLOGIE ET MALADIES VASCULAIRES.	
TROUBLES DE CONDUCTION	38	5-COURS CHU TOULOUSE -TROUBLES DE LA CONDUCTION INTRACARDIAQUE-2009.	
TROUBLES DU RYTHME	50	6-LECTURE ACCÉLÉRÉE DE L'ECG, DAL DUBIN	
SYNDROMES CORONARIENS AIGUS	70	7-ECG-LAND, E-CARDIOGRAM PIERRE TABOULET.	
TROUBLES IONIQUES	86	8-INSTITUT DE CARDIOLOGIE DE MONTREAL - MALADIES CARDIOVASCULAIRES - SYNDROME CORONARIEN AIGU.	
DIVERS	94	9-IKB CARDIOLOGIE -ÉDITION 2018.	
APPLICATION	102	10-L'ECG FACILE – JOHN R. HAMPTON – 8ÈME ÉDITION.	
CORRIGÉ DES QCM	104	11-L'ECG POUR LES NULS- URGENCE PRATIQUE - 2009 N°92	
MIND-MAP	106	12-LA PRATIQUE DE L'ECG - JOHN R. HAMPTON -5ÈME ÉDITION.	
BIBLIOGRAPHIE	110	13-MAITRISER L'ECG DE LA THEORIE A LA CLINIQUE -3ÈME ÉDITION.	
		14-MEDICAL STUDENT SURVIVAL SKILLS ECG ED 2020	
		15-UNIVERSITE MEDICALE VIRTUELLE FRANCOPHONE - CAMPUS.	
			<b>110</b>

Figure 85 : MEDI-ECG : Sommaire et bibliographie


<b>MEDI-ECG : ECG NOUVELLE CONCEPTION</b>		<b>MEDI-ECG</b>	
<b>1</b>		<b>GÉNÉRALITÉS</b>	
Définition	05	<b>1-Définition :</b>	
Intérêt et indications	05	L'ECG est l'abréviation de Electrocardiographie; c'est à dire l'enregistrement de l'activité électrique du coeur en fonction du temps.	
Historique	05	<b>2-Intérêt et indications:</b>	
Electrophysiologie cardiaque	06	<b>a-Intérêt:</b>	
Principe de collection électrique	07	Il sert essentiellement au diagnostic et à la surveillance des ischémies myocardiques, des troubles du rythme, des troubles de conduction et d'autres pathologies.	
Technique	09	Sa réalisation permet une prise en charge de plusieurs urgences thérapeutiques.	
Fiche Flash	11	<b>b-Indications:</b>	
		Douleur thoracique	
		Palpitations	
		Lipothymie ou syncope	
		Signes Digestifs : Vomissements, épigastralgie, Hoquet	
		Bilan de suivi des maladies chroniques	
		Bilan pré-opératoire	
		Bilan d'aptitude à une activité sportive	
		<b>3-Historique:</b>	
		Fin du XVIIIème siècle : la découverte de l'électrophysiologie cardiaque	
		1895 : la publication du premier tracé par l'innovateur Willem Einthoven (6 dérivations)	
		1924: Willem Einthoven a eu le prix nobel en	
			
			Willem Einthoven www.nobelprize.org
		<b>05</b>	

Figure 86 : MEDI-ECG : Partie Généralités

<b>MEDI-ECG</b>	<b>MEDI-ECG</b>
<small>GENERALITES</small>	<small>GENERALITES</small>
<b>FICHE FLASH</b>	<b>ENTRAINEZ-VOUS</b>
<p><b>Définition :</b> c'est l'enregistrement de l'activité électrique du cœur</p> <p><b>Indications :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Douleur thoracique/ Palpitations</li> <li>— Syncope/lipothymie</li> <li>— Epigastralgies/ Vomissements</li> </ul> <p><b>Technique :</b></p> <p><b>Dérivations périphériques : «Rien Ne Va Jamais»:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Rouge sur le bras droit</li> <li>— Noir sur la jambe droite</li> <li>— Vert sur la jambe gauche</li> <li>— Jaune sur le bras gauche</li> </ul> <p><b>Dérivations précordiales :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— V1 : le bord interne du 4ème EIC droit</li> <li>— V2 : le bord interne du 4ème EIC gauche</li> <li>— V3 : mi-distance entre le V2 et V4</li> <li>— V4 : 5ème EIC gauche sur la ligne médio-claviculaire</li> <li>— V5 : 5ème EIC gauche sur la ligne axillaire antérieure</li> <li>— V6 : 5ème EIC gauche sur la ligne axillaire moyenne</li> </ul>	<p><b>1</b> Les indications de l'ECG : réponses justes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a-Douleur thoracique</li> <li>b-Dyspnée</li> <li>c-Vomissements</li> <li>d-Céphalées</li> <li>e-Douleur abdominale</li> </ul> <p><b>2</b> L'ECG nous informe sur : la réponse fausse</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a-La vitalité des cellules</li> <li>b-La régularité du rythme</li> <li>c-L'existence d'une hypertrophie</li> <li>d-L'axe du cœur</li> <li>e-Le volume d'éjection systolique</li> </ul> <p><b>3</b> Les dérivations frontales : la(es) réponse(s) juste(s)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a-Sont toutes unipolaires.</li> <li>b-Sont toutes bipolaires.</li> <li>c-Sont au nombre de 6.</li> <li>d-Obtenues par 6 électrodes placées sur les membres.</li> <li>e-Nommées par des lettres.</li> </ul> <p><b>4</b> Les électrodes des dérivations précordiales : réponses fausses</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a-Sont au nombre de 6.</li> <li>b-Sont strictement symétriques.</li> <li>c-Nommées par numéro.</li> <li>d-Placées sur des espaces intercostaux définis.</li> <li>e-Placées sur les membres.</li> </ul> <p><b>5</b> Les ions pouvant influencer l'activité cardiaque : réponses justes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a-Potassium</li> <li>b-Calcium</li> <li>c-Sodium</li> <li>d-Magnésium</li> <li>e-Radium</li> </ul>
<b>11</b>	<b>12</b>

**Figure 87 : MEDI-ECG : Fiche flash et Entraînement**

Après cette réussite et le succès de notre livre, nous avons décidé d'aborder ce thème dans le cadre de notre thèse de doctorat de médecine et de concevoir un outil informatique d'aide à l'apprentissage et l'interprétation de l'ECG. Ce travail a comme objectif de répondre à cette demande croissante en formation et en moyens concernant l'interprétation de l'ECG.

Nous avons tenté au cours de ce travail de concevoir et de valider un support numérique (utilisable sur logiciel et version mobile « application »), un guide qui permet pas à pas, étape par étape une interprétation systématique, rapide, précise et fiable des tracés ECG.

Nous avons utilisé les critères de PICO (Sackett et coll ;2000) (**P** : Patients, étudiants en médecine, **I** : Intervention, le logiciel informatique, **C** : Comparaison entre les groupes avec et sans l'outil, **O** : Outcome : nombre d'ECG interprétés correctement) pour formuler les questions de recherche qui se sont imposées à nous et auxquelles nous allons essayer de répondre :

- Quelle est la meilleure approche pédagogique pour les étudiants en médecine concernant l'interprétation réussie de l'ECG ?

L'utilisation de l'application seule qui remplace une formation académique traditionnelle ou la combinaison des deux méthodes pour un apprentissage optimal.

- Est- ce qu'un support numérique permet une interprétation rapide, précise et fiable avec une analyse raisonnée et une information pratique et de valeur ?

Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé une étude prospective, descriptive, comparative et randomisée en deux bras, avec comme critères de jugement, la précision du diagnostic électrique et le raccourcissement du temps nécessaire à une telle analyse.

### 3.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE

#### **Objectif principal :**

Concevoir et valider un logiciel avec version mobile, d'aide à l'interprétation de l'électrocardiogramme pour les praticiens exerçant en situation d'urgence.

#### **Objectifs secondaires :**

- Évaluer et identifier les difficultés et les problèmes rencontrés lors de la réalisation et l'interprétation de l'ECG par les médecins.
- Utiliser le support numérique pour l'apprentissage de l'ECG, offrant une synthèse des notions de base et des connaissances nécessaires pour les futurs médecins et les internes en situation d'urgence.
- Construire une base de données des tracés ECG, des diagnostics les plus fréquents et urgents sous forme d'exercices avec vignettes cliniques et conduites à tenir, constituant un moyen de diagnostic et d'évaluation (ECOS, ARC).

## 3.3 PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

### 3.3.1 MATERIEL ET METHODES

- Nous avons réalisé une première enquête nationale pour identifier les difficultés rencontrées par les praticiens au cours de l'interprétation de l'ECG.  
Cette enquête a été réalisée auprès des internes de la faculté de médecine de Mostaganem et des médecins généralistes algériens.
- Dans un deuxième temps, nous avons conçu l'outil numérique d'aide au diagnostic et d'apprentissage de l'interprétation de l'électrocardiogramme.
- Dans un troisième temps nous avons réalisé une étude randomisée afin d'évaluer l'impact de l'application et du logiciel d'apprentissage de l'ECG sur l'acquisition des performances d'interprétation par les étudiants.

#### 3.3.1.1 Type de l'étude

C'est une étude prospective, descriptive et comparative, randomisée en deux bras.

#### 3.3.1.2 Population cible de l'étude

Étudiants de la 6<sup>ème</sup> année de médecine de la faculté de médecine de Mostaganem, sur 2 promotions, années universitaires : 2022-2023 et 2023-2024.

Ce choix était justifié par le fait que ces derniers étaient en fin de cursus et ayant accompli leur enseignement théorique, le module de cardiologie et des urgences médico-chirurgicales en l'occurrence.

#### 3.3.1.3 Critères d'inclusion

Ont été inclus les étudiants de la 6<sup>ème</sup> année de médecine de la faculté de médecine de Mostaganem, désirant suivre une formation ECG.

L'inscription était réalisée suite à une annonce affichée au niveau du centre de simulation, sur la plateforme de la faculté <http://e-fm.univ-mosta.dz>, et sur les réseaux sociaux (pages officielles de la faculté de médecine de Mostaganem).

Le recrutement s'est déroulé sur deux périodes et a concerné deux promotions d'étudiants en 6<sup>ème</sup> année de médecine de 2022-2023 et de 2023-2024.

## PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

### 3.3.1.4 Critères de non inclusion

- Les étudiants des autres facultés, ceux des autres années pédagogiques de notre faculté autres que la 6<sup>ème</sup> année de médecine.
- Les internes, les résidents de différentes spécialités, les médecins généralistes et les médecins spécialistes.

### 3.3.1.5 Critères d'exclusion

- Les étudiants qui se sont absentés à l'une des trois évaluations.
- Les étudiants qui se sont absentés à au moins une séance d'apprentissage.

Les étudiants qui ont été exclu de l'étude n'ont pas été intégré dans nos statistiques, mais ils ont continué à bénéficier de la formation ECG.

Les séances d'apprentissage n'étaient pas obligatoires, l'accès à la formation était tributaire d'un émargement. Ce dernier nous a permis d'établir une feuille de présence et de répertorier les étudiants absents et le nombre d'absence.

### 3.3.1.6 Calcul de la taille d'échantillon

Nous avons calculé le nombre de sujets nécessaires avec les paramètres suivants :

ng (nombre de groupes) = 2, nm (nombre de mesures) = 3, f ( taille de l'effectif ) = 0.4, nscor ( coefficient de la correction non sphéricité) = 1, risque alpha = 0.05, puissance= 0.80.

Le calcul a été réalisé par le logiciel R Version R x 64 4.0.5 [236], à l'aide du package "WebPower".

**Le résultat :**

```
> wp.rmanova (n=NULL,ng=2,nm=3,f=0.4,nscor=1,alpha=0.05,power=0.80,type=2)
Repeated-measures ANOVA analysis

      n   f  ng nm nscor alpha power
61.75222 0.4  2  3     1  0.05  0.8

NOTE: Power analysis for interaction-effect test
URL: http://psychstat.org/rmanova
```

Pour mettre en évidence une différence statistiquement significative du score moyen entre les deux groupes et au sein de chaque groupe, pour trois évaluations (ANOVA mixte à deux facteurs), le nombre de sujets nécessaires est estimé à 62 étudiants au total, soit de 31 étudiants

## PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

par groupe pour une erreur alpha de 5%, une puissance de 80%, une taille d'effet de 40% et pour un effet d'interaction avec des mesures répétées.

Nous avons rajouté 10 % à cet effectif afin de tenir compte des perdus de vue, faisant passer notre effectif total à 68 étudiants soit 34 par groupe.

### 3.3.2 LA RANDOMISATION

Le processus de randomisation au hasard en deux groupes, a été effectué à l'aide du logiciel R [236], et s'est déroulé en deux périodes (Figure 88).

La première période en avril 2023 avec un effectif total de 68 étudiants de 6<sup>ème</sup> année médecine de l'année universitaire 2022-2023, répartis en deux groupes de 34 étudiants chacun.

La randomisation s'est déroulée avant la première évaluation (pré-test) afin de tester l'homogénéité des deux groupes, et avant le début du programme de formation.

Le taux d'absentéisme important lors de l'évaluation finale a entraîné un déséquilibre des deux bras de l'étude et l'impossibilité de l'interprétation des résultats.

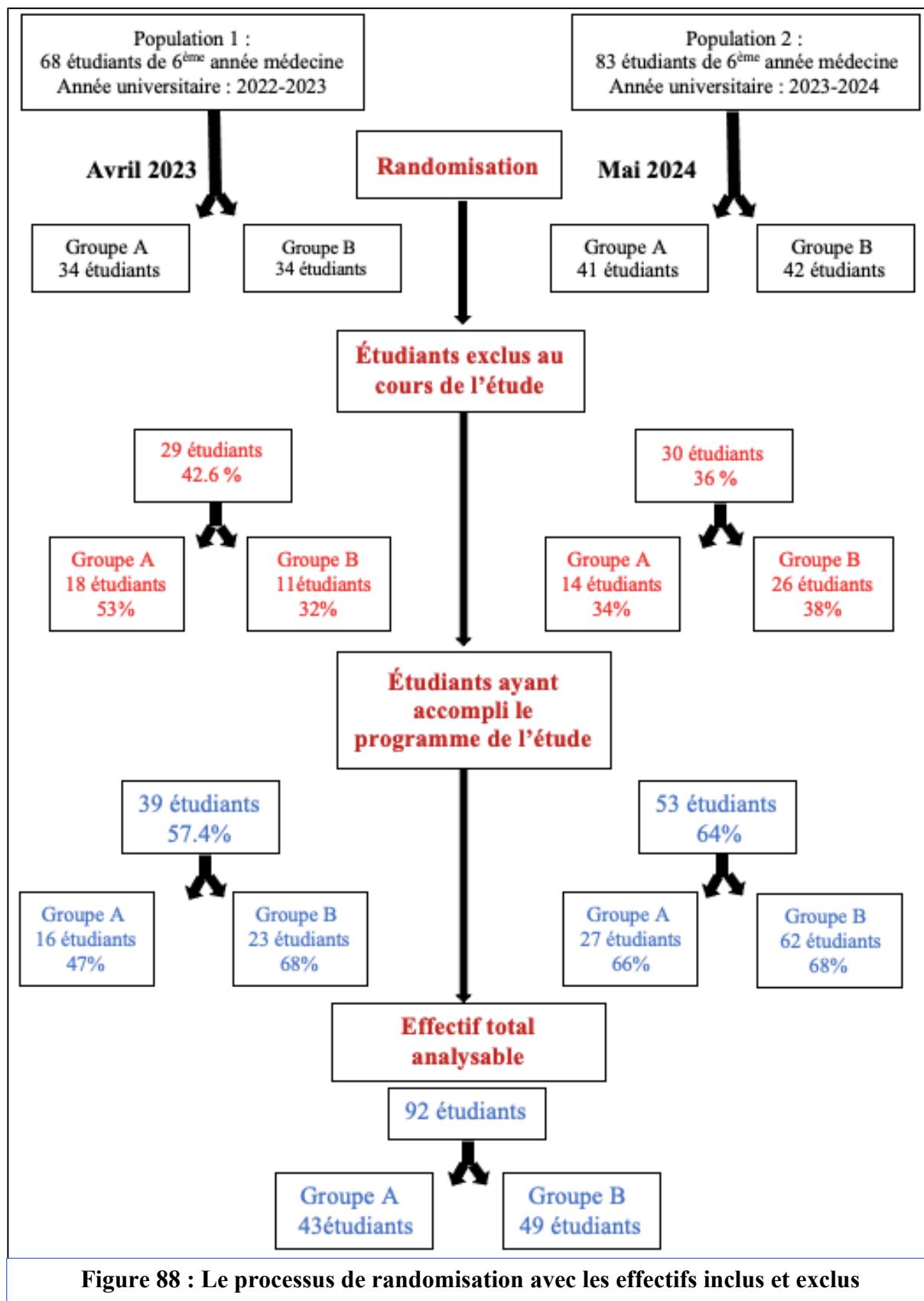
Cette situation, nous a obligé à poursuivre la randomisation. Cette dernière s'est déroulée en Mai 2024, nous avons inclus 83 étudiants de 6<sup>ème</sup> année médecine de l'année universitaire 2023-2024, répartis en 2 groupes.

Ainsi nous avons inclus dans cette série un effectif total de 151 étudiants. (68 étudiants lors de la première période + 83 étudiants lors de la deuxième période), 59 étudiants étaient exclus.

De ce fait, notre échantillon final analysable était de 92 étudiants, répartis en 2 groupes :

- **Le Groupe A** : 43 étudiants.
- **Le Groupe B** : 49 étudiants.

## PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE



### 3.4 DEROULEMENT DE L'ETUDE

Notre travail comptait trois étapes :

1<sup>ère</sup> étape : l'enquête auprès des internes et des médecins généralistes,

2<sup>ème</sup> étape : la conception et la validation de l'application, et du logiciel d'apprentissage,

3<sup>ème</sup> étape : l'étude randomisée.

#### 3.4.1 La réalisation d'une enquête nationale

Nous avons d'abord réalisé une enquête auprès des internes de la faculté de médecine de Mostaganem et des médecins généralistes par le biais d'un sondage national, afin d'identifier et de recueillir leurs difficultés et besoins en matière d'interprétation de l'ECG.

Cette étape va nous permettre de proposer des solutions pédagogiques adaptées.

Les internes ont été interrogés grâce à un questionnaire élaboré à partir de 3 questionnaires validés et adoptés par d'autres universités que nous avons modifié et adapté à nos besoins et spécificités [237, 238, 239].

Notre questionnaire est composé de 10 questions : les informations recueillies après ce sondage sont : (Annexe 1)

- Le sexe,
- Le service d'affectation,
- La disponibilité ou non d'un électrocardiographe dans le service actuel,
- La nécessité de réaliser et d'interpréter un ECG,
- La fréquence de réalisation d'un ECG,
- Les principales indications,
- La satisfaction par rapport à la formation académique initiale,
- Le suivi d'une formation antérieure,
- L'aptitude à l'interprétation,
- L'intérêt de suivre d'autres formations et sous quels formats.

Ce questionnaire anonyme a été mis à la disposition des internes via le site web Google Forms, le logiciel d'administration d'enquêtes.

Pour les médecins généralistes, un sondage national par le biais de la SAMG (la Société Algérienne de Médecine Générale) a été adopté.

## PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

Le questionnaire anonyme sous format papier a été remis aux médecins au cours des congrès, des journées, des rencontres, ....

Ce dernier comptait 11 questions, il était similaire à celui des internes avec une question additionnelle concernant l'âge du praticien, et une précision sur sa ville d'exercice (Annexe 2). Nous avons collecté 175 réponses (entre internes et médecins généralistes).

### 3.4.2 La conception et la validation de l'application

La deuxième étape était la conception de l'outil numérique d'aide au diagnostic et d'apprentissage de l'interprétation de l'électrocardiogramme.

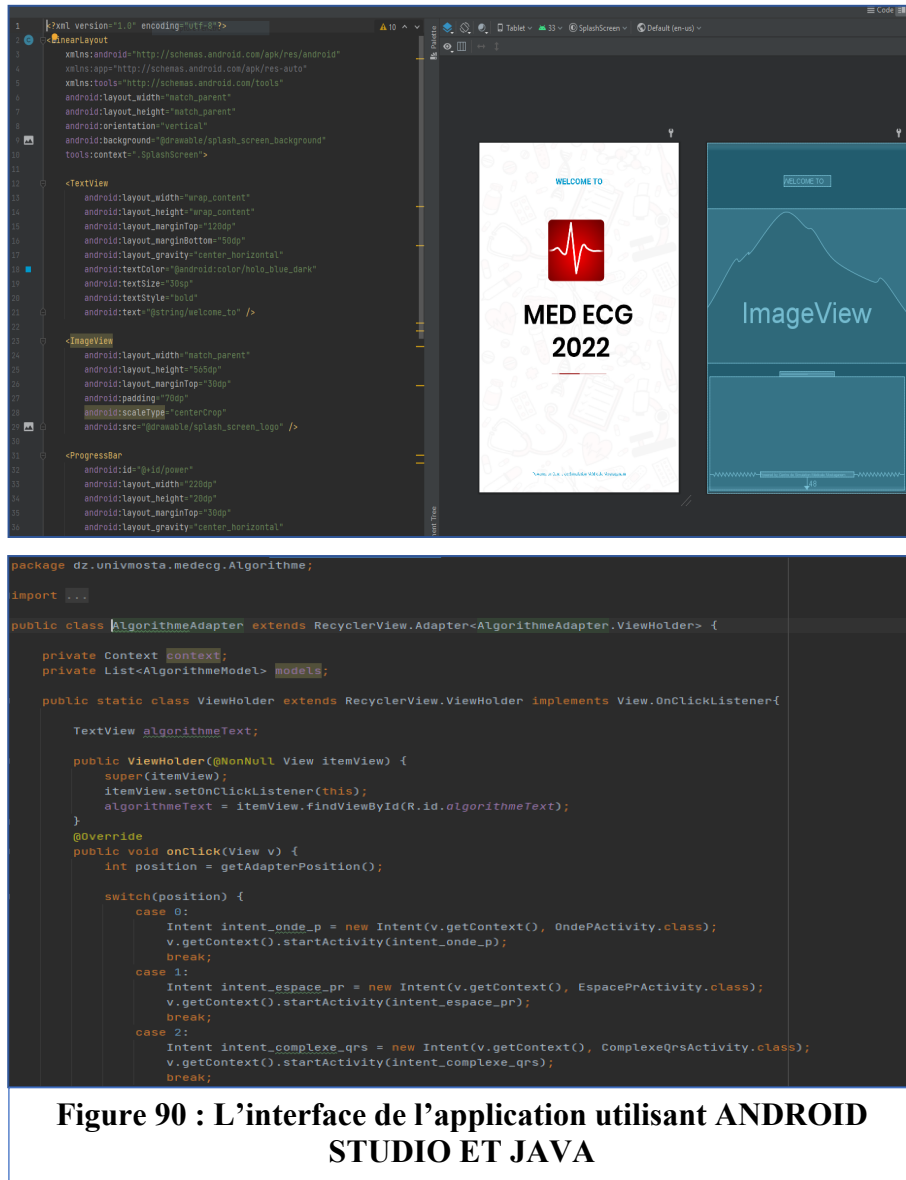
Ce logiciel porte le nom de **MED ECG 2022** (Figure 89). Cette application mobile a été conçue en 2022, par l'ingénieur informaticien Mr BELHAMITI Mohamed El Amine.

L'application a été développée avec Android Studio en utilisant Java comme langage de programmation. Elle offre une interface utilisateur intuitive, optimisée pour les besoins des professionnels de santé travaillant en situation d'urgence (Figure 90).

Les tracés ECG utilisés dans cette application sont tirés du livre MEDI-ECG, dessinés par infographie par Mr MOSBAH Abderrahmane.



Figure 89 : Le prototype de l'application MED ECG 2022



**Figure 90 : L'interface de l'application utilisant ANDROID STUDIO ET JAVA**

Nous avons d'abord procédé à la sélection des critères spécifiques et/ou pathognomoniques définissant les différentes entités de l'ECG permettant la conception d'algorithmes. Ces derniers sont intégrés dans l'application permettant en quelques clics de parvenir au diagnostic électrique.

Cette démarche doit permettre d'assurer, rapidité, fiabilité et précision recherchées lors de l'interprétation d'un ECG.

## PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

A l'ouverture de l'application, la première étape indispensable et incontournable, consiste à vérifier les critères de validité d'un ECG (Figure 91).

VALIDITÉ: VIF					
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>VITESSE : 25 mm / sec</b></li><li>• <b>VOLTAGE: 10 mm/mV</b></li><li>• <b>FILTRE : 50 - 150 Hz</b></li></ul>	<table><thead><tr><th>Inversion de fils</th><th>Dextrocardie</th></tr></thead><tbody><tr><td><ul style="list-style-type: none"><li>○ aVR +</li><li>○ Dérivation négative</li><li>○ Dérivation nulle</li><li>○ R ne progresse pas</li><li>○ DI <math>\neq</math> V6</li></ul></td><td><ul style="list-style-type: none"><li>○ aVR +</li><li>○ R décroît de V1 à V6</li><li>○ DI = V6</li></ul></td></tr></tbody></table>	Inversion de fils	Dextrocardie	<ul style="list-style-type: none"><li>○ aVR +</li><li>○ Dérivation négative</li><li>○ Dérivation nulle</li><li>○ R ne progresse pas</li><li>○ DI <math>\neq</math> V6</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ aVR +</li><li>○ R décroît de V1 à V6</li><li>○ DI = V6</li></ul>
Inversion de fils	Dextrocardie				
<ul style="list-style-type: none"><li>○ aVR +</li><li>○ Dérivation négative</li><li>○ Dérivation nulle</li><li>○ R ne progresse pas</li><li>○ DI <math>\neq</math> V6</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ aVR +</li><li>○ R décroît de V1 à V6</li><li>○ DI = V6</li></ul>				

**Figure 91 : 1<sup>ère</sup> étape de l'interprétation d'un ECG : Les critères de validité**  
V : Vitesse, V : Voltage, I : inversion des fils, F : Filtre

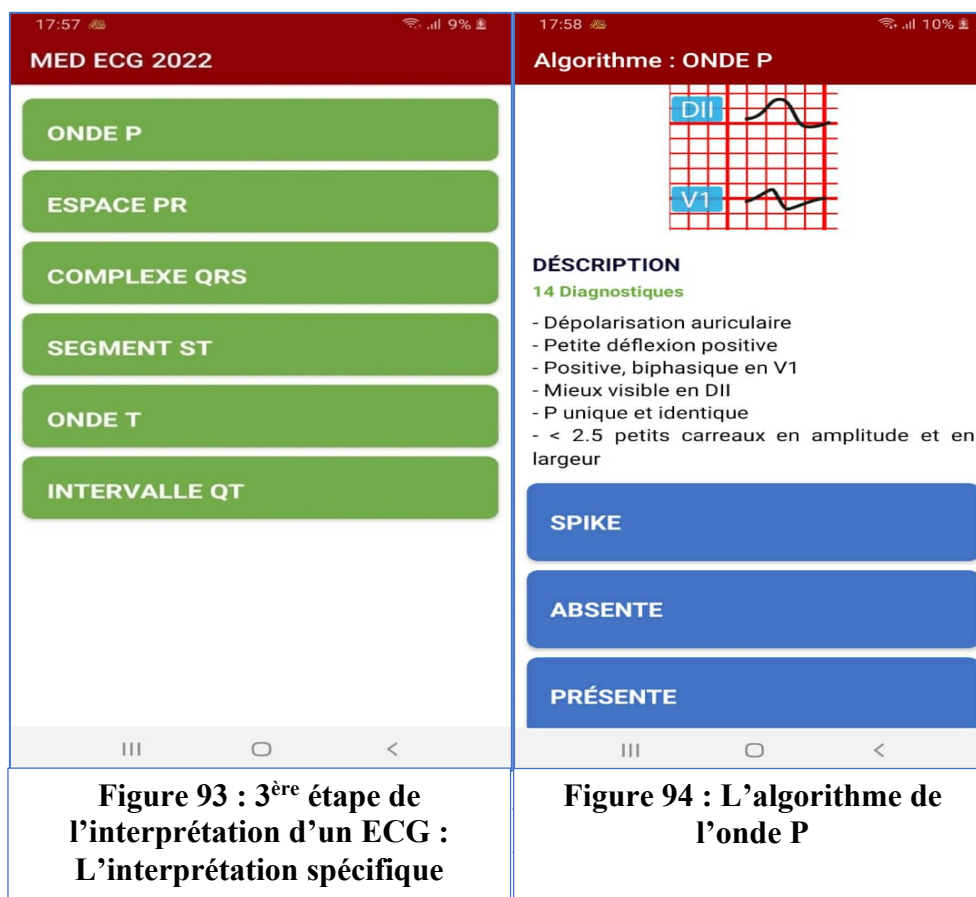
Ensuite l'utilisateur doit contrôler si le rythme est sinusal, régulier, déterminer la fréquence cardiaque et l'axe du cœur (Figure 92).

<b>INTERPRÉTATION GÉNÉRALE SFAR</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Rythme Sinusal</b> : si une onde P normale « identique », unique, se situe avant chaque QRS</li><li>• <b>Fréquence cardiaque</b>: 60 – 100 /min</li><li>• <b>Axe</b>: normal entre -30° à +90°</li><li>• <b>Régulier</b> : les espaces RR sont constants</li></ul>

**Figure 92 : 2<sup>ème</sup> étape de l'interprétation d'un ECG : L'interprétation générale**

Ensuite l'utilisateur va accéder aux différentes parties ou segments constituant un ECG, à savoir l'onde P, l'espace PR, le complexe QRS, le segment ST, l'onde T et l'intervalle QT (Figure 93).

En repérant l'anomalie sur l'ECG à interpréter, l'apprenant se dirige directement vers l'onde ou le segment portant cette anomalie. Dans le cas contraire, l'apprenant doit procéder à une interprétation systématique, spécifique, onde par onde en recherchant l'anomalie jusqu'au diagnostic électrique.



**Figure 93 : 3<sup>ème</sup> étape de l'interprétation d'un ECG : L'interprétation spécifique**

**Figure 94 : L'algorithme de l'onde P**

### Exemple illustrant le fonctionnement de l'application

Nous allons prendre comme type de description l'onde P pour décrire les différentes étapes suivies par l'application pour l'interprétation d'un ECG.

La même démarche est appliquée dans la lecture des autres parties de l'ECG.

En haut de la page, apparaît le tracé de l'onde P avec une description de son aspect normal.

Ensuite le nombre de diagnostics possibles.

Et en bas les choix possibles entre : onde P présente, absente ou présence de spike (figure 94).

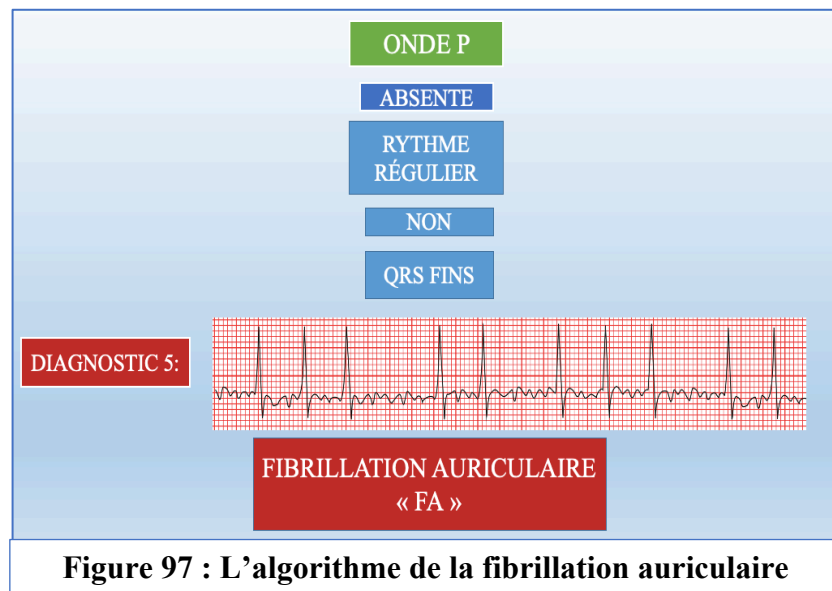
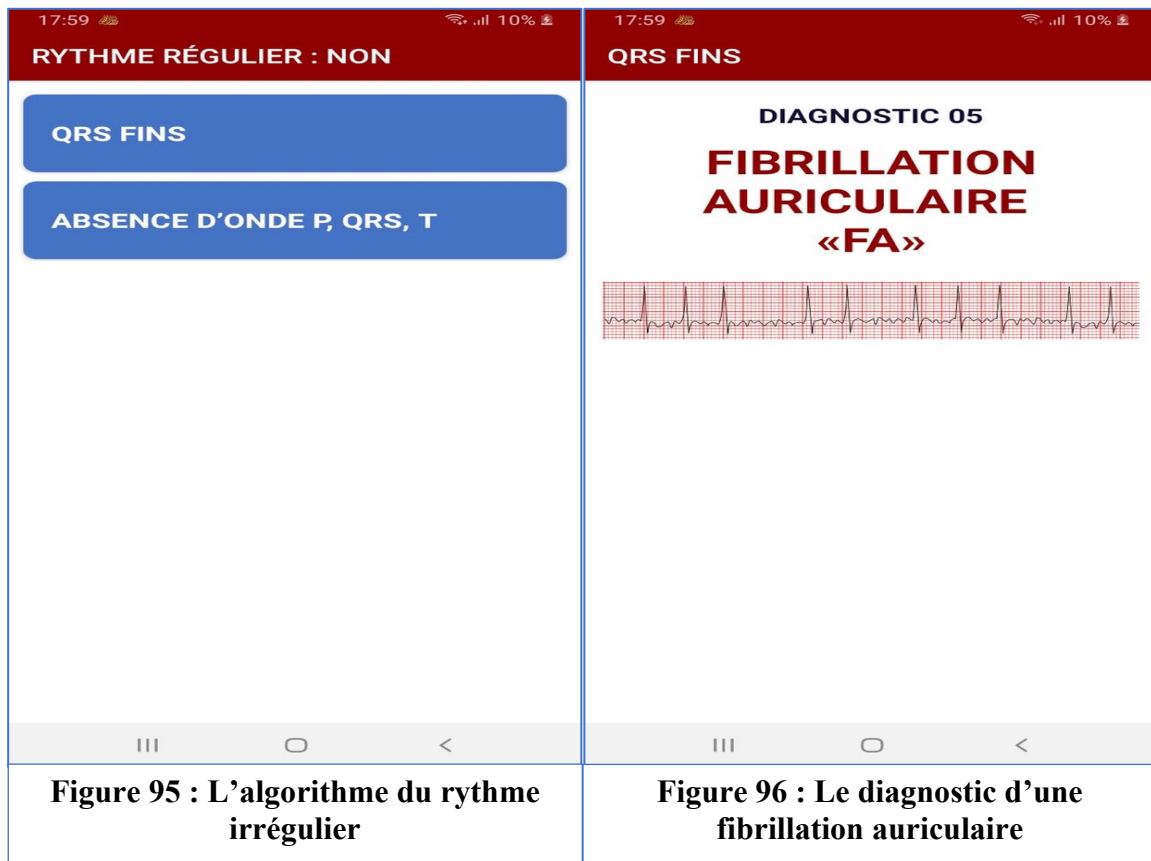
En choisissant par exemple : onde P absente, l'application vous conduit vers le rythme : régulier ou irrégulier.

Si le rythme est irrégulier, il y a deux possibilités : soit QRS fins, soit absence du complexe (PQRST) (Figure 95).

Si les QRS sont fins, l'application vous conduit vers le diagnostic d'une fibrillation atriale avec le tracé correspondant afin de le comparer avec celui de votre patient (Figure 96).

A la fin de chaque chapitre, nous avons adopté un algorithme résumant les différentes étapes pour arriver au diagnostic électrique (Figure 97).

## PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

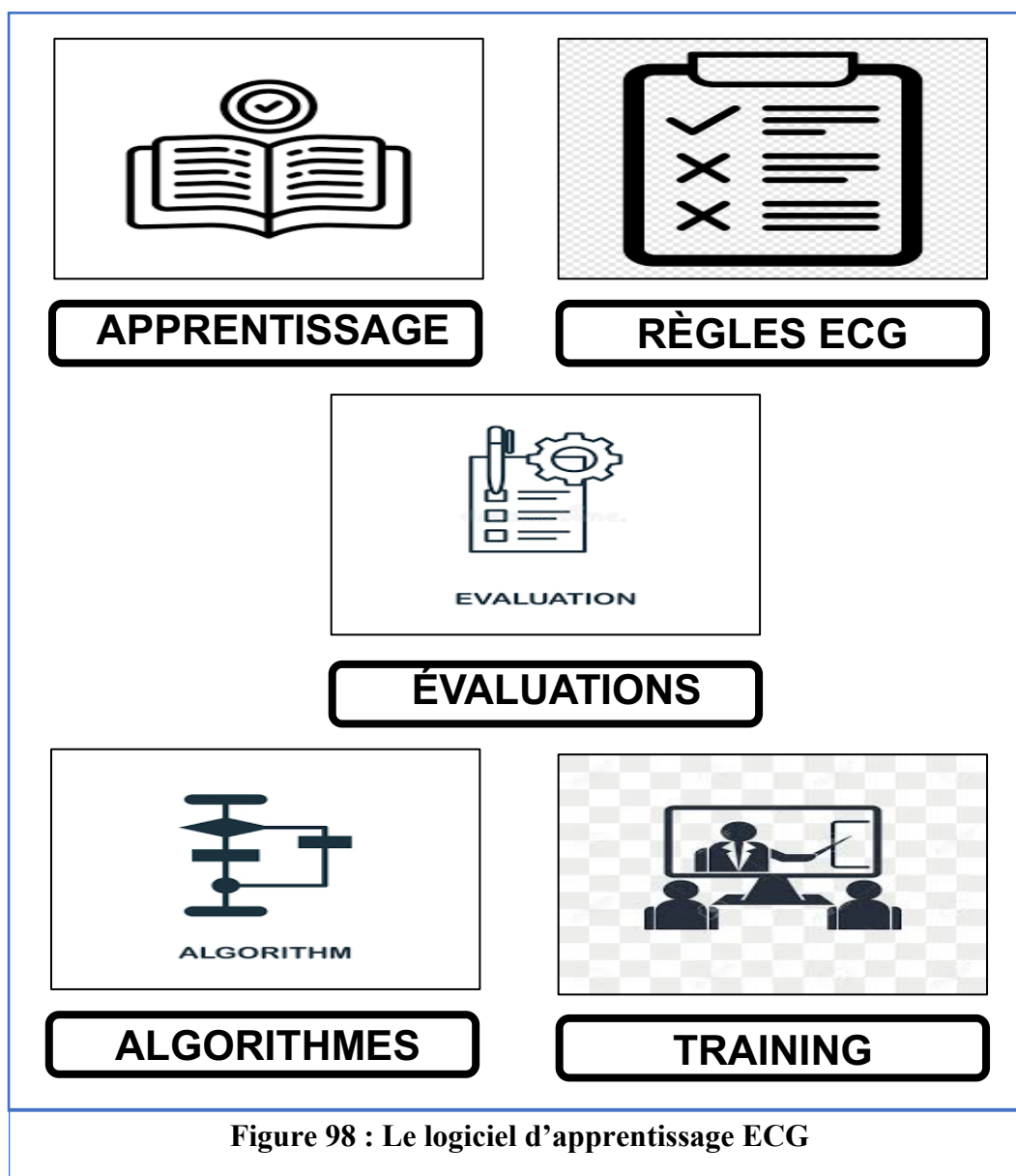


**Figure 97 : L'algorithme de la fibrillation auriculaire**

### 3.4.3 La conception du logiciel d'apprentissage de l'ECG

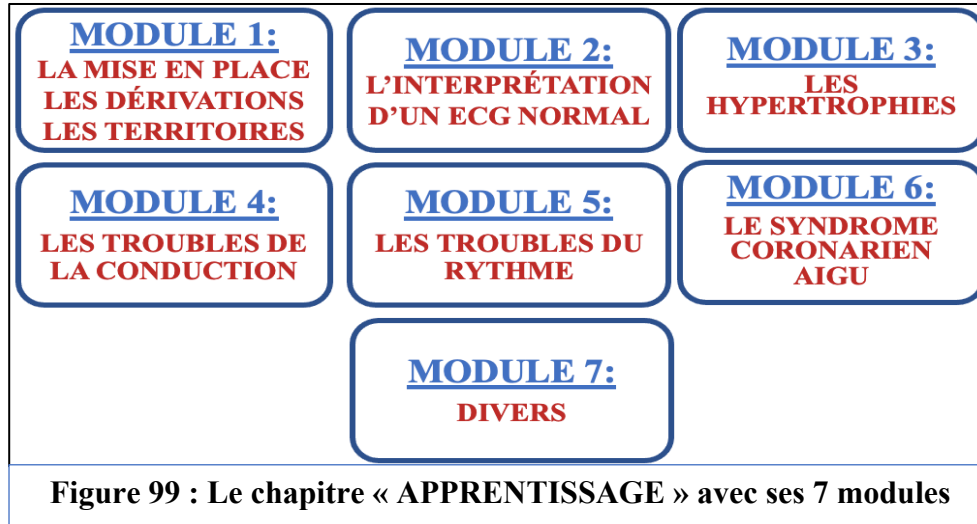
Le logiciel offre une synthèse des notions de base et des connaissances nécessaires, permettant à l'étudiant de se former à son rythme à l'interprétation de l'ECG.

Le logiciel est constitué de 5 chapitres : apprentissage, règles ECG, algorithmes, training et évaluations (Figure 98).

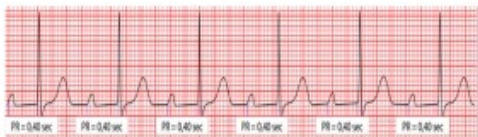


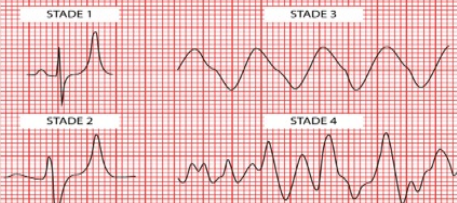


## PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

⇒ **APPRENTISSAGE** : composé de 7 modules : la mise en place, l'ECG normal, les hypertrophies, les troubles de la conduction, les troubles du rythme, le syndrome coronarien aigu et les divers. Le module comporte différents diagnostics électriques (Figure 99).

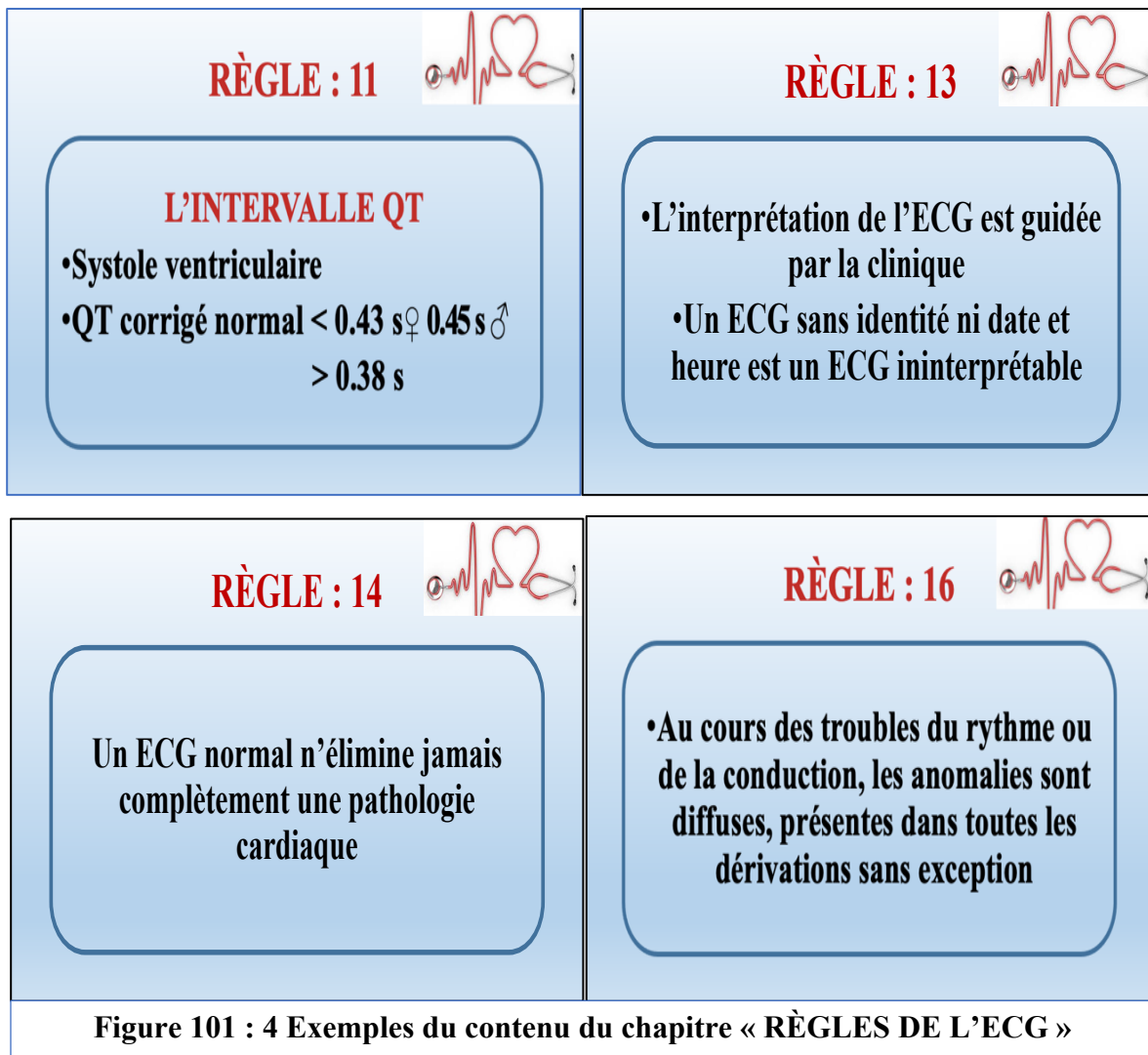


Chaque module contient les informations nécessaires à connaître, avec des explications simples et des tracés permettant un auto-apprentissage à la portée de tout étudiant (Figure 100).

<p style="text-align: center;"><b>BLOC AURICULO- VENTRICULAIRE 1<sup>er</sup> DEGRÉ: BAV1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Allongement fixe et constant de PR &gt; 0,20 sec (5 pc)</li> <li>❖ Sans onde P bloquée</li> </ul>  <p style="text-align: center;">Surveillance, éviter la digoxine, les inhibiteurs calciques et les Bbloquant, traitement de la cause</p>	<p style="text-align: center;"><b>LA FIBRILLATION AURICULAIRE « FA »</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Rythme irrégulier</li> <li>❖ Absence d'onde P</li> <li>❖ Trémulation de la ligne de base</li> <li>❖ QRS fins de morphologie normale</li> <li>❖ La fréquence cardiaque peut être ralentie (brady-ACFA), normale ou accélérée (tachy-ACFA).</li> <li>❖ C'est une urgence diagnostique et thérapeutique</li> </ul>  <p style="text-align: center;">Inhibiteur calcique ou B bloquant, cardioversion, antiarythmique, anticoagulation</p>
<p style="text-align: center;"><b>ONDE T : ISCHÉMIE</b></p> <p>L'onde T en cas d'ischémie peut prendre un des aspects suivants:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ample</b> (&gt;75% de l'onde R) témoigne d'une ischémie sous-endocardique qui apparaît à la 1ère heure. Ample à base large</li> <li>• <b>Symétrique</b></li> <li>• <b>Inversée</b> signant soit une ischémie épicaudique ou une reperfusion si elle est profonde et symétrique</li> <li>• <b>A début bien précis</b></li> </ul> 	<p style="text-align: center;"><b>HYPERKALIÉMIE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Stade 1:</b> K+ 6-7 mmol/l : Ondes T amples à base étroite, pointues et symétriques pouvant dépasser l'onde R</li> <li>• <b>Stade 2:</b> K+ 7-8 mmol/l : anomalies de la conduction auriculaire, auriculo-ventriculaire et intra-ventriculaire :             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplatissement de l'onde P jusqu'à sa disparition.</li> <li>• Allongement de PR ou bloc sino-auriculaire.</li> <li>• Elargissement du QRS.</li> </ul> </li> <li>• <b>Stade 3:</b> K+ 8-9 mmol/L : apparition d'ondes sinoïdes : QRS larges qui fusionnent avec les ondes T.</li> <li>• <b>Stade 4:</b> K+ &gt; 9mmol/L : fibrillation ventriculaire conduisant à une asystolie et arrêt cardiaque</li> </ul> 

**Figure 100 : 4 Exemples du contenu du chapitre « APPRENTISSAGE »**

⇒ **RÈGLES ECG** : 20 règles de bases à connaître, ces règles comprennent les conditions de réalisation, les astuces et les conseils pour une meilleure interprétation de l'ECG (Figure 101).

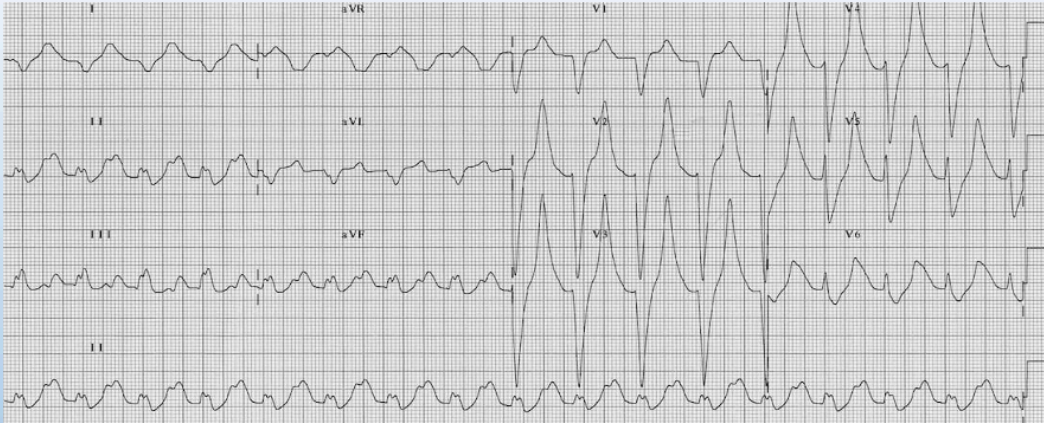




## PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

⇒ **TRAINING** : ce module permet à l'apprenant de s'entraîner à l'interprétation de l'ECG grâce à des cas cliniques. 40 ECG avec vignettes cliniques sont proposés à l'apprenant (Figure 104, 105).

**ECG 15:** Homme de 75 ans, présentant une insuffisance rénale chronique sévère, ECG réalisé suite à des paresthésies

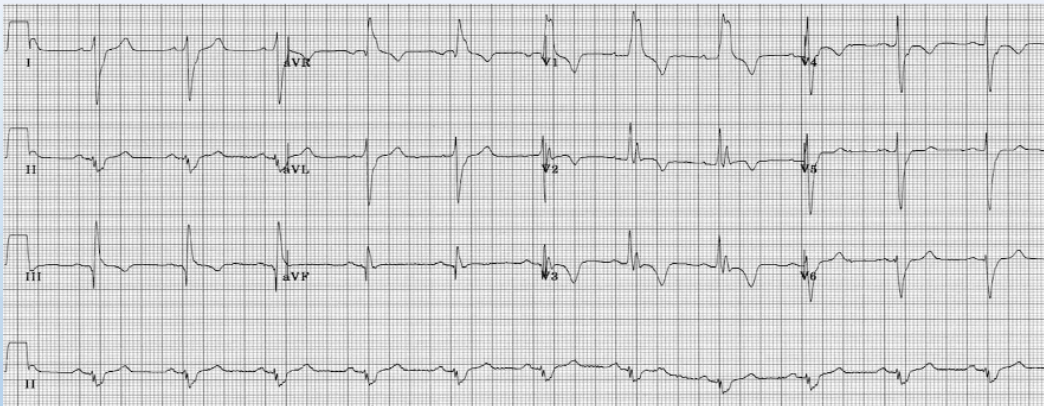


- Ondes T amples à base étroite, pointues et symétriques dépassant l'onde R
- Aplatissement de l'onde P jusqu'à sa disparition.
- Elargissement du QRS.
- Apparition d'ondes sinoïdes : QRS larges qui fusionnent avec les ondes T.

**Hyperkaliémie menaçante**

**Figure 104 : Training n° 15 : cas clinique sur l'hyperkaliémie menaçante**

**ECG 40:** Jeune femme de 25 ans, suivie pour une maladie de Behçet, hospitalisée pour douleur thoracique et dyspnée aigüe



- Rythme sinusal régulier, fréquence cardiaque à 75/min
- Axe droit
- Aspect M ou RR' en V1+ troubles de la repolarisation ( T inversée)
- Onde S profonde en V6
- QRS larges > 0.12 sec
- Aspect S1Q3T3 ( grande onde S en DI, onde Q en DIII, onde T négative en DIII)
- Rapport R/S > 1 en V1

**Tracé ECG compatible avec une embolie pulmonaire: axe droit + HVD + BBD + S1Q3T3**

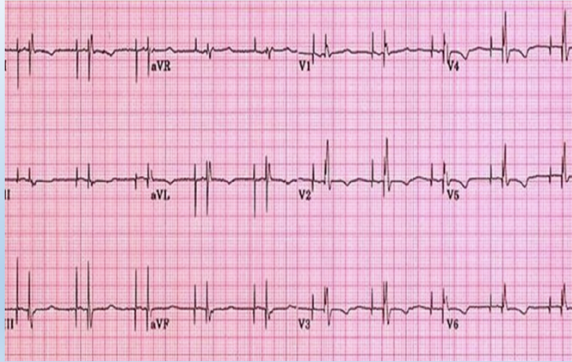
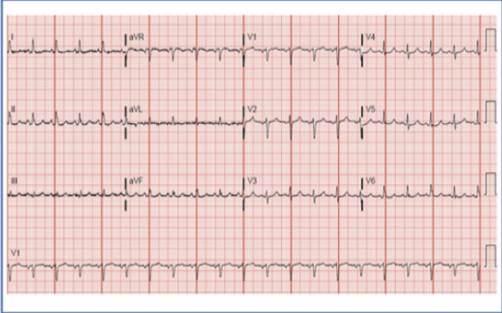
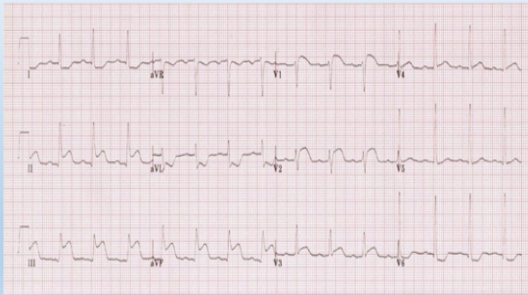
**Figure 105 : Training n° 40 : cas clinique sur l'embolie pulmonaire**

## PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

⇒ **ÉVALUATIONS** : cette partie contient 63 tracés ECG, divisés en 3 parties avec 21 ECG dans chaque partie. Ces derniers sont divisés en 3 niveaux de 7 ECG de difficulté croissante, niveau débutant (exemples : ECG normal, BAV1, Pacemaker, les blocs de branches,...), niveau intermédiaire (TV, SCA, TdP, hyperkaliémies, FA,...) et niveau difficile (BAV 2 et 3, blocs trifasciculaire, embolie pulmonaire...). La réponse juste est sélectionnée sur une liste déroulante des 21 ECG (Figure 106).

Le choix s'est porté sur 21 ECG représentant les pathologies les plus fréquentes, les plus graves ou urgentes nécessitant une prise en charge diagnostique et thérapeutique précoce.

Cette partie peut être utilisée lors des évaluations (ECOS, ARC).

<p style="text-align: center;"><b>LISTE DES DIAGNOSTICS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• BAV 1</li><li>• BAV2 M I</li><li>• BAV2 M II</li><li>• BAV 3</li><li>• Fibrillation auriculaire</li><li>• Fibrillation ventriculaire</li><li>• Tachycardie ventriculaire</li><li>• Péricardite</li><li>• Hyperkaliémie</li><li>• Syndrome coronarien aigu</li><li>• ECG normal</li><li>• Flutter auriculaire</li><li>• Tachycardie jonctionnelle</li><li>• Torsade de pointes</li><li>• Alternance électrique</li><li>• Bloc de branche gauche</li><li>• Hypokaliémie</li><li>• Wolff-Parkinson-White</li><li>• Bloc trifasciculaire</li><li>• Embolie pulmonaire</li><li>• Pacemaker</li></ul>	<p style="text-align: center;"><b>ECG 1</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>ECG 2</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>ECG 3</b></p> 

**Figure 106 : Chapitre « EVALUATIONS » : avec la liste déroulante et 3 exemples de tracés ECG**

### 3.4.4 L'étude randomisée

Le schéma choisi pour répondre à notre question de recherche comprend les étapes suivantes :

- ⇒ Enregistrement et inscription des étudiants. Une séance d'information sur le déroulement de la formation a été organisée.
- ⇒ La randomisation en deux groupes de l'effectif total sur deux périodes. La première en Avril 2023 et la seconde en Mai 2024. Le même protocole de formation avec les mêmes conditions a été appliqué aux deux groupes.
- ⇒ L'ensemble des étudiants a bénéficié d'une évaluation 1 (initiale ou pré-test).
- ⇒ Le premier groupe (**groupe A**) a procédé à l'interprétation des ECG en utilisant l'application (évaluation 2), suivie par une formation par le logiciel d'apprentissage, et il a terminé par une dernière évaluation post-formation (évaluation 3).
- ⇒ Le deuxième groupe (**groupe B**) a procédé à la formation par le logiciel d'apprentissage, suivie d'une évaluation post-formation (évaluation 2), puis une dernière évaluation en utilisant l'application (évaluation 3).

**Le protocole établi a été abordé dans la partie suivante.**

- ⇒ **La randomisation** : Cette étape s'est déroulée sur deux périodes (voir la section 3.2.2) :
  - Première période en Avril 2023 : l'effectif total était de 68 étudiants répartis au hasard en deux groupes A et B de 34 étudiants chacun.
  - Deuxième période : en Mai 2024 : l'effectif total était de 83 étudiants répartis en deux groupes A et B comptant 41 et 42 étudiants respectivement.
- ⇒ **Évaluation 1 : (initiale ou pré-test)** : Tous les étudiants (151) ont bénéficié d'une évaluation de 21 minutes, au centre de simulation de la faculté, portant sur 21 ECG, choisis aléatoirement, de difficultés différentes (7 faciles, 7 intermédiaires et 7 difficiles), avec une liste déroulante des diagnostics.  
L'évaluation était chronométrée : 1 minute par tracé ECG (Figure 107).  
Après correction de l'évaluation, chaque étudiant avait un score allant de 0 à 21 points.

## PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

A l'issue de cette étape, nous avons réalisé des tests statistiques (voir la section 3.5), confirmant le caractère aléatoire et l'homogénéité des deux groupes A et B.



**Figure 107 : Le déroulement de l'évaluation 1 ou pré-test.  
Centre de simulation Mostaganem Sessions 2023 et 2024**

### 3.4.5 Le programme de l'étude

#### 3.4.5.1 Description du programme du groupe A

##### **Phase 1 : Formation sur l'utilisation de l'application**

Les étudiants du groupe A ont bénéficié d'une formation à l'utilisation de l'application, avec l'installation de celle-ci sur leurs smartphones via un code QR (Figure 108).

##### **Phase 2 : Évaluation 2 avec l'application**

21 tracés ECG inédits, choisis aléatoirement parmi la banque de 63 ECG, 7 ECG de difficultés croissantes comme expliqué dans le chapitre 3.3.3 partie « évaluations ». La durée de l'évaluation était de 42 minutes à raison de 2 minutes par tracé ECG permettant à l'étudiant d'utiliser l'application lors de l'interprétation.

Après correction de l'évaluation 2, chaque étudiant avait obtenu un score allant de 0 à 21 points.

##### **Phase 3 : Apprentissage**

7 séances d'apprentissage des différents modules (voir la section 3.3.3 partie « apprentissage ») ont été assurées, en une à deux séances par semaine. La durée de chaque séance était de 3 heures en moyennes.

Chaque séance se déroulait comme suit : révision du contenu de la séance précédente sous forme d'exercices de tracés ECG et l'apprentissage d'un nouveau module.

Nous finissons par résumer les points les plus importants de la séance et les exercices à faire chez soi pour la prochaine séance.

Des séances de révisions ont été programmées, à la demande des étudiants en fonction des besoins et des difficultés rencontrées.

Voir le planning de la formation (Annexe 4 et 5).



**Figure 108 : Le déroulement de la formation à l'utilisation de l'application via le code QR  
Centre de simulation Mostaganem Sessions 2023 et 2024**

### **Phase 4 : Évaluation 3 (finale ou post -test)**

Les étudiants ont fait l'objet d'une dernière évaluation post-formation de 21 minutes, avec 21 autres tracés ECG inédits, sans l'utilisation de l'application, avec réduction du temps à un tracé ECG par minute.

Après correction, chaque étudiant avait obtenu un score allant de 0 à 21 points.

### 3.4.5.2 Description du programme du groupe B

#### **Phase 1 : Apprentissage**

Nous avons adopté le même programme d'apprentissage que le groupe A pour le groupe B (voir phase 3 du groupe A).

Voir le planning de la formation (Annexe 4 et 5).

#### **Phase 2 : Évaluation 2 post- formation sans l'utilisation de l'application**

Les étudiants du groupe B ont fait l'objet d'une évaluation post-formation, sans l'utilisation de l'application. Sa durée était de 21 minutes, avec 21 autres tracés ECG identiques à ceux utilisés lors de l'évaluation 3 du groupe A, avec un tracé ECG par minute.

Après correction, chaque étudiant avait obtenu un score allant de 0 à 21 points.

#### **Phase 3 : Formation sur l'utilisation de l'application**

Les étudiants du groupe B ont bénéficié d'une formation à l'utilisation de l'application, avec l'installation de celle-ci sur leurs smartphones via un code QR.

#### **Phase 4 : Évaluation 3 avec l'application**

Elle a été réalisée grâce à 21 tracés ECG identiques à ceux utilisés lors de l'évaluation 2 du groupe A. La durée de l'évaluation était de 42 minutes à raison de 2 minutes par tracé ECG permettant à l'étudiant d'utiliser l'application lors de l'interprétation.

Après correction de l'évaluation 3, chaque étudiant avait obtenu un score allant de 0 à 21 points.

**Le schéma de l'ensemble de l'étude est représenté dans la figure 109.**

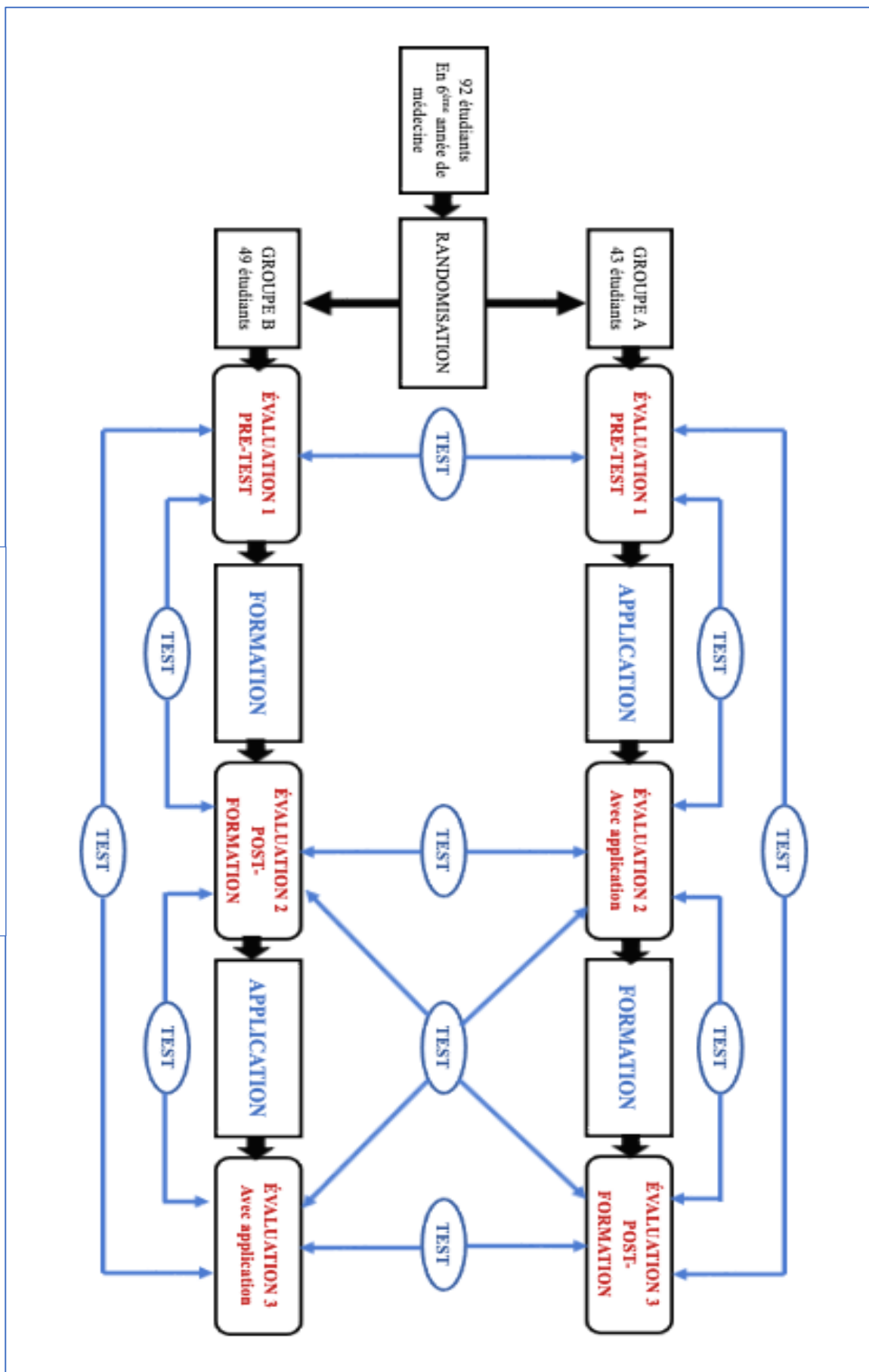


Figure 109 : Le schéma de l'étude

### 3.5 LES CRITERES DE JUGEMENT

Les critères de jugement étaient :

- ❖ La précision du diagnostic électrique grâce à l'utilisation de l'application par une amélioration significative du score d'évaluation.
- ❖ Le raccourcissement du temps nécessaire à l'interprétation de l'ECG avec l'utilisation de l'application.
- ❖ Amélioration des compétences d'interprétation des étudiants en utilisant le logiciel d'apprentissage.

### 3.6 ANALYSES STATISTIQUES

- Les données du sondage ont été extraites de Google Forms concernant les questionnaires des internes et nous avons récupéré les questionnaires remplis par les médecins généralistes.
  - Nous avons corrigé les trois évaluations des deux groupes A et B.
  - Nous avons calculé les fréquences pour les variables qualitatives.
  - Nous avons calculé les moyennes pour les variables quantitatives.
- ⇒ Le test du *Khi* -2 pour les variables qualitatives.
- ⇒ Le test de *t* de Student pour les variables quantitatives.
- ⇒ ANOVA mixte pour la comparaison multiple, avec des mesures répétées.
- ⇒ Le seuil de signification était fixé à 0.05 avec un risque Béta de 80 %.
- Le traitement des données a été effectué sur le logiciel IBM-SPSS version 26 [240].
  - Les analyses statistiques ont été réalisées avec l'accompagnement d'un méthodologiste biostatisticien.

## **PARTIE PRATIQUE : PROTOCOLE DE L'ÉTUDE**

### 3.7 RÉSULTATS

Dans cette partie, nous allons aborder les résultats de :

⇒ L'enquête réalisée auprès des internes et des médecins généralistes.

Nous avons colligé 175 réponses, 108 chez les internes et 67 chez les médecins généralistes.

⇒ L'étude randomisée (avec et sans l'utilisation de l'application dans l'interprétation de l'ECG et le logiciel d'apprentissage).

#### 3.7.1 RESULTATS DE L'ENQUÊTE AUPRÈS DES INTERNES

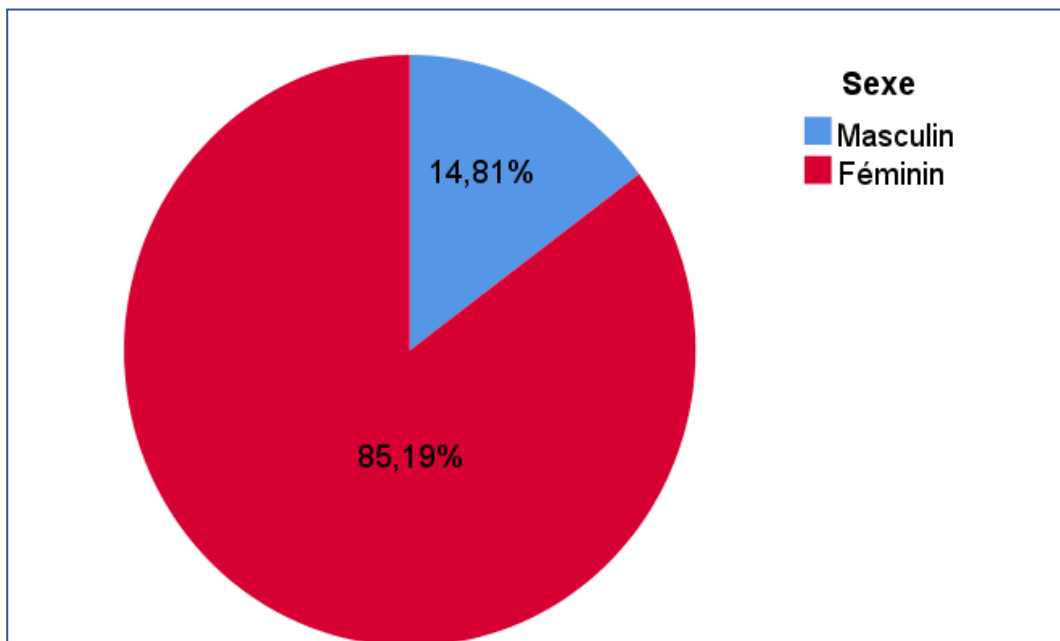
Nous avons obtenu 108 réponses sur le questionnaire mis en ligne en Mars 2023, sur Google Forms.

Le questionnaire comportait 10 questions (Annexe1).

##### 3.7.1.1 Répartition des internes selon le sexe

###### Question 1 : Êtes-vous un homme ou une femme ?

Notre population d'internes en médecine était majoritairement féminine avec un pourcentage de 85.19 % soit 92 femmes, contre 14.81 % pour le sexe masculin, soit 16 hommes (Figure 110).

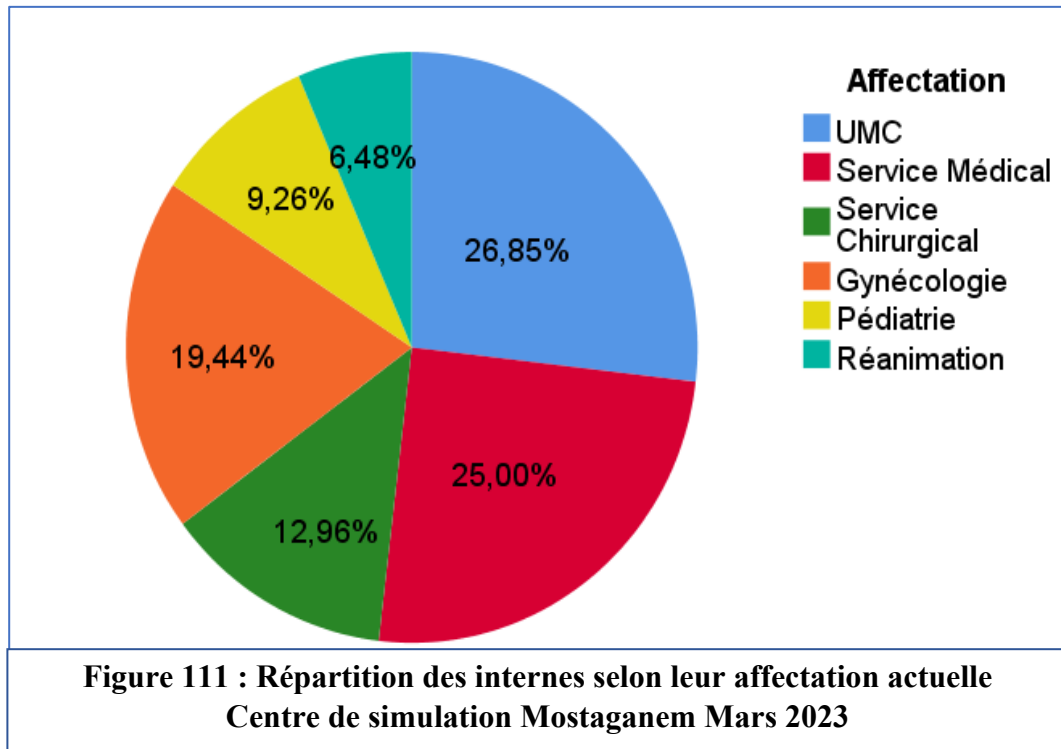


**Figure 110 : Répartition des internes selon le sexe  
Centre de simulation Mostaganem Mars 2023**

**3.7.1.2 Répartition des internes en fonction du lieu de leur affectation actuelle**

**Question 2 : Où êtes-vous affectés actuellement ?**

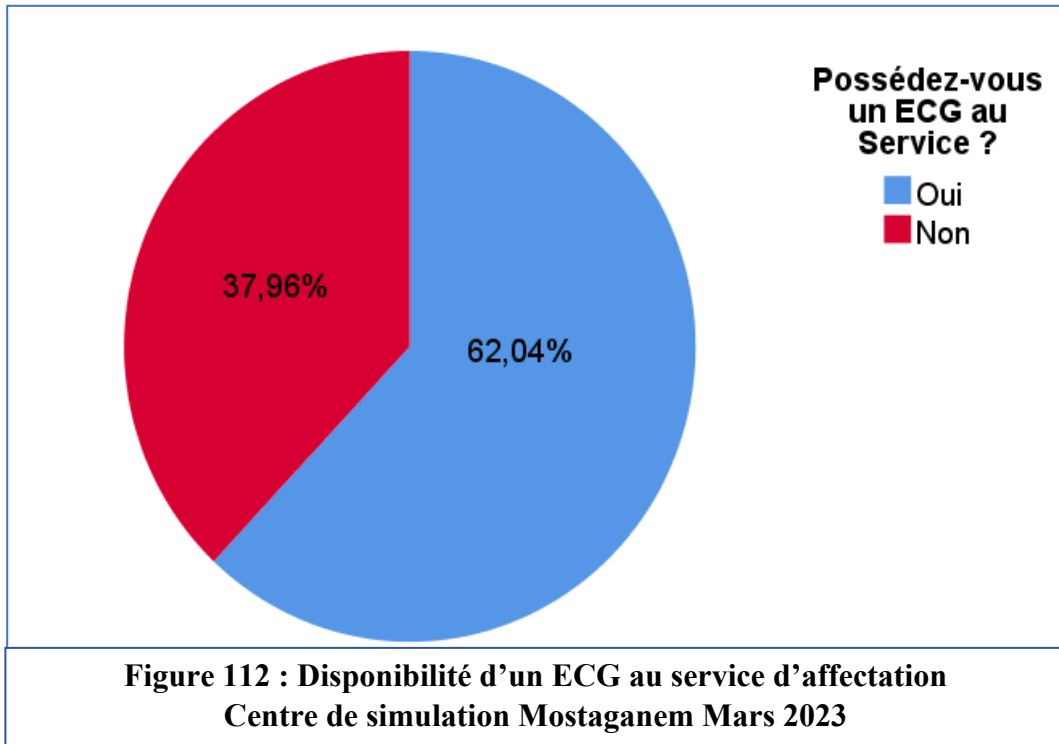
26.85 % (29 internes) étaient affectés aux UMC (urgences médico-chirurgicales, 25% (27 internes) dans un service médical, 19.44 % (21 internes) en gynécologie, 12.96 % (14 internes) en chirurgie, 9.26 % (10 internes) en pédiatrie et 6.48% (7 internes) en réanimation (Figure 111).



**3.7.1.3 Disponibilité d'un électrocardiogramme dans le service d'affectation actuelle**

**Question 3 : Possédez-vous un électrocardiogramme dans le service ?**

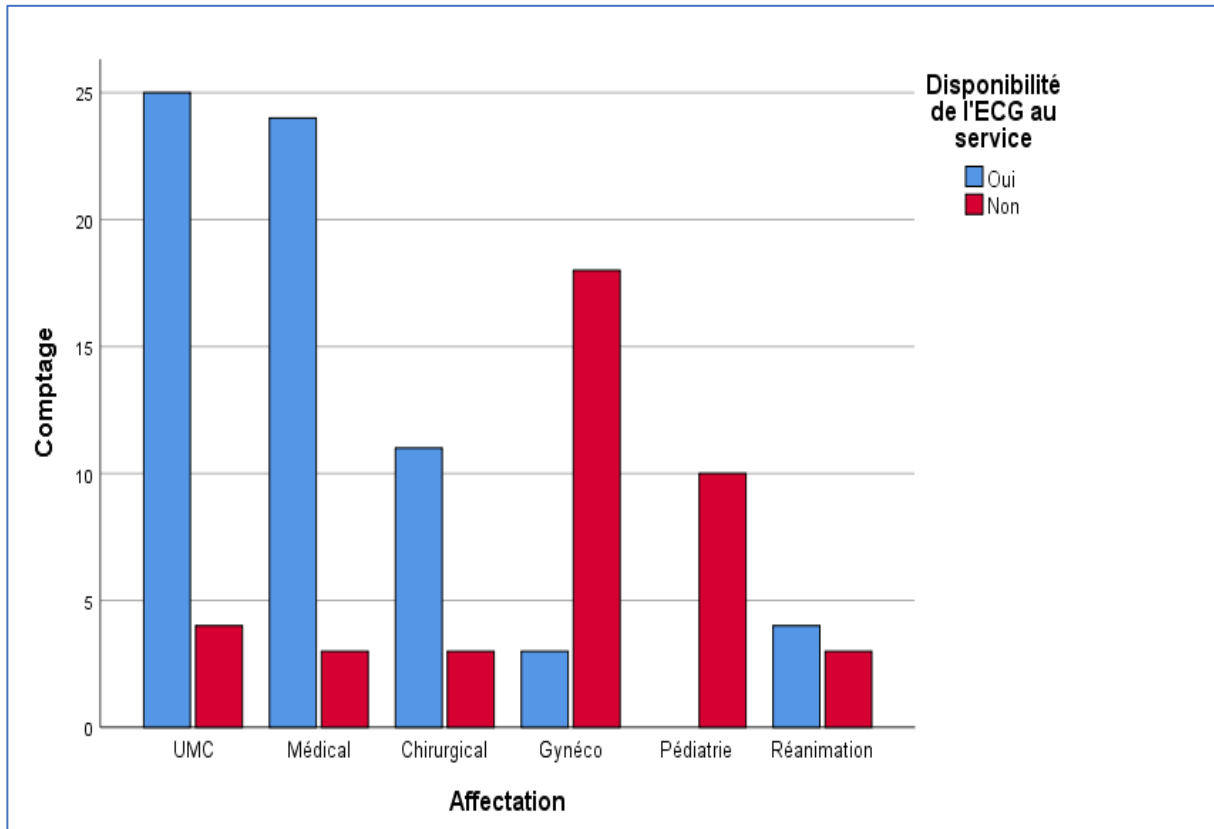
62.04 % des internes (67 internes) avaient un électrocardiogramme dans leur service d'affectation (Figure 112).



▪ ***Influence du lieu d'affectation des internes sur le taux de disponibilité de l'électrocardiographe***

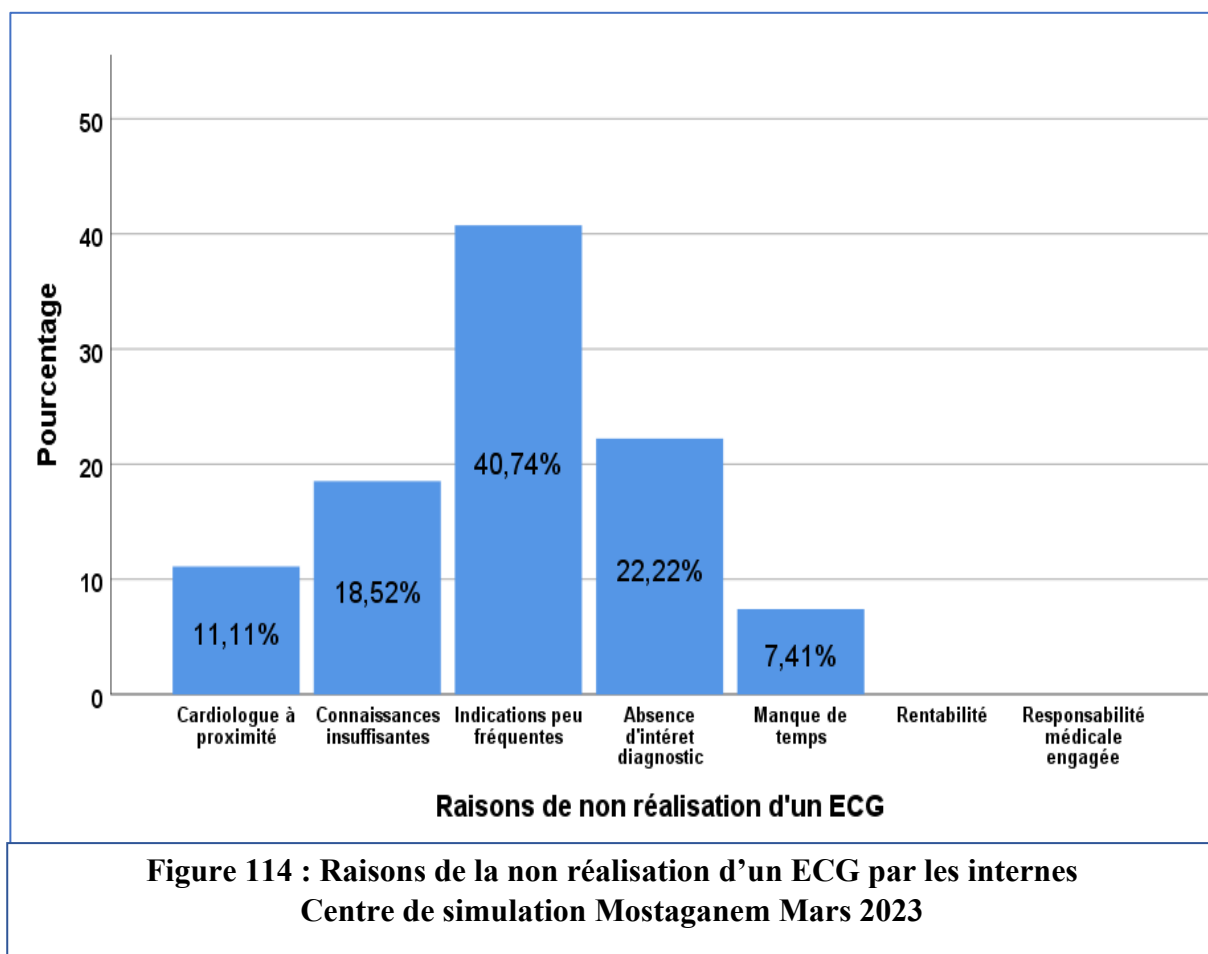
*Les internes affectés aux UMC avaient le taux de disponibilité de l'électrocardiographe le plus élevé, suivis par les services médicaux, les services chirurgicaux et la réanimation. Le service de gynécologie avait le taux de disponibilité le plus faible, en revanche le service de pédiatrie ne disposait pas d'un électrocardiographe (Figure 113).*

*Le lieu d'affectation a statistiquement influencé de façon significative la disponibilité d'un électrocardiographe « selon la prestation du service ». (Khi-carré de Pearson : rapport de vraisemblance = 59.959 ; ddl = 5 ;  $p < 0.001$ ).*



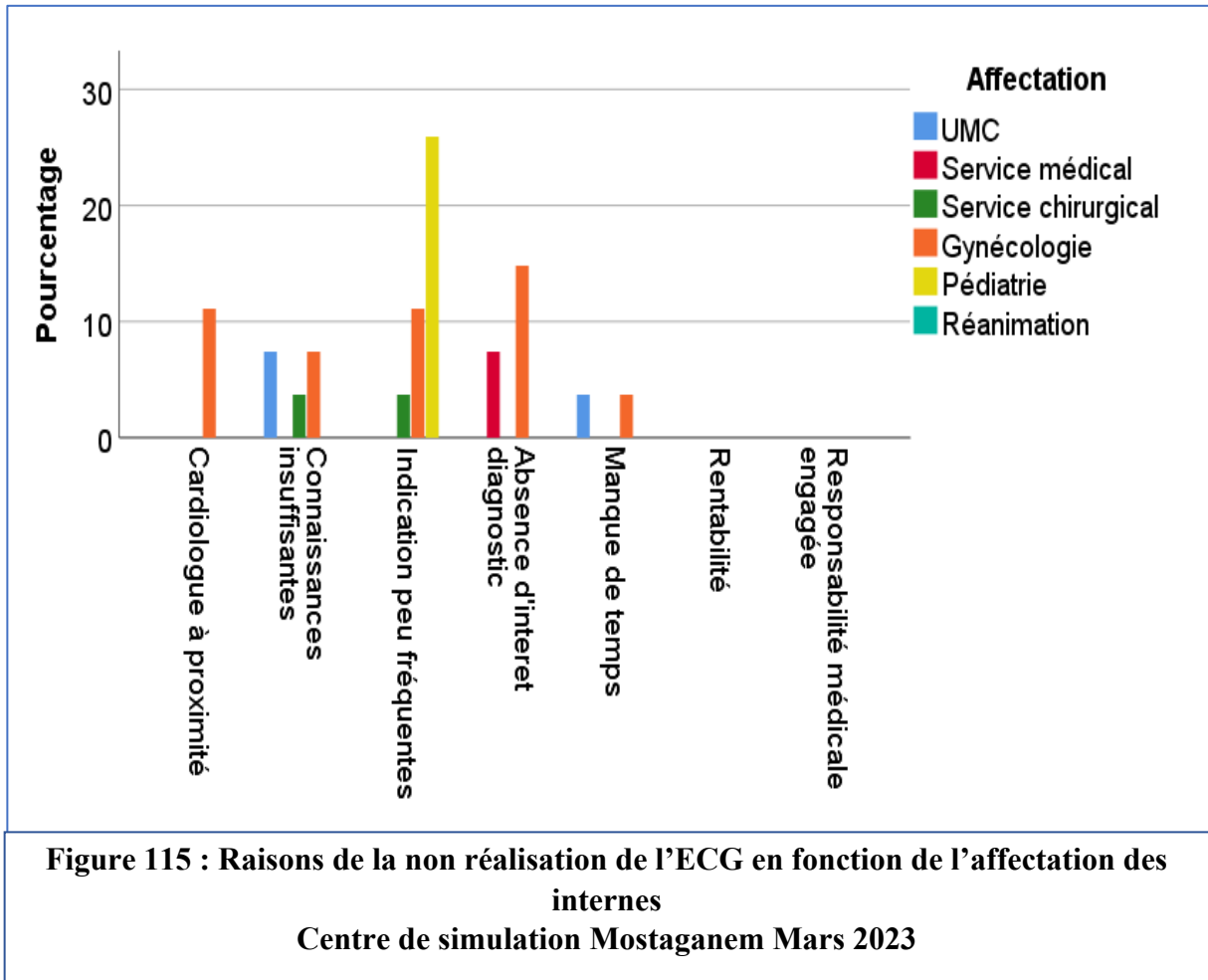
**Figure 113 : Taux de disponibilité de l'ECG en fonction de l'affectation des internes  
Centre de simulation Mostaganem Mars 2023**

- **Raisons de la non réalisation de l'ECG** (Figure 114)
  - 40.74 % ont déclaré qu'il n'y avait pas d'indication à la réalisation de cet examen.
  - 22.22 % ont déclaré que l'examen n'avait aucun intérêt diagnostique.
  - 18.52 % ont déclaré avoir des connaissances théoriques insuffisantes pour l'interprétation.
  - 11.11 % avaient un cardiologue ou un hôpital à proximité.
  - Et 7.41 % n'avaient pas le temps pour le faire.
  - La rentabilité de l'ECG et la responsabilité médicale engagée n'ont pas été évoquées par les internes (0 %).



- **Raisons de la non réalisation d'un ECG en fonction de l'affectation** (Figure 115).
  - *En gynécologie : la principale raison était l'absence d'intérêt diagnostique, suivie par les indications peu fréquentes et l'existence d'un cardiologue ou d'un hôpital à proximité, ensuite les connaissances théoriques insuffisantes et en dernier le manque de temps.*
  - *En pédiatrie : la seule raison évoquée était les indications peu fréquentes.*
  - *Aux UMC : les deux principales raisons étaient les connaissances théoriques insuffisantes et le manque de temps.*
  - *Dans les services médicaux l'absence d'intérêt diagnostique représentait la seule cause de la non réalisation de l'ECG.*
  - *En chirurgie et en réanimation : les deux causes de la non réalisation étaient l'insuffisance des connaissances théoriques et les indications peu fréquentes.*

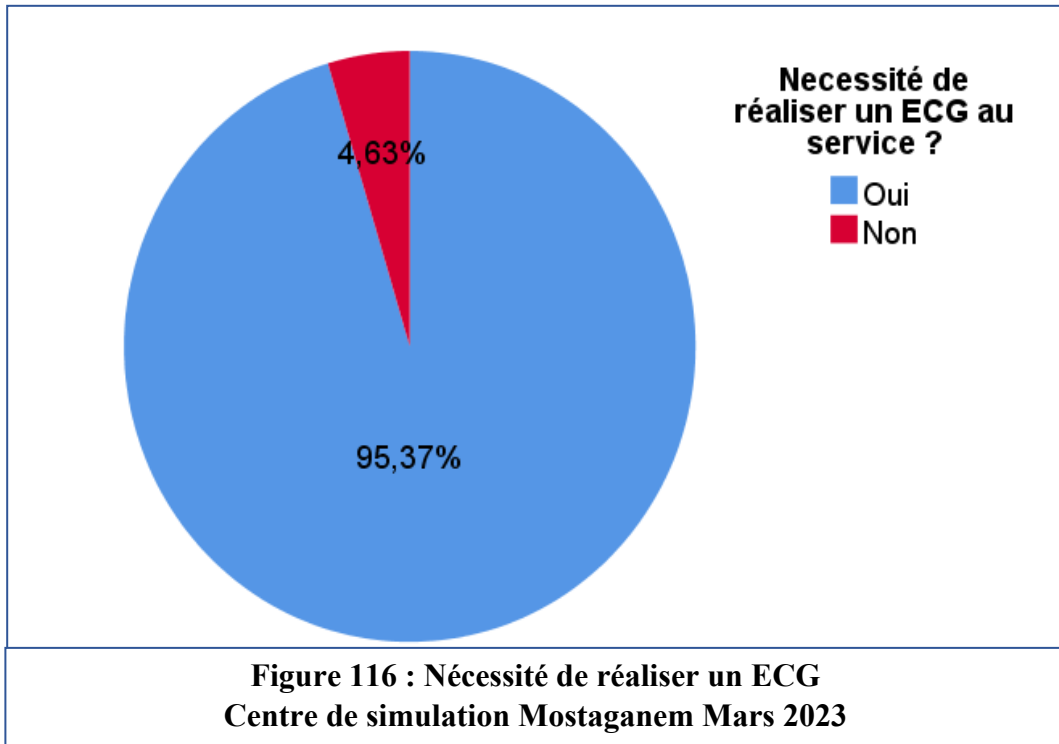
*Le lieu d'affectation avait une influence statistiquement significative sur les raisons de la non réalisation de l'ECG ; Khi-carré de Pearson (rapport de vraisemblance = 41.857 ; ddl = 20 ; p = 0.003).*



#### 3.7.1.4 Nécessité de réaliser et d'interpréter des ECG

**Question 4 : Pensez-vous que l'interne est en mesure de réaliser et d'interpréter des ECG?**

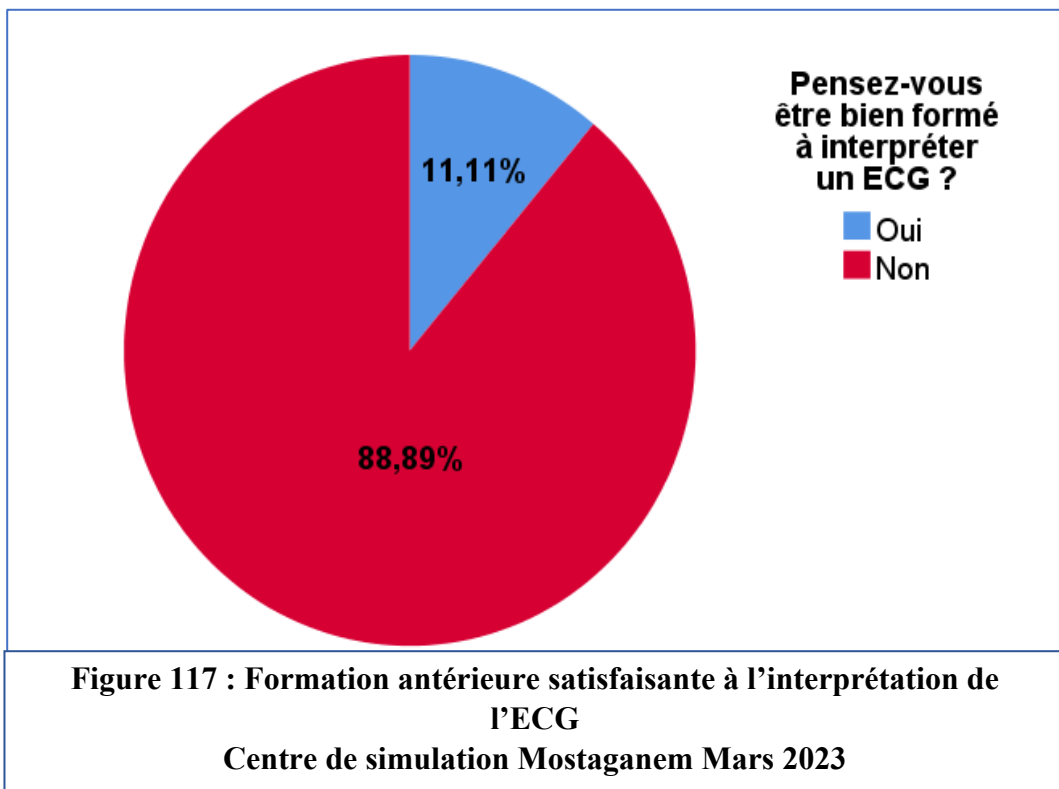
95.37 % soit 103 internes ont jugé nécessaire de réaliser des ECG au sein de leurs services (Figure 116).



### 3.7.1.5 Formation initiale suffisante pendant les études

**Question 5 : Pensez-vous être suffisamment formé à la lecture de L'ECG ?**

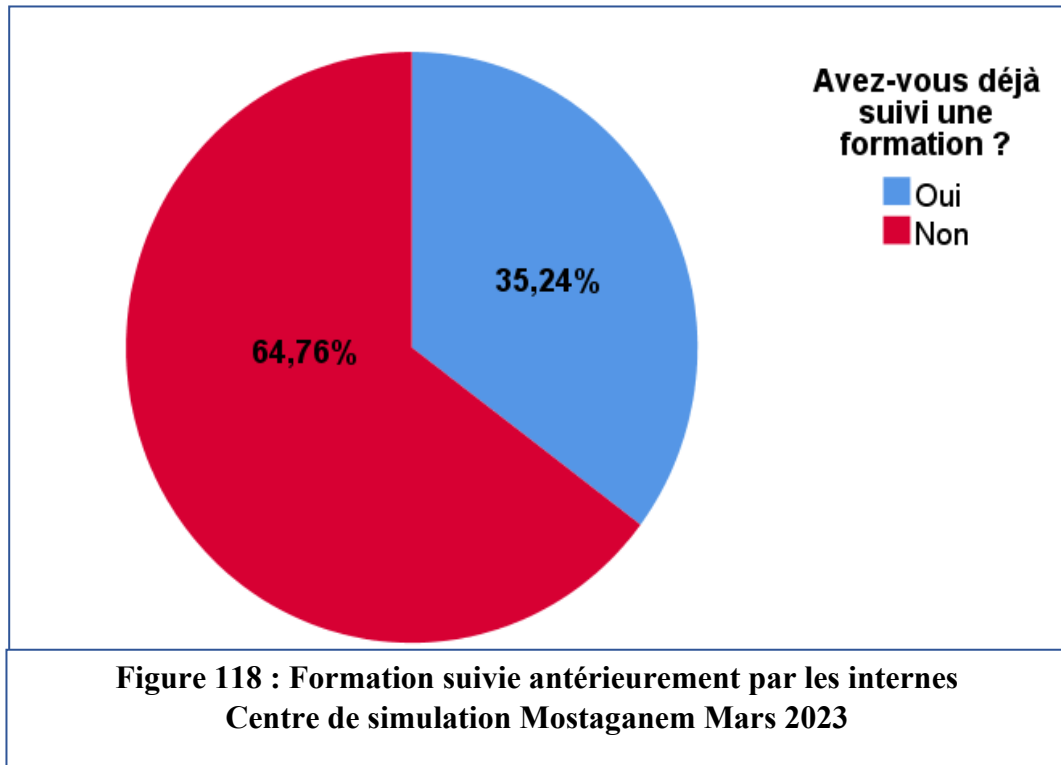
*La majorité des internes (88.89 % soit 96) ont affirmé qu'ils étaient insuffisamment formés à la lecture de l'ECG. (Figure 117).*



### 3.7.1.6 Formation antérieure suivie

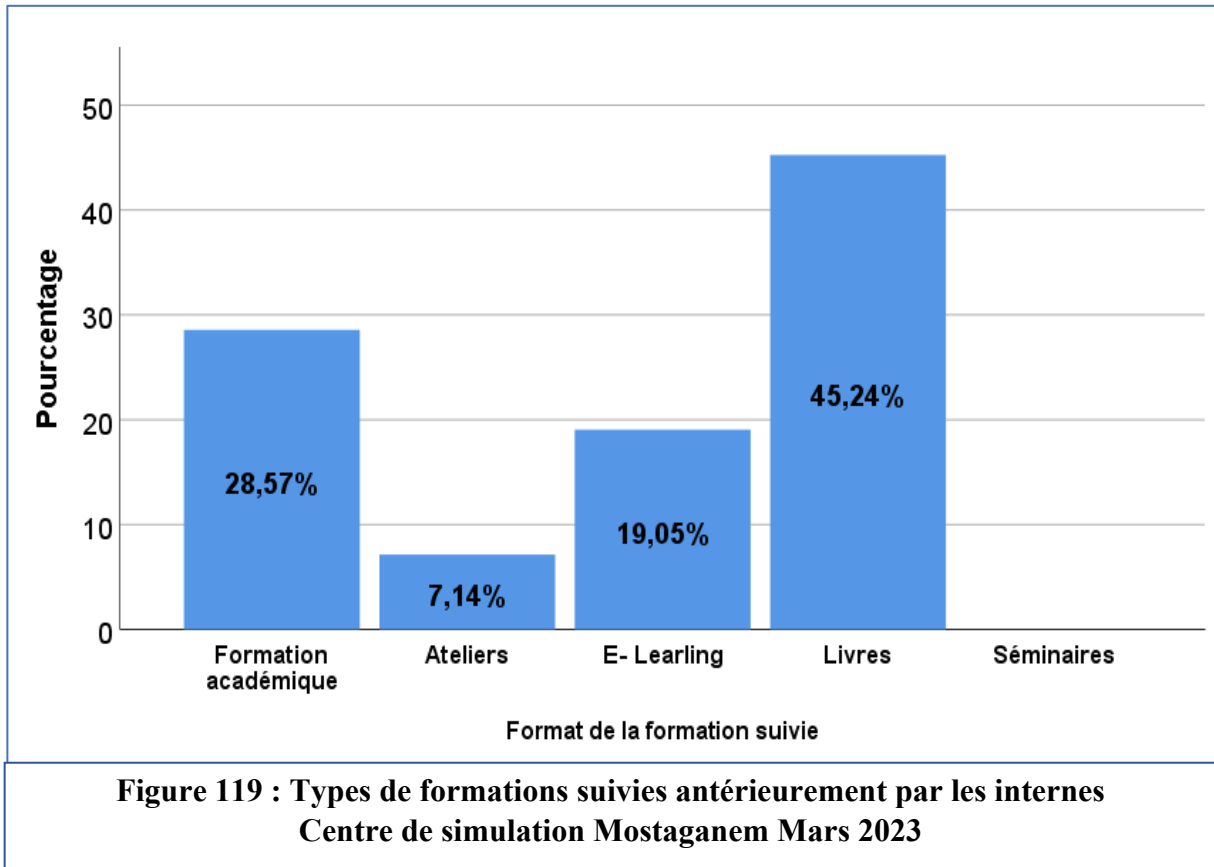
#### Question 6 : Avez-vous déjà suivi une formation à l'interprétation de l'ECG ?

64.76 % (70 internes) n'ont jamais suivi de formation à l'interprétation de l'ECG en dehors de L'enseignement prodigué pendant leur cursus, alors que 35.24 % (38 internes) ont déjà suivi une formation. (Figure 118)



#### ▪ Pour les types de formations suivies

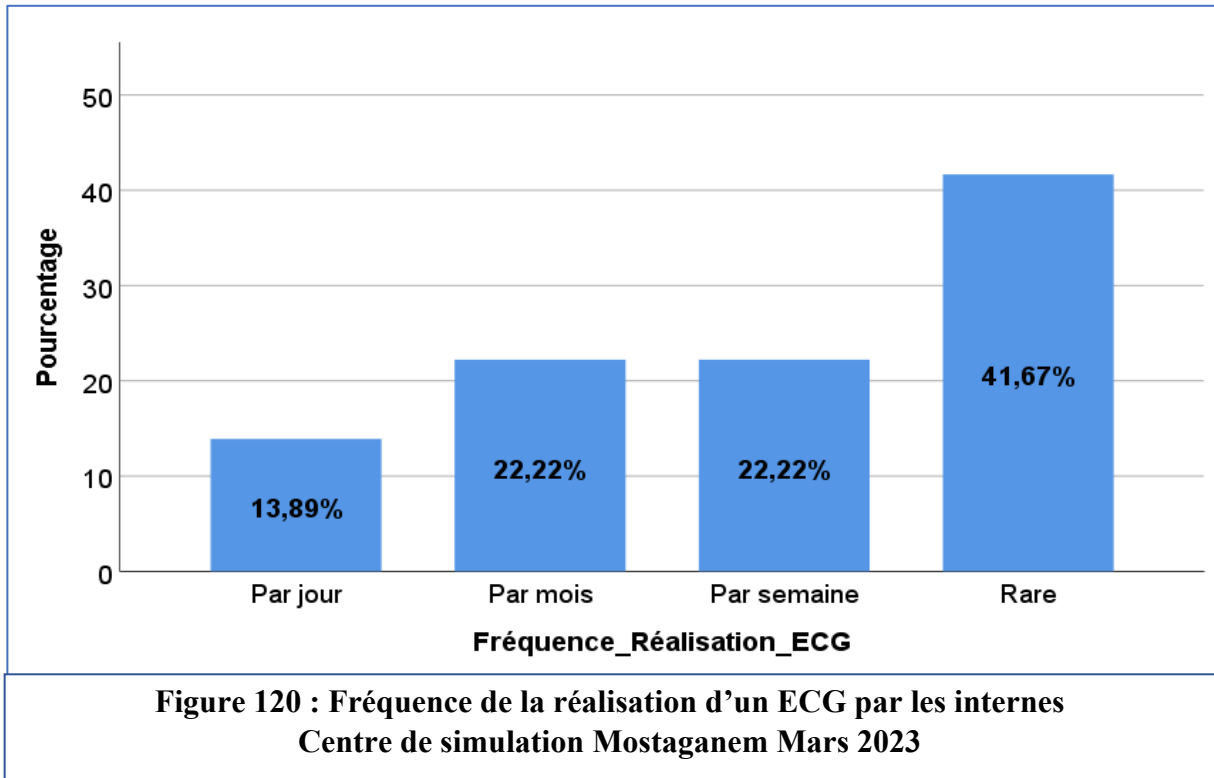
Les internes ont utilisé les livres comme moyen d'auto-formation dans 45.24 % des cas, suivi par les formations académiques dans 28.57 % des cas, les formations sur internet (E-learning) et les ateliers ne représentaient respectivement que 19.05 % et 7.14 % (Figure 119).



### 3.7.1.7 Fréquence de réalisation des ECG

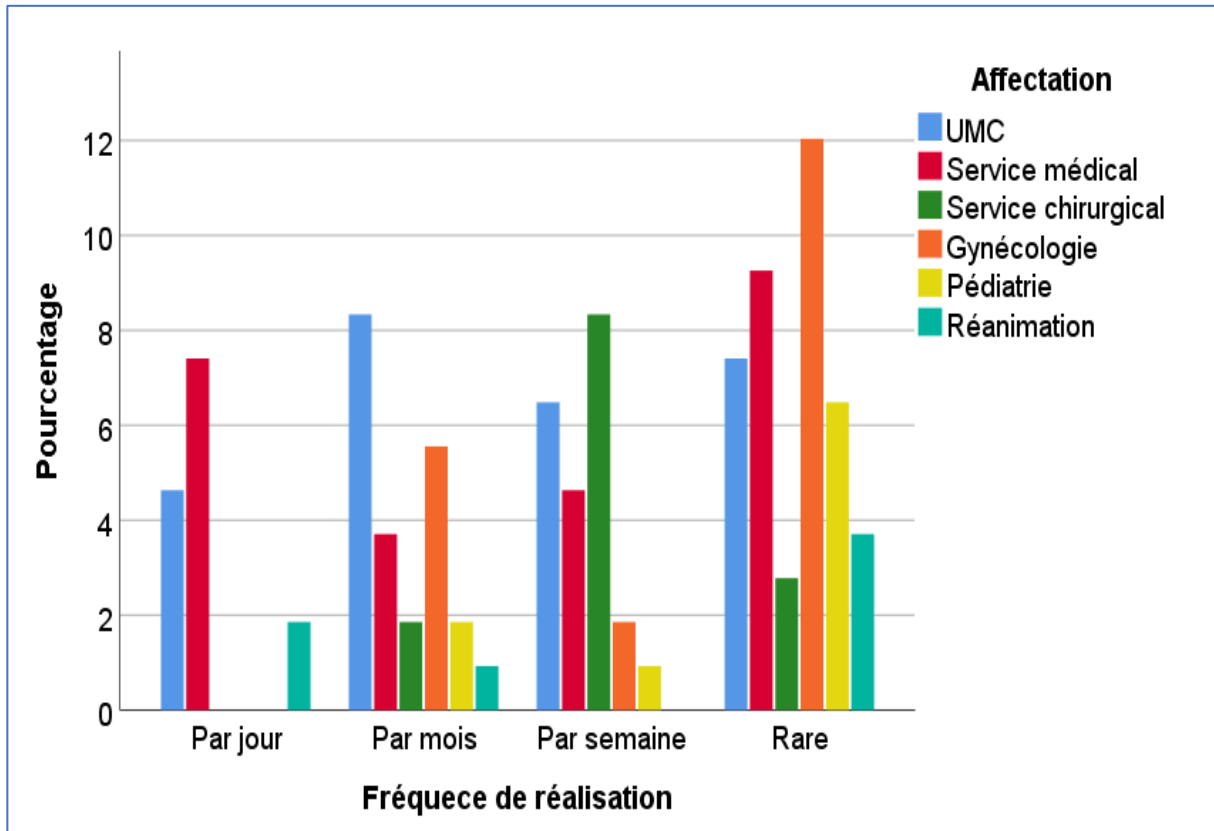
#### Question 7 : A quelle fréquence réalisez-vous des ECG ?

45 internes soit 41.67 % des internes interrogés réalisaient rarement un ECG, 24 internes (22.22 %) moins d'une fois par mois voir jamais, 24 internes (22.22 %) une fois par semaine ou par mois et 15 internes (13.89 %) quotidiennement (Figure 120).



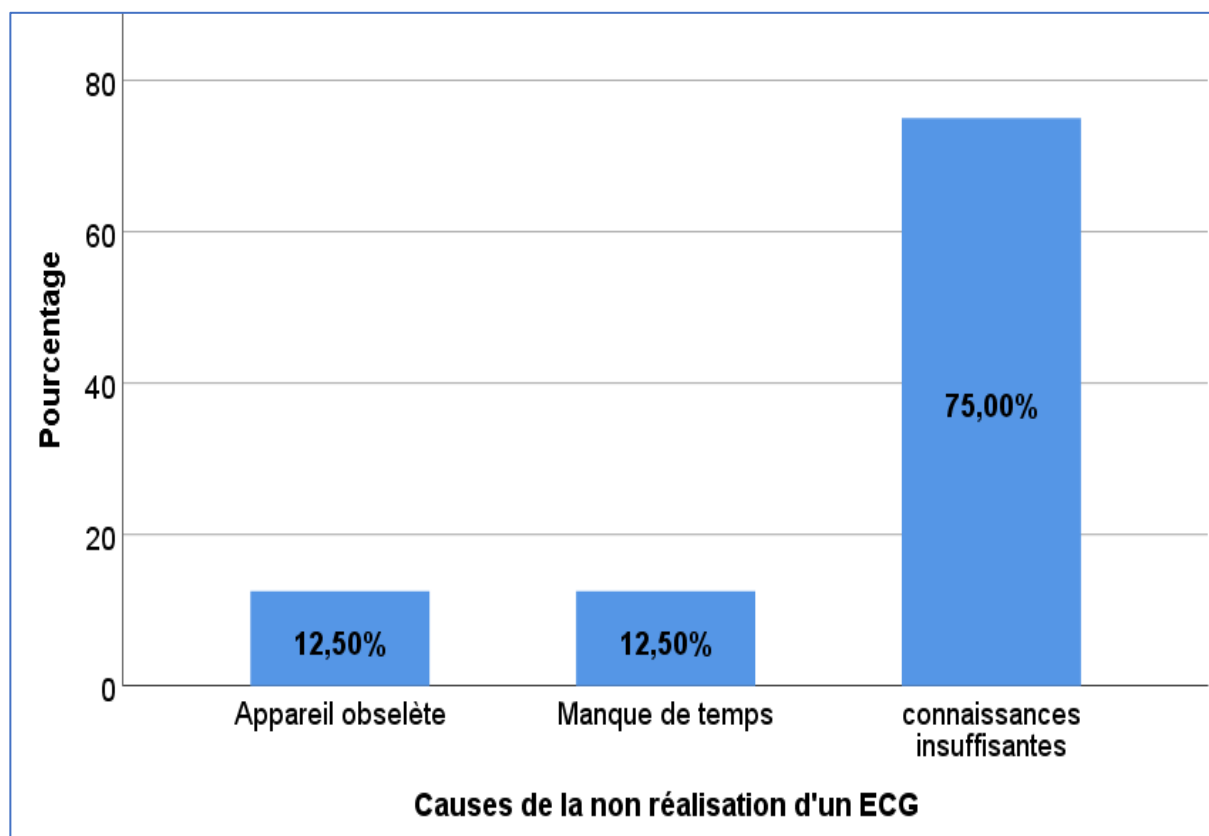
- **Influence du lieu d'affectation sur la fréquence de réalisation de l'ECG (Figure 121)**
  - L'ECG était pratiqué de façon quotidienne dans 3 services qui sont par ordre décroissant : les services médicaux, les UMC et la réanimation.
  - Une fois par semaine en moyenne représentait la fréquence de réalisation de l'ECG en chirurgie principalement, aux UMC et les services médicaux.
  - L'ECG était fait mensuellement aux UMC, en gynécologie et en pédiatrie.
  - L'ECG était pratiqué rarement moins d'une fois par mois principalement en gynécologie et les services médicaux ensuite aux UMC et en pédiatrie, la réanimation vient en cinquième position et les services chirurgicaux en dernier.

Le lieu d'affectation avait une influence statistiquement significative sur la fréquence de réalisation de l'ECG, Khi-carré de Pearson (rapport de vraisemblance = 49.755 ; ddl = 20 ;  $p < 0.001$ ).



**Figure 121 : Fréquence de la réalisation de l'ECG par les internes en fonction de l'affectation**  
**Centre de simulation Mostaganem Mars 2023**

- *La principale raison de la non réalisation d'un ECG donnée par 75 % des internes interrogés était le manque de connaissances théoriques quant à l'indication et l'apport de cet examen, suivie dans 12.5 % des cas par le manque de temps et l'appareil obsolète. (Figure 122).*

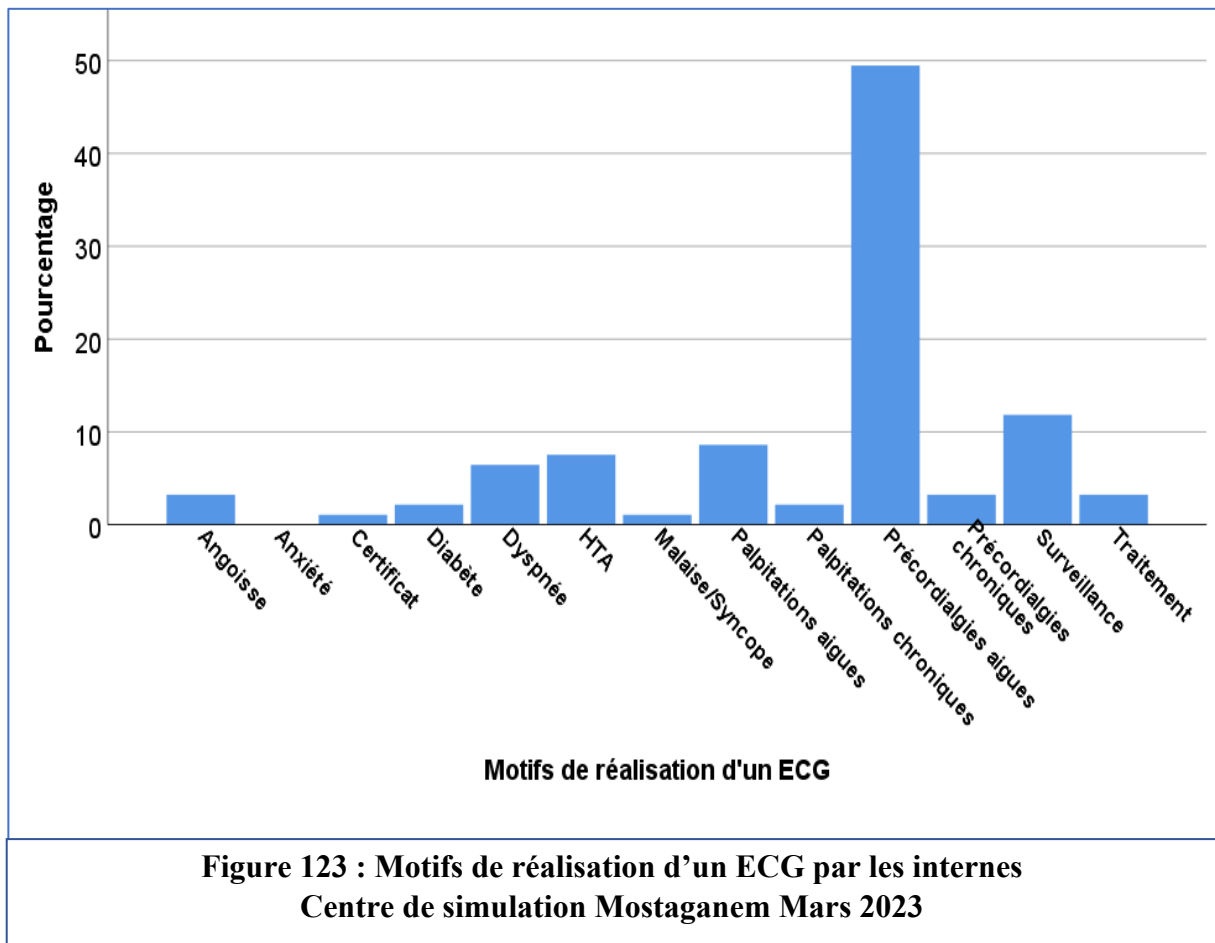


**Figure 122 : Causes de la non réalisation d'un ECG par les internes  
Centre de simulation Mostaganem Mars 2023**

### 3.7.1.8 Indications à la réalisation d'un ECG

#### **Question 8 : Dans quelles circonstances réalisez-vous des ECG ?**

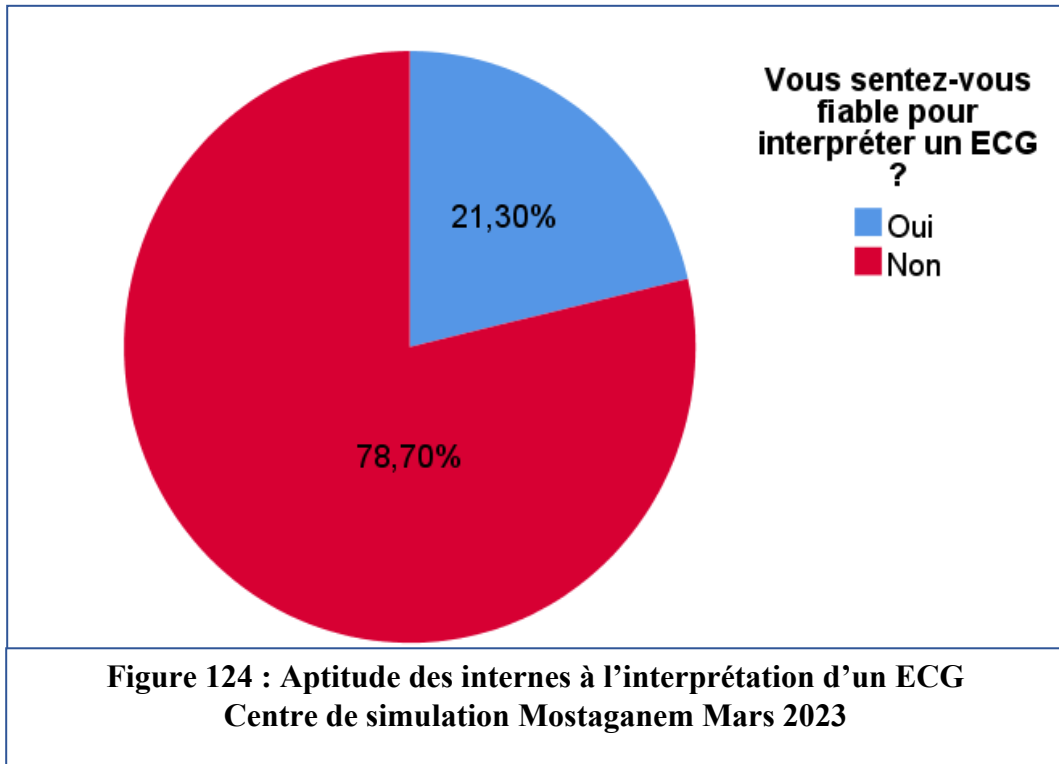
*La principale indication dans 50 % des cas était des précordialgies aiguës, les autres indications représentaient moins de 10 % des cas chacune, l'anxiété ne représentait pas un motif de réalisation d'un ECG (Figure 123).*



### 3.7.1.9 Aptitude à l'interprétation d'un ECG

#### Question 9 : Vous sentez-vous fiables pour les interpréter ?

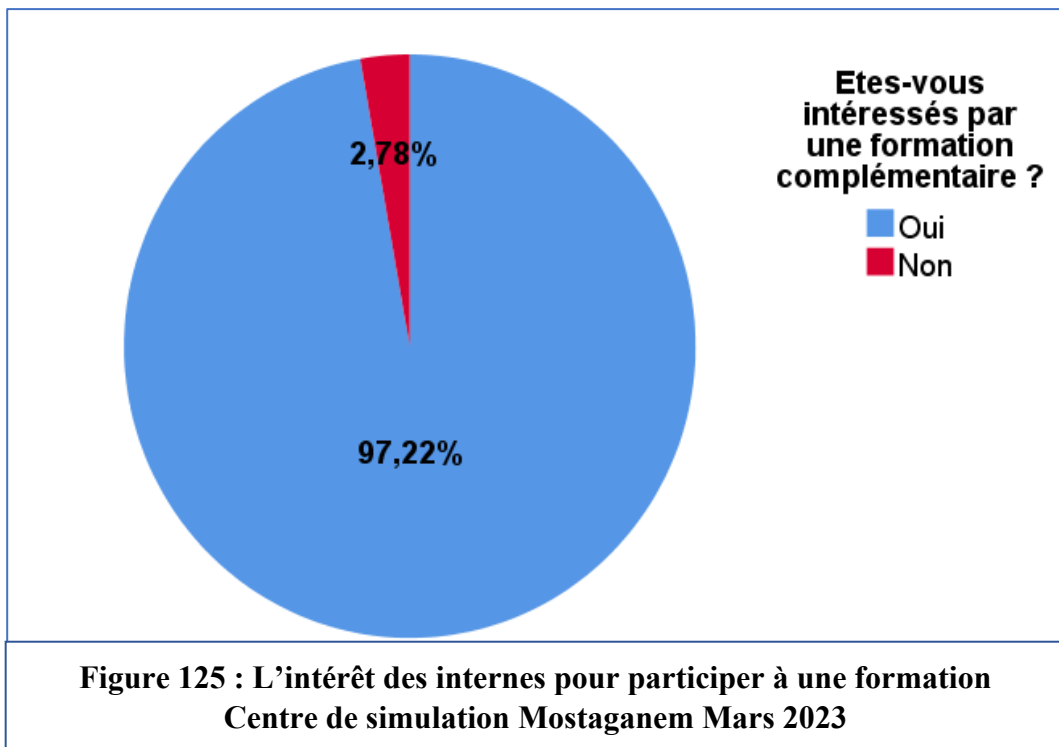
78.70 % des internes interrogés soit 85 internes ne se sentaient pas aptes à interpréter un ECG, contre 21.30 % soit 23 internes (Figure 124).



### 3.7.1.10 Intérêt des internes pour une formation complémentaire

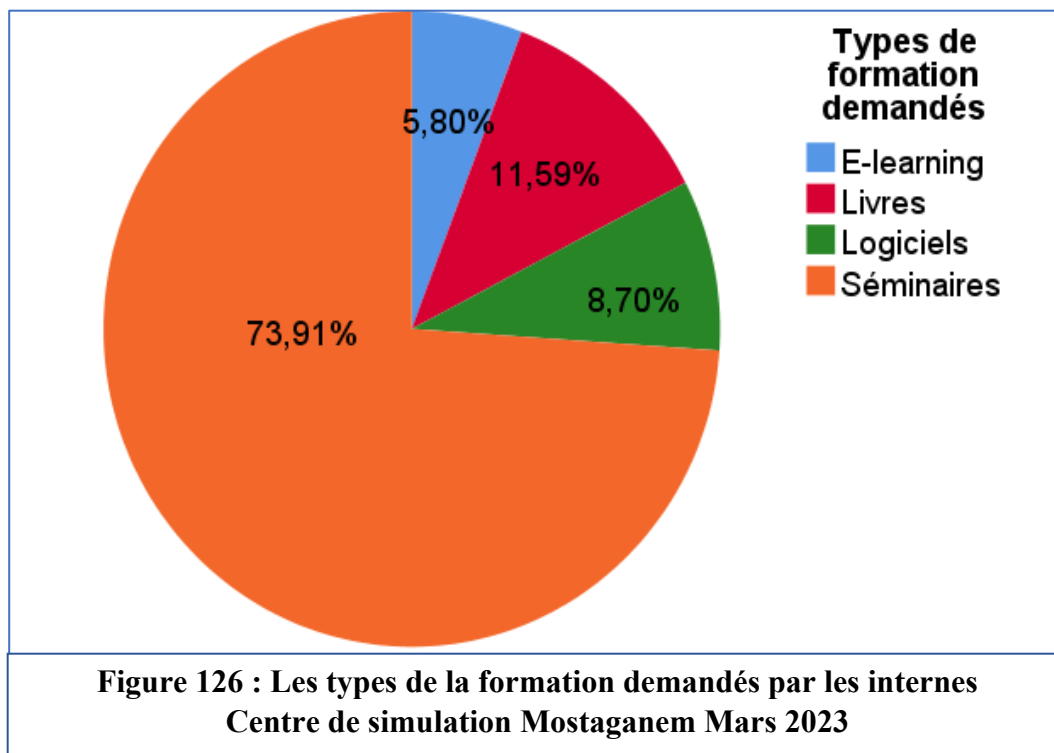
**Question 10 : Seriez-vous intéressé par une formation complémentaire à la lecture de l'ECG ?**

*Une majorité de 97.22 % des internes soit 105 internes ont souhaité participer à une formation sur l'interprétation de l'ECG, contre une minorité de 2.78 % soit 3 internes (Figure 125).*



▪ **Quant aux types de la formation demandés**

Dans 73.91 % des cas, les séminaires étaient le format de formation le plus demandé par les internes, suivis par les livres à 11.59 %, les logiciels à 8.70 % et le E-learning à 5.80 % (Figure 126).



### 3.7.2 RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE AUPRÈS DES MÉDECINS GÉNÉRALISTES

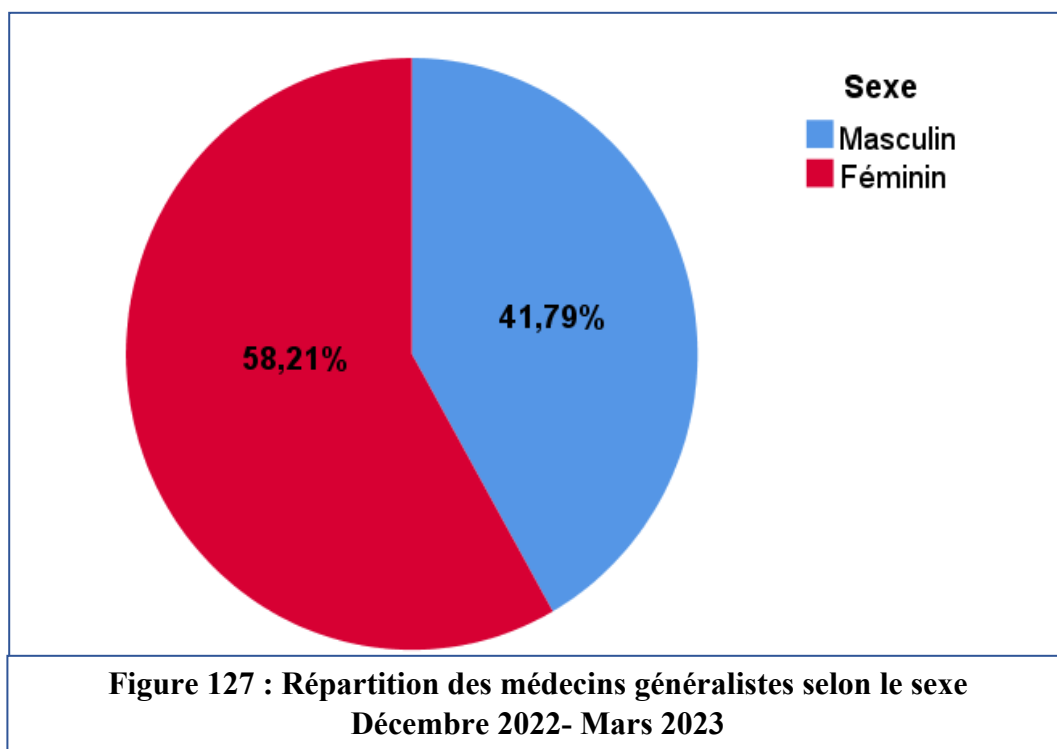
Nous avons obtenu 67 réponses suite à un sondage national par le biais de la SAMG (la Société Algérienne de Médecine Générale), le questionnaire sous format papier a été remis au cours des congrès, journées, rencontres, ... de Décembre 2022 - Mars 2023.

Ce dernier comptait 11 questions presque identiques par rapport au questionnaire destiné aux internes hormis une question additionnelle s'intéressant à l'âge du praticien et une précision sur la wilaya d'exercice (Annexe 2).

#### 3.7.2.1 Répartition des médecins généralistes selon le sexe

##### Question 1 : Êtes- vous un homme ou une femme ?

Notre population de médecins généralistes était composée de 39 femmes (58.21 %) et de 28 hommes (41.79 %) (Figure 127).



### 3.7.2.2 Répartition des médecins généralistes selon l'âge

#### Question 2 : Quel âge avez-vous ?

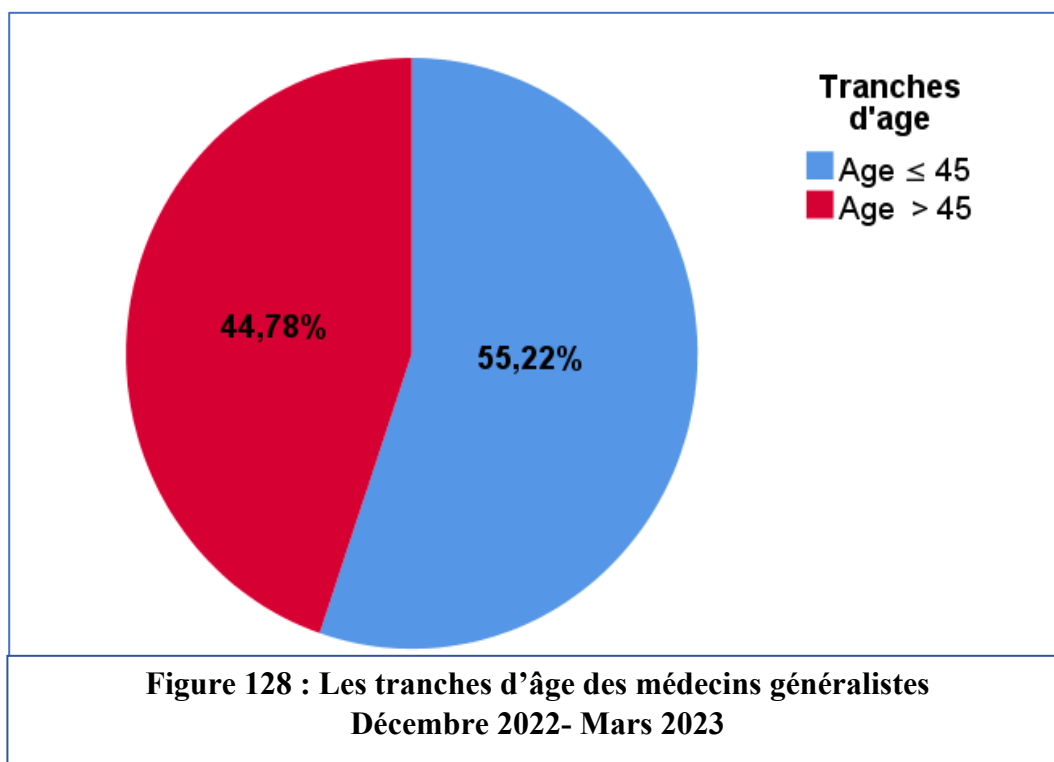
- L'âge moyen des 67 médecins généralistes est de 44 ans  $\pm$  10.78 ans. (Tableau I)
- L'âge minimal est de 26 ans.
- L'âge maximal est de 72 ans.

**Tableau I : La répartition selon l'âge des médecins généralistes**

Moyenne	Médiane	Écart type	Minimum	Maximum	Total
45.87	44.00	10.779	26	72	67

Notre population de médecins généralistes avait des extrêmes d'âge allant de 26 à 72 ans. Pour une analyse plus fine et afin d'objectiver des différences intergénérationnelles, nous avons divisé cette population en deux tranches d'âge :

*Les moins de 45 ans et les plus de 45 ans, qui représentaient respectivement 55.22 % (37 médecins) et 44.78 % (30 médecins) de l'ensemble des médecins généralistes (Figure 128).*



### 3.7.2.3 Répartition des médecins généralistes selon leur lieu d'exercice

#### Question 3 : Où exercez-vous ?

Les trois lieux d'exercice les plus retrouvés sont par ordre de fréquence décroissant: secteur privé avec 32.84 % des cas (22 médecins), EPSP (Établissement Public de Santé de Proximité) avec 22.39 % (15 médecins), et l'EPH (Établissement Public Hospitalier) avec 17.91 % (12 médecins) ; les autres lieux sont représentés par les CHU (Centre Hospitalo-Universitaire) 10.45 % (7 médecins), les UMC (Urgences Médico-Chirurgicales) 8.96 % (5 médecins), la DOU (Direction des Œuvres Universitaires) 2.99 % (2 médecins), et CMS (Centre Médico-Social, CNAS (Caisse Nationale des Assurances Sociales) et retraité 1.49 % chacun (1 médecin) (Tableau II).

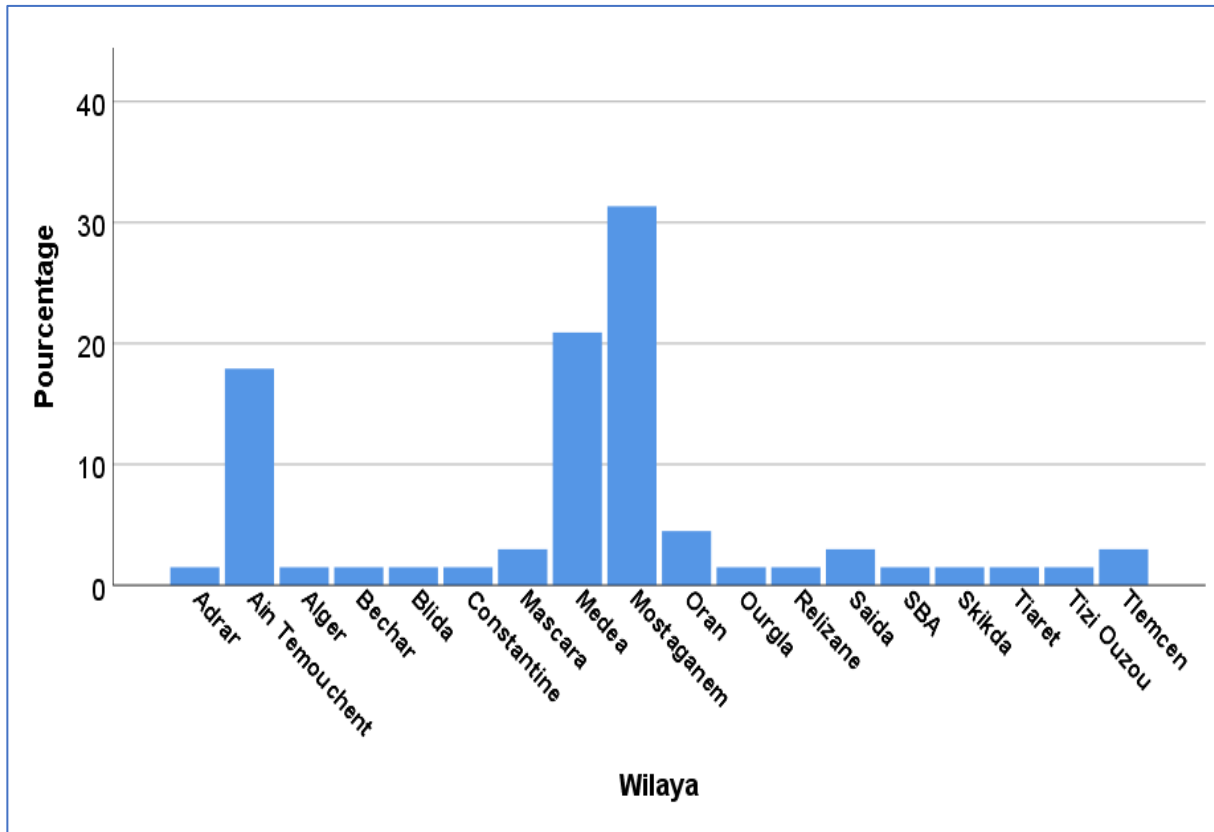
**Tableau II : Les lieux d'exercice des médecins généralistes**

	LIEU D'EXERCICE								
	Cabinet	EPSP	EPH	CHU	UMC	DOU	CMS	CNAS	Retraité
<b>Nombre (n)</b>	22	15	12	7	5	2	1	1	1
<b>Pourcentage (%)</b>	32.84	22.39	17.91	10.45	8.96	2.99	1.49	1.49	1.49

▪ **Les wilayas où exercent les médecins généralistes**

18 wilayas sur 58 étaient représentées au cours de cette enquête.

Les trois wilayas qui étaient les plus représentées sont Mostaganem suivie par la wilaya de Médéa et Ain Témouchent en troisième position (Figure 129).

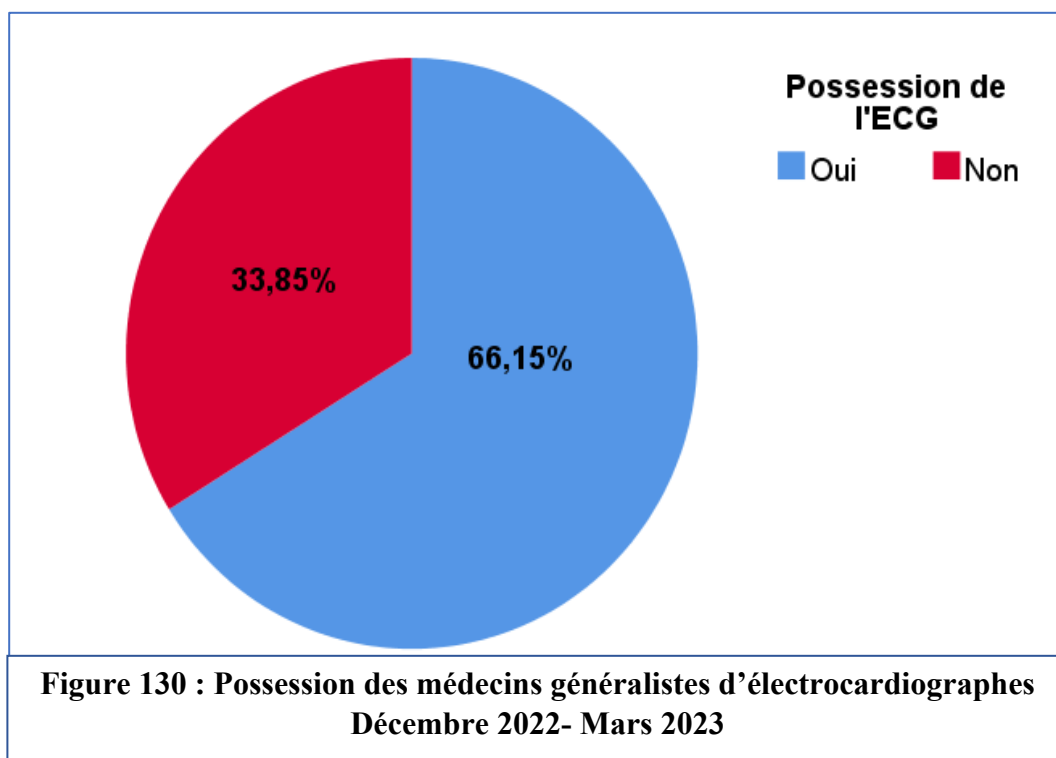


**Figure 129 : Les wilayas où exercent les médecins généralistes interrogés  
Décembre 2022- Mars 2023**

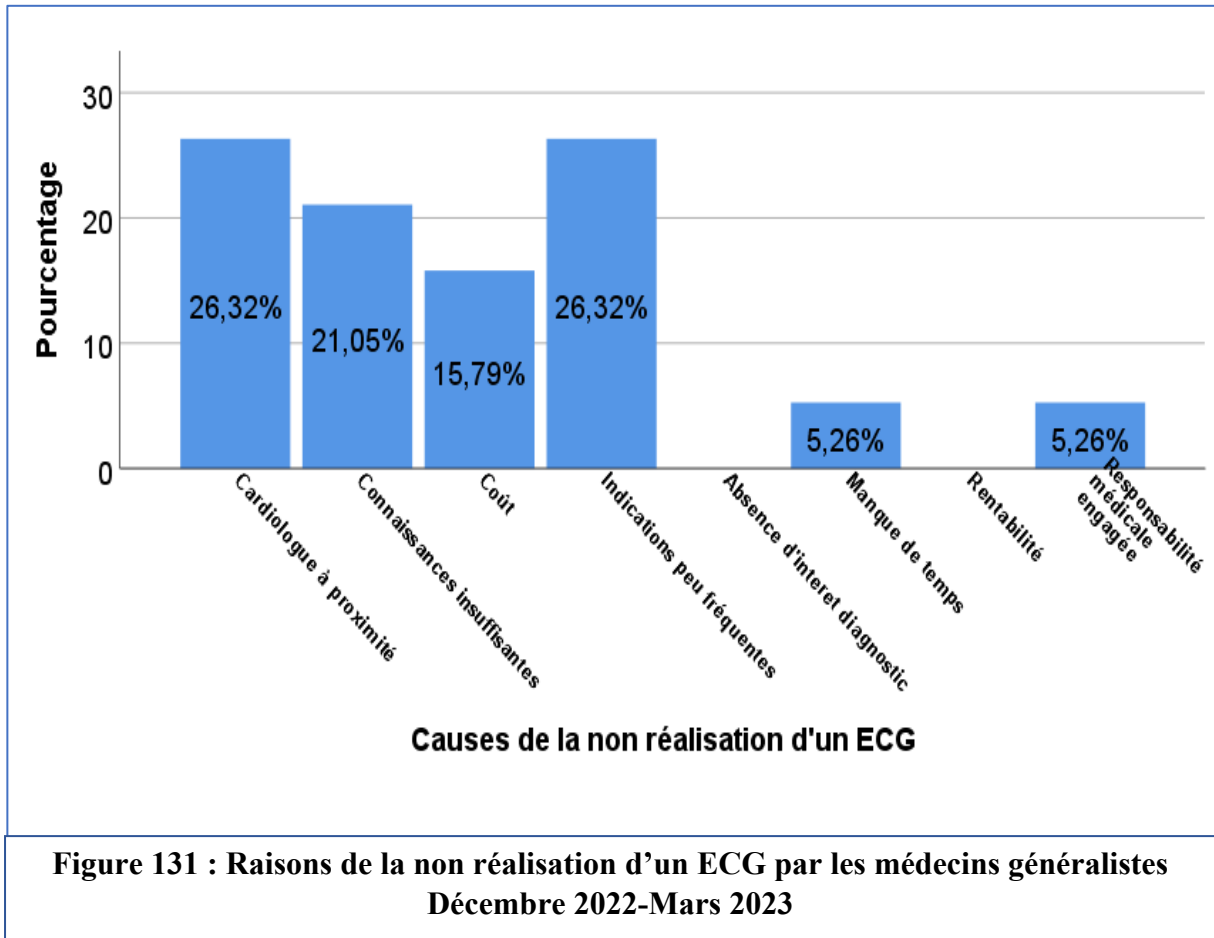
**3.7.2.4 Possession d'électrocardiographes par les médecins généralistes**

**Question 4 : Possédez-vous un électrocardiographe ?**

Les 2/3 de notre population soit 44 médecins généralistes (66.15 %) possédaient un électrocardiographe, alors que 23 médecins généralistes (33.85 %) n'avaient pas d'appareil ECG (Figure 130).

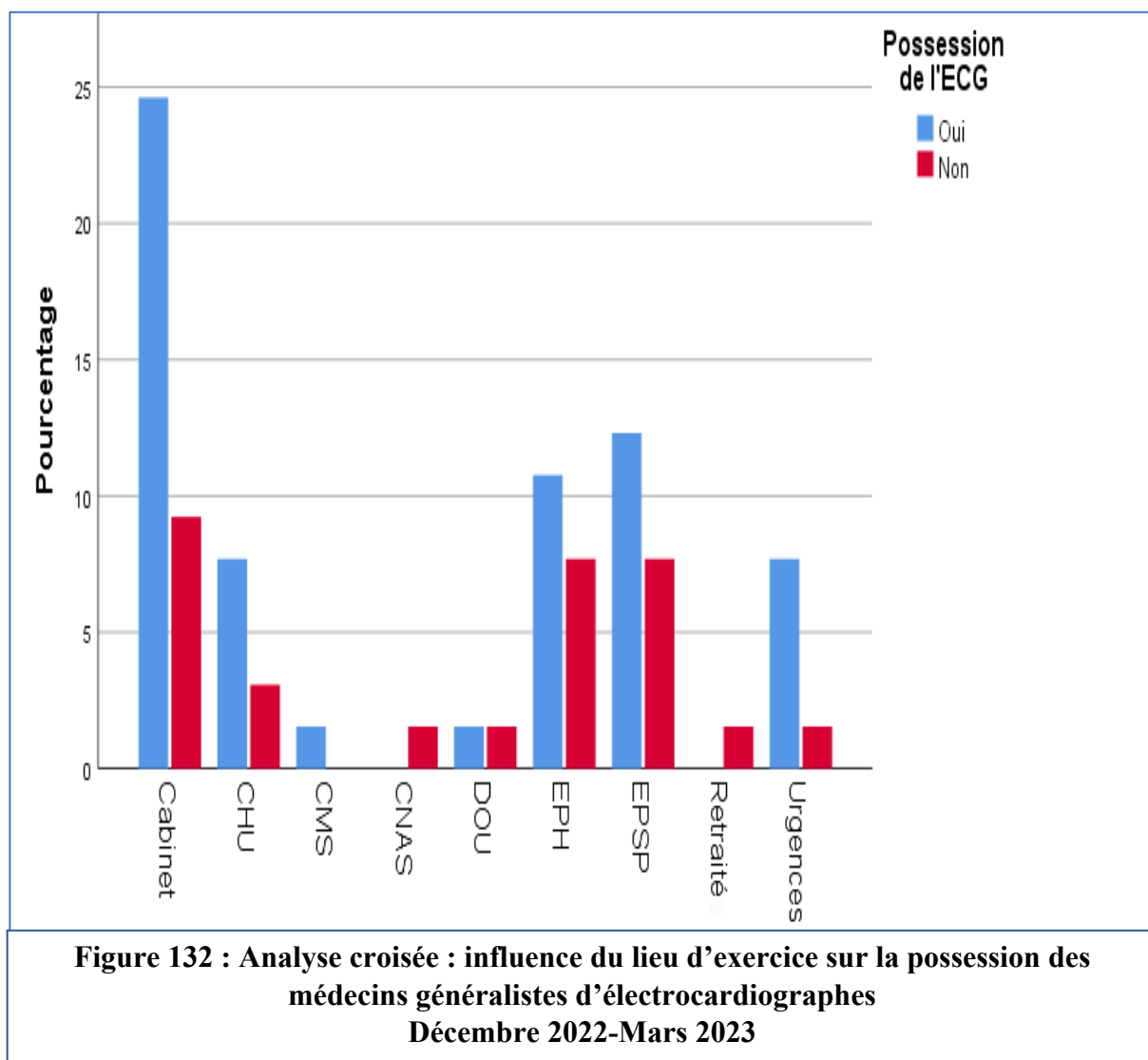


- *Les raisons de la non réalisation de l'ECG étaient comme suit (Figure 131) :*
  - 26.32 % ont déclaré qu'il n'y avait pas d'indication à la réalisation de cet ECG.
  - 26.32 % envoyaient les patients chez un cardiologue ou à un hôpital à proximité.
  - Dans 21.05 % des cas la cause était des connaissances théoriques insuffisantes.
  - 15.79 % ne possédaient pas un électrographe pour raison de coût.
  - 5.26 % par manque de temps ou responsabilité médicale engagée.
  - La rentabilité de l'acte et l'absence d'intérêt diagnostique n'ont pas été évoquées.



- *Influence du lieu d'exercice sur la possession d'un électrocardiographe*

*Les médecins généralistes exerçant en secteur privé avaient le taux de possession d'électrocardiographe le plus important, suivis par l'EPSP, l'EPH, les UMC et les CHU, en dernier CMS et DOU (Figure 132).*



*Le lieu d'exercice n'avait pas d'influence sur la possession d'un électrocardiographe, la différence n'était pas statistiquement significative avec un  $p= 0.602$  (Tableau VII).*

**Tableau III : Analyse croisée portant sur l'influence du lieu d'exercice sur la possession d'un électrocardiographe**

N° D'OBSERVATIONS VALIDES	VALEUR	ddl	$p^*$ VALUE
65	6.408	8	0.602

### 3.7.2.5 Nécessité de réaliser des ECG

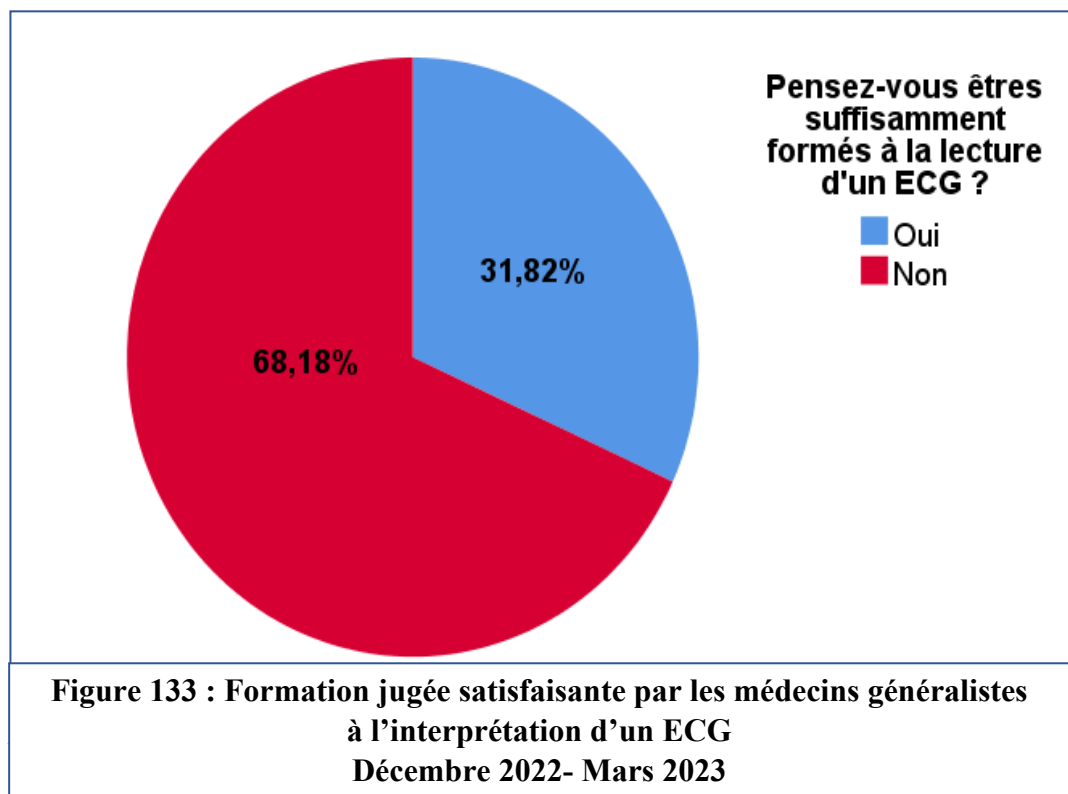
**Question 5 : Pensez-vous que le médecin généraliste doit réaliser et interpréter des ECG ?**

*La réponse était OUI à l'unanimité, 100 % de nos médecins généralistes ont confirmé la nécessité de réaliser et d'interpréter des ECG.*

### 3.7.2.6 Formation antérieure satisfaisante

**Question 6 : Pensez-vous être suffisamment formé à la lecture des ECG ?**

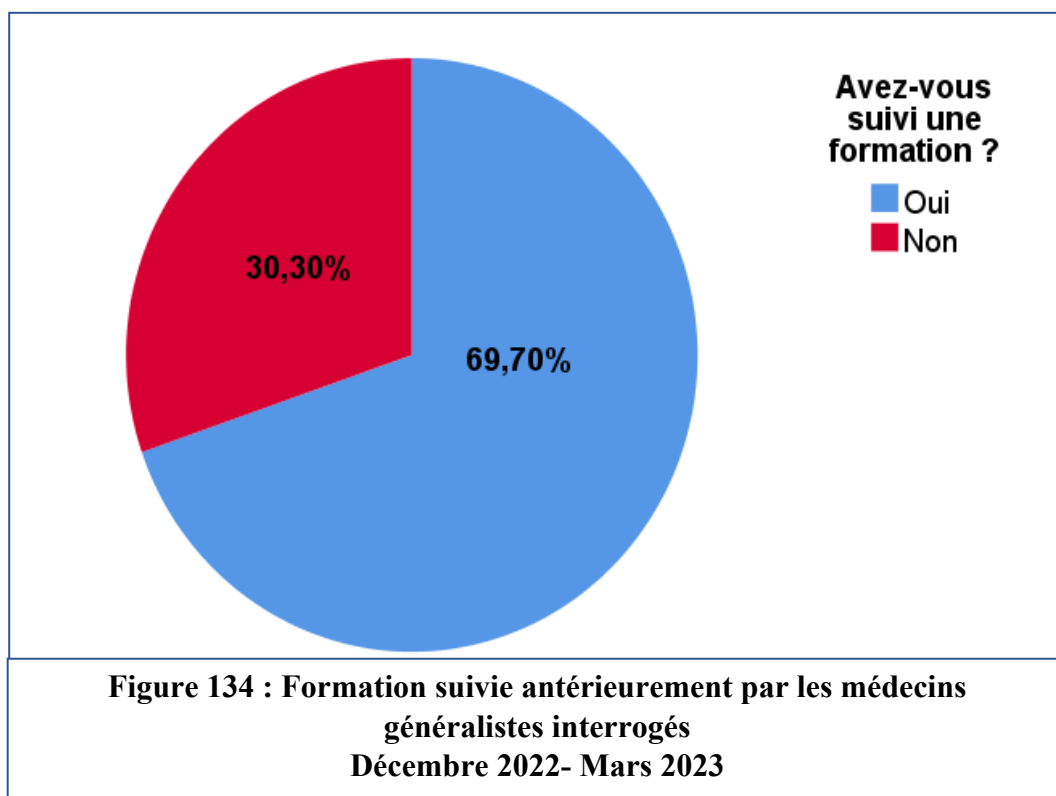
*46 médecins généralistes soit 68.18 % se sentent insuffisamment formés à la lecture de l'ECG contre 21 médecins soit 31.82 % qui déclaraient l'être (Figure 133).*



### 3.7.2.7 Formation antérieure suivie

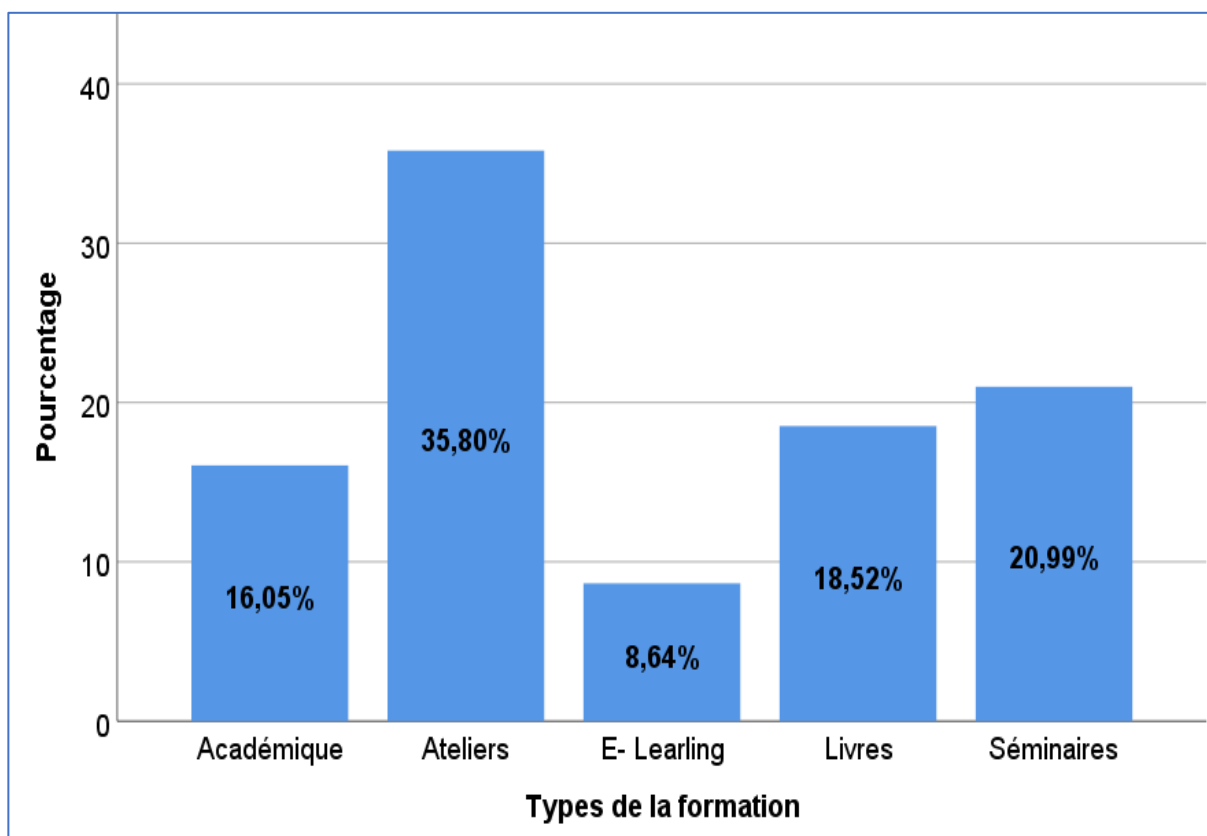
**Question 7 : Avez-vous déjà suivi une formation ?**

*47 médecins généralistes soit 69.70 % avaient déjà suivi une formation antérieure contre 20 médecins soit 30.30 % qui n'avaient suivi aucune formation (Figure 134).*



- *Les types les plus fréquemment utilisés pour la formation suivie antérieurement*

*Les ateliers représentaient le format d'apprentissage le plus utilisé dans 35.80 % des cas, suivis par les séminaires à 20.99 %, les livres avec 18.52 %, les formations académiques avec 16.05 % et 8.64 % pour le E-learning (Figure 135).*

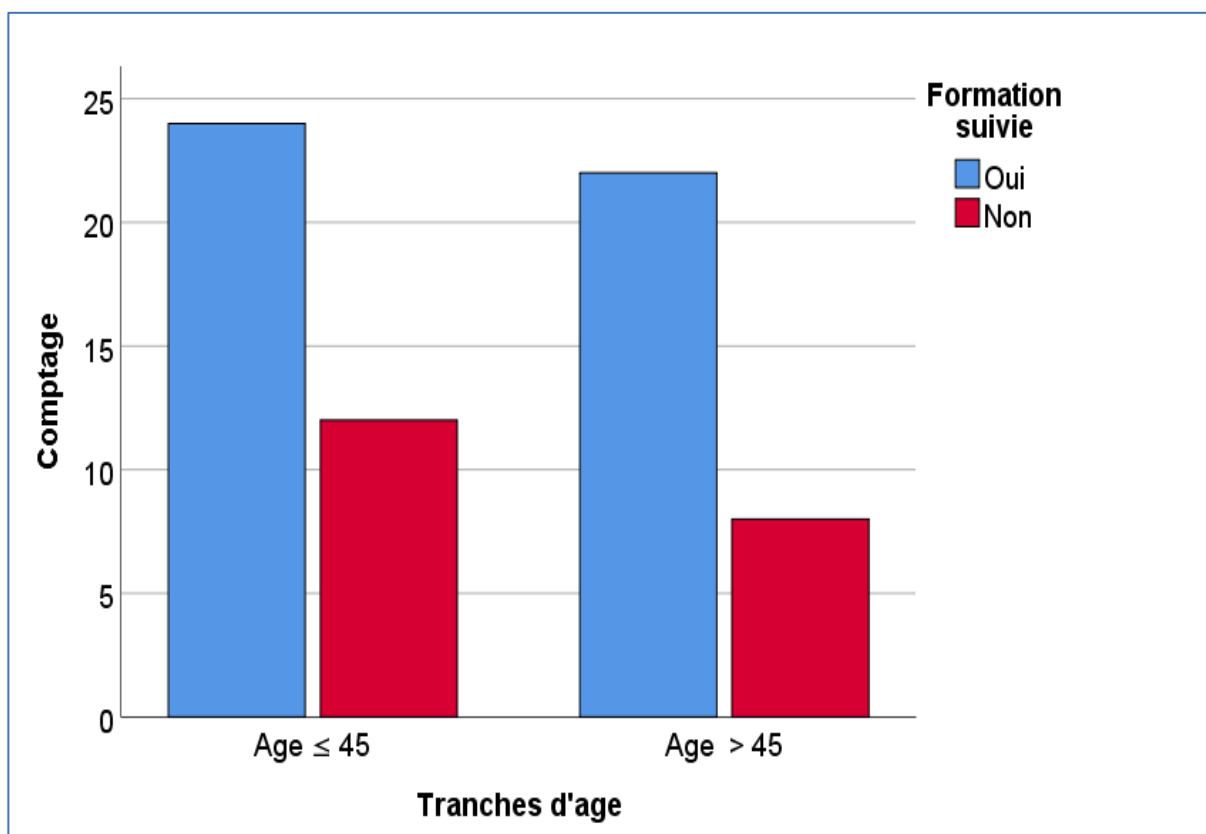


**Figure 135 : Types de formations suivies antérieurement par les médecins généralistes interrogés  
Décembre 2022- Mars 2023**

▪ ***L'influence de la tranche d'âge sur la formation suivie antérieurement***

*Il n'y avait pas de tranche d'âge qui avait plus tendance à suivre des formations par rapport à l'autre (Figure 136).*

*Statistiquement pas de différence significative entre les deux tranches d'âge sur la formation suivie antérieurement ( $p = 0.557$ ).*

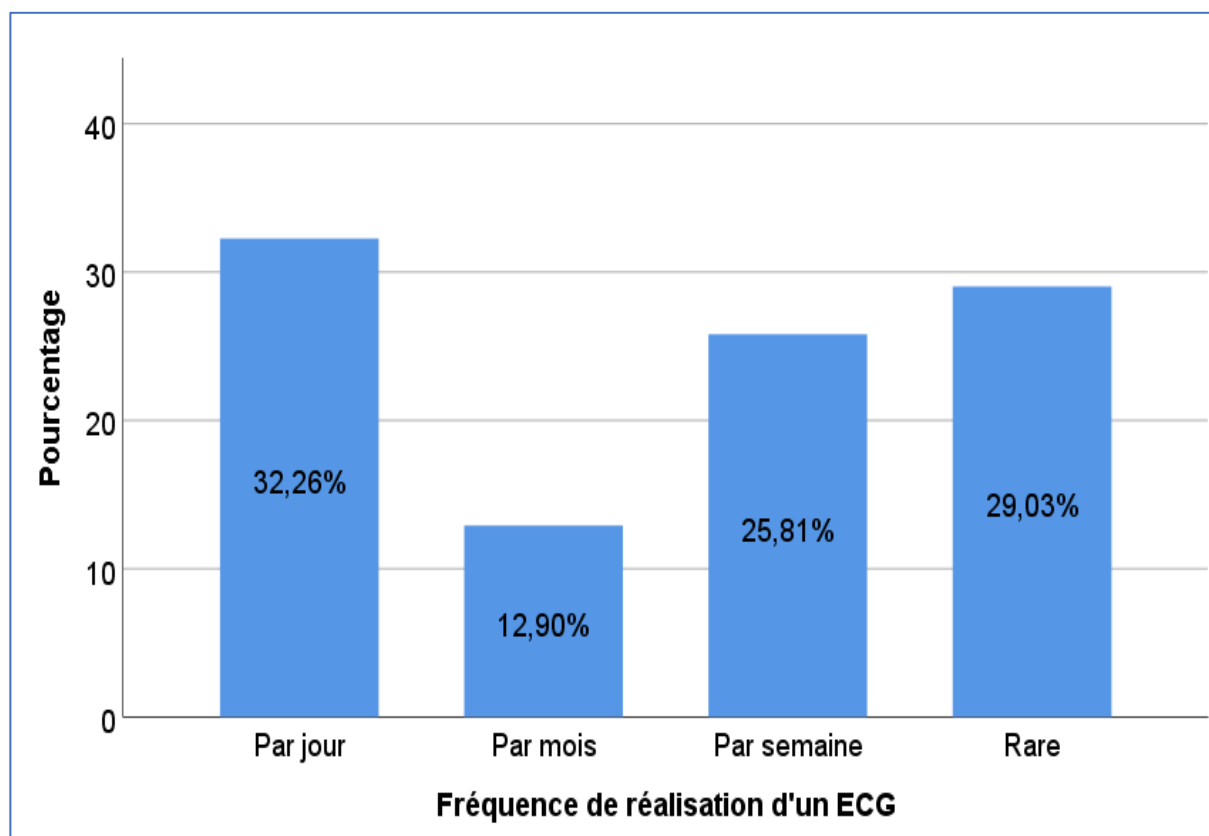


**Figure 136 : Analyse croisée : Influence de la tranche d'âge sur les formations suivies antérieurement par les médecins généralistes  
Décembre 2022- Mars 2023**

### 3.7.2.8 Fréquence de réalisation des ECG

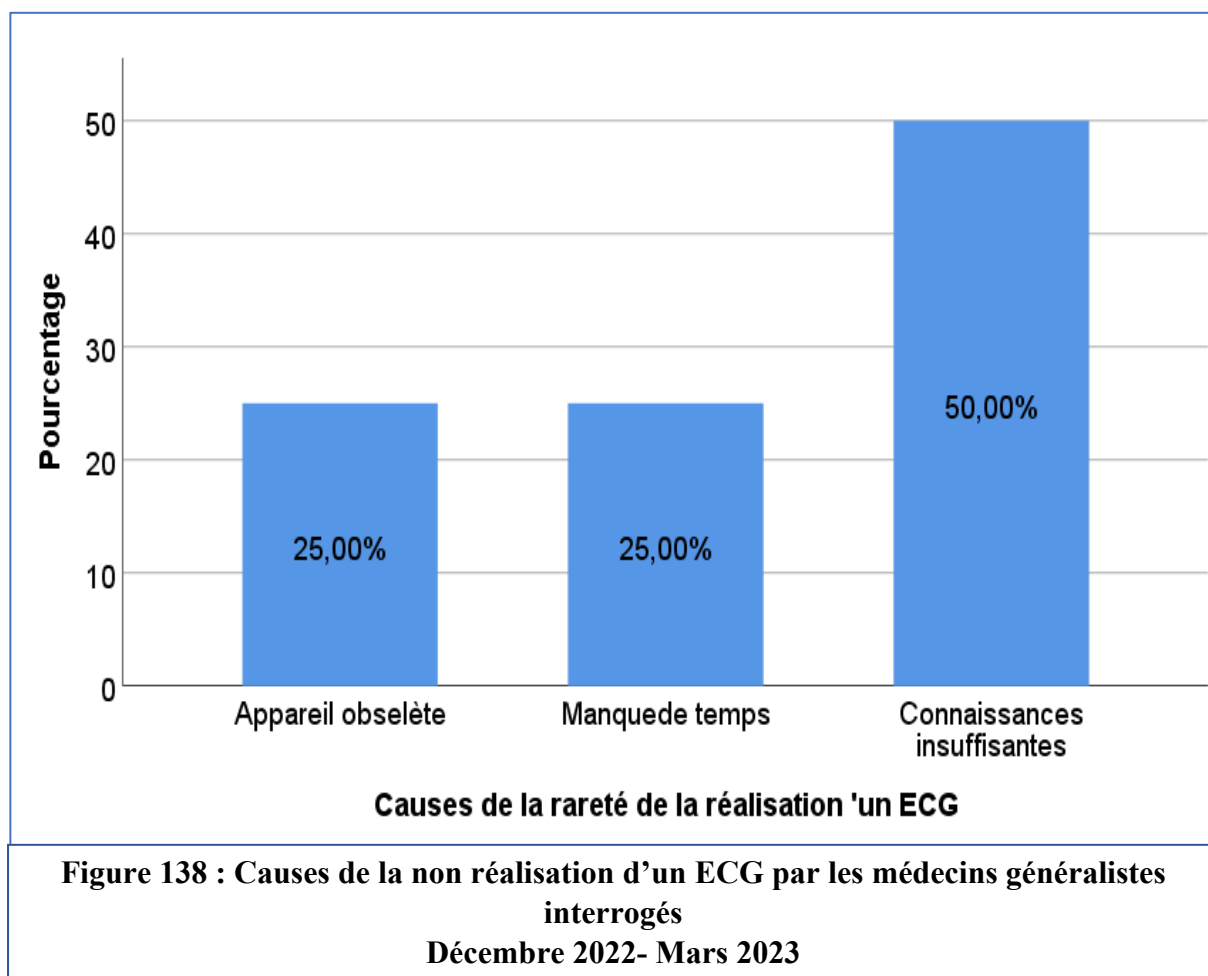
**Question 8 : A quelle fréquence réalisez-vous des ECG ? (Figure 137)**

- 32.26 % soit 22 médecins généralistes interrogés réalisaient des ECG quotidiennement,
- 29.03 % soit 19 médecins les réalisaient rarement (moins d'une fois par mois voir jamais),
- 25.81 % soit 17 médecins généralistes hebdomadairement,
- 12.90 % soit 9 médecins généralistes mensuellement.



**Figure 137 : Fréquence de réalisation d'un ECG par les médecins généralistes interrogés  
Décembre 2022- Mars 2023**

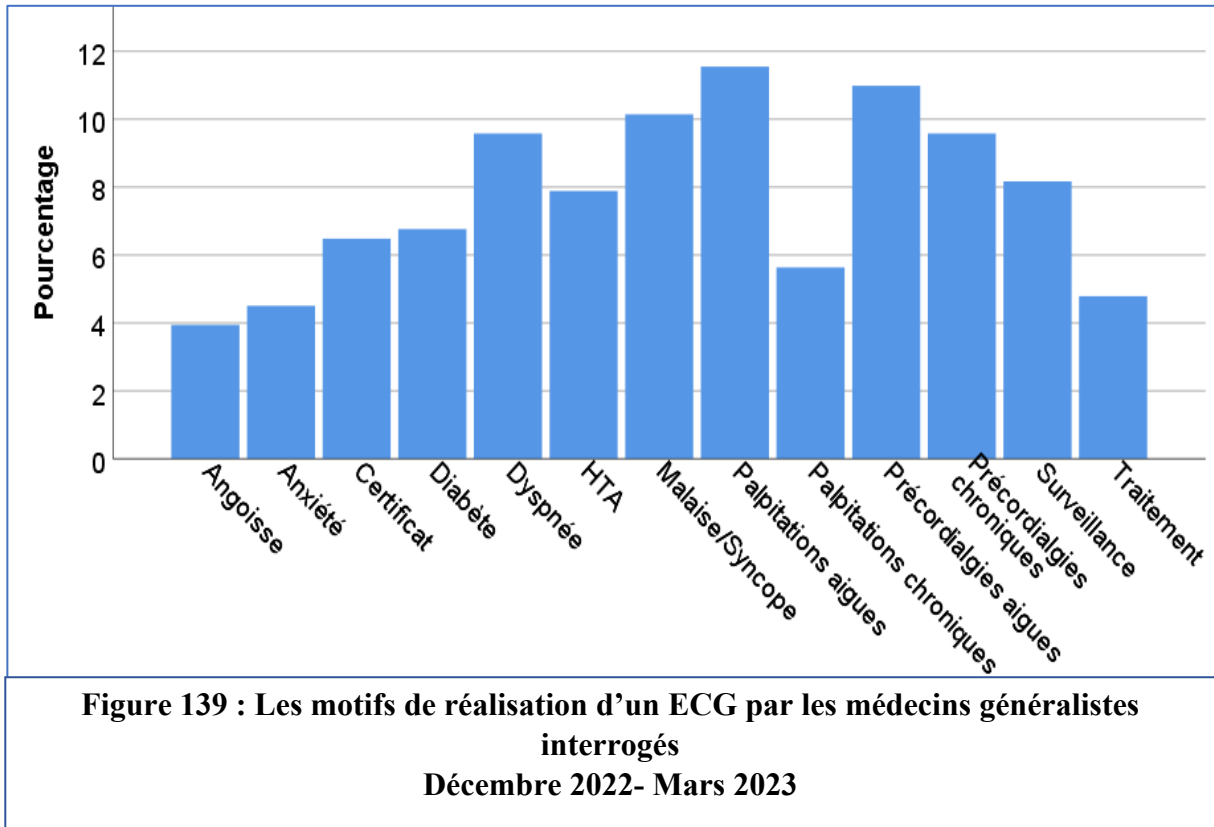
- *La principale cause de la non réalisation d'un ECG donnée par 50 % des médecins généralistes interrogés était le manque de connaissances théoriques quant à l'indication et l'apport de cet examen, dans 25 % des cas c'était soit le manque de temps ou l'appareil obsolète (Figure 138).*



### 3.7.2.9 Motifs de réalisation d'un ECG

#### Question 9 : Dans quelles circonstances réalisez-vous un ECG ?

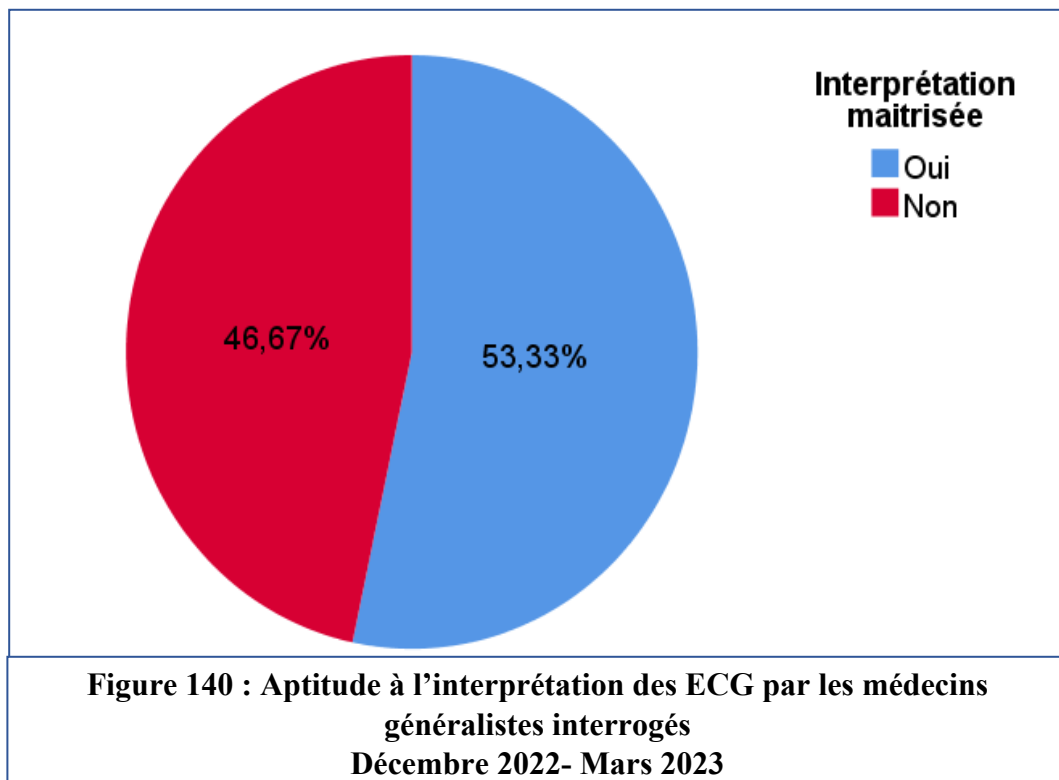
*Contrairement aux internes où le motif le plus fréquent de réalisation de l'ECG était de loin les précordialgies aiguës, chez les médecins généralistes les motifs étaient variés (Figure 139).*



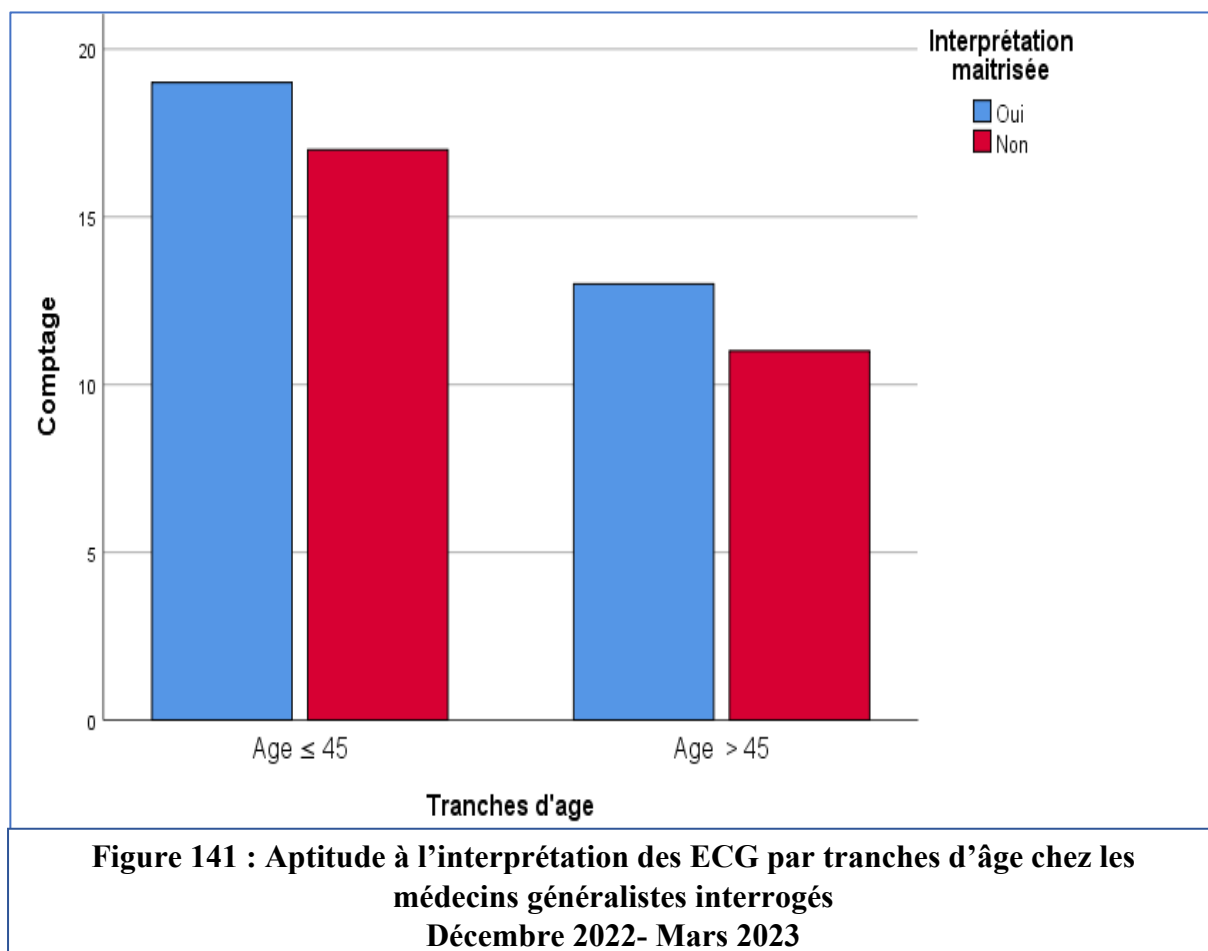
### 3.7.2.10 Aptitude à l'interprétation de l'ECG

#### Question 10 : Vous sentez-vous apte à interpréter des ECG ?

36 médecins généralistes questionnés (53.33 %) se sentaient capables d'interpréter des ECG, contre 31 médecins (46.67 %) (Figure 140).



- **Aptitude par tranches d'âge** : 62 % des plus de 45 ans se sentaient fiables contre 36 % des moins de 45 ans, et 64% des moins de 45 ans ne se sentaient pas fiables pour interpréter un ECG (Figure 141).



La différence entre les deux tranches d'âge était statistiquement significative avec  $p = 0.045$  (Tableau IV).

**Tableau IV : Analyse croisée : comparaison de l'autonomie entre les deux tranches d'âge.**

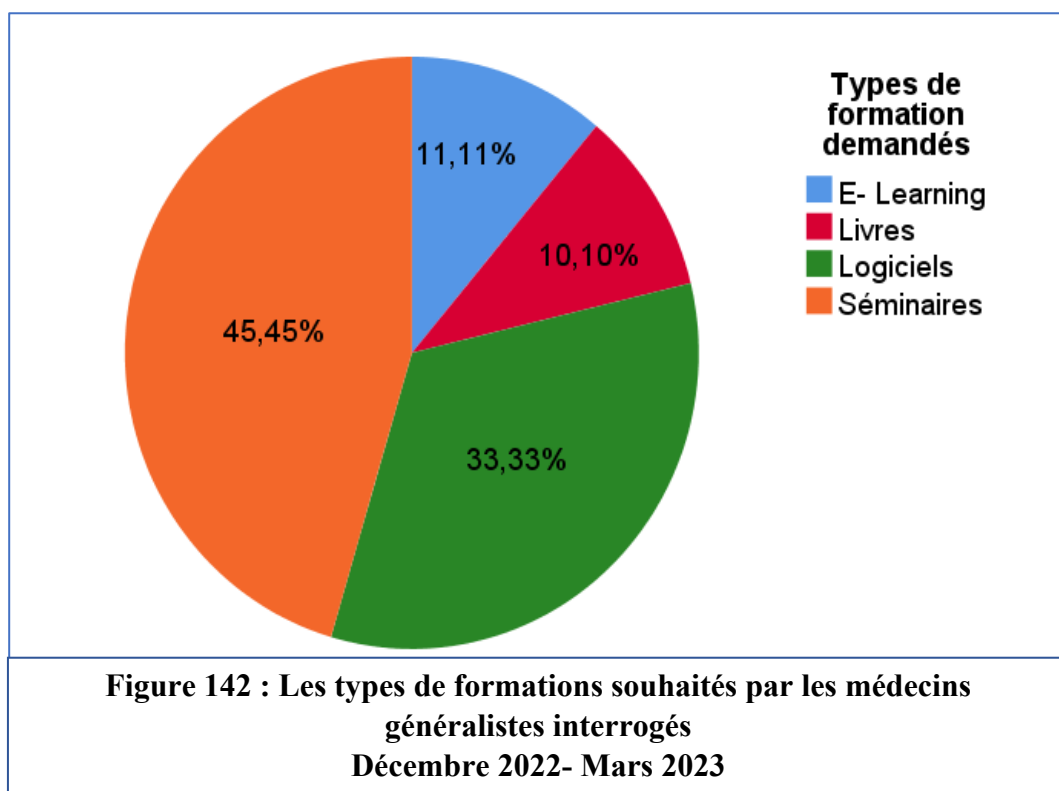
N° D'OBSERVATIONS VALIDES	VALEUR	ddl	$p^*$ VALUE
66	4.036	1	<b>0.045</b>

## 3.7.2.11 Intérêt pour une formation complémentaire

**Question 11 : Seriez-vous intéressé par une formation complémentaire à la lecture de l'ECG ?**

À l'unanimité, les 67 médecins généralistes (100 %) avaient souhaité suivre une formation à l'interprétation de l'ECG.

- **Quant aux types de formations demandés** : 30 médecins généralistes (45.45%) avaient exprimé le souhait de participer à une formation sous forme de séminaires.  
Des logiciels dans 33.33 % des cas (22 médecins), 7 médecins (11.11 %) E-learning et 6 médecins (10.10 %) sous formes de livres (Figure 142).



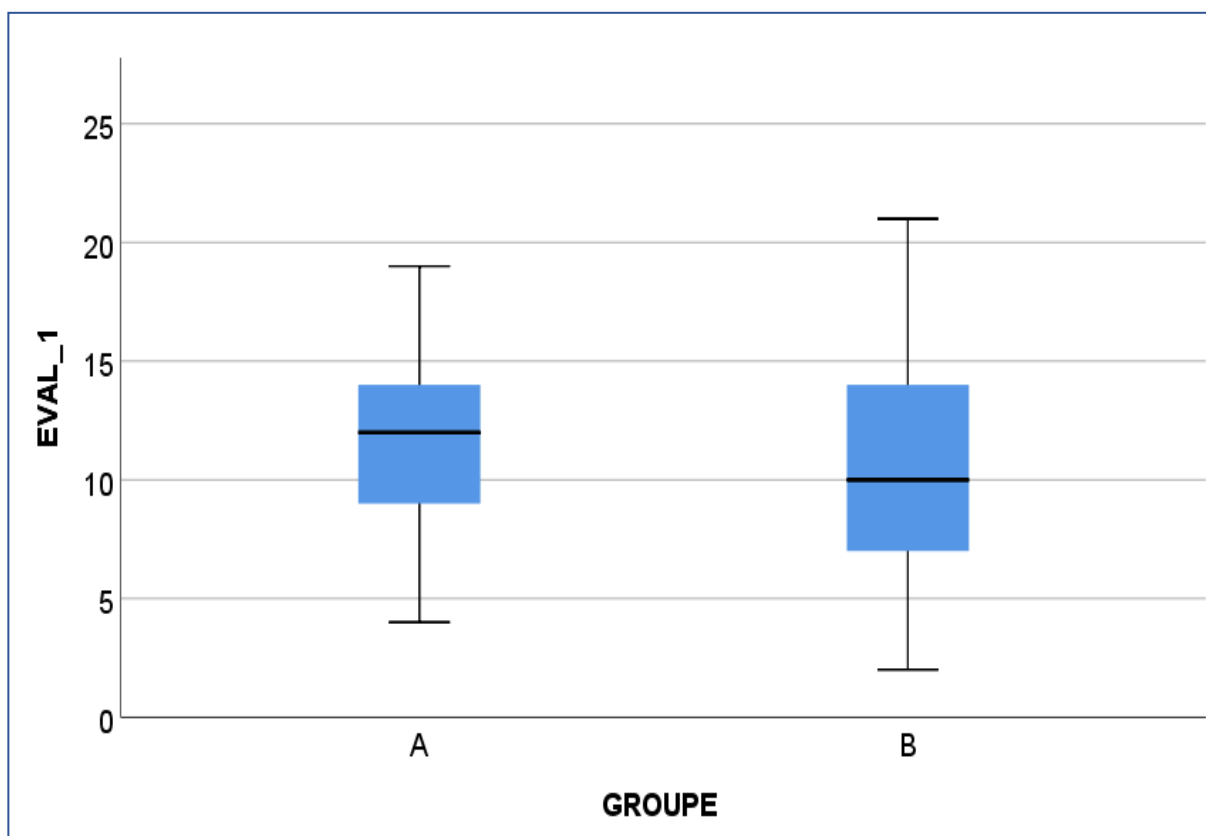
### 3.7.3 RESULTATS DE L'ETUDE RANDOMISÉE

#### 3.7.3.1 Comparaison des scores des deux groupes lors de l'évaluation 1 (initiale ou pré-test)

- ⇒ L'ensemble des apprenants (92 étudiants de la 6<sup>ème</sup> année de médecine) ont bénéficié d'une évaluation initiale (évaluation 1) qui avait duré 21 minutes, à raison d'une minute par tracé ECG.
- ⇒ Les deux groupes A et B avaient des moyennes de  $11.40 \pm 3.787$  et  $10.18 \pm 4.526$  respectivement.
- ⇒ La différence des scores moyens entre les deux groupes était de 1.22 ; ddl= 90 ;  $p = 0.171$ . (Tableau V).
- ⇒ Égalité des deux variances et des deux moyennes entre les deux groupes A et B, confirmant le caractère aléatoire de la randomisation, avec une différence statistiquement non significative entre les deux groupes (Figure 143).

**Tableau V : Résultats statistiques des groupes A et B lors de l'évaluation 1.**

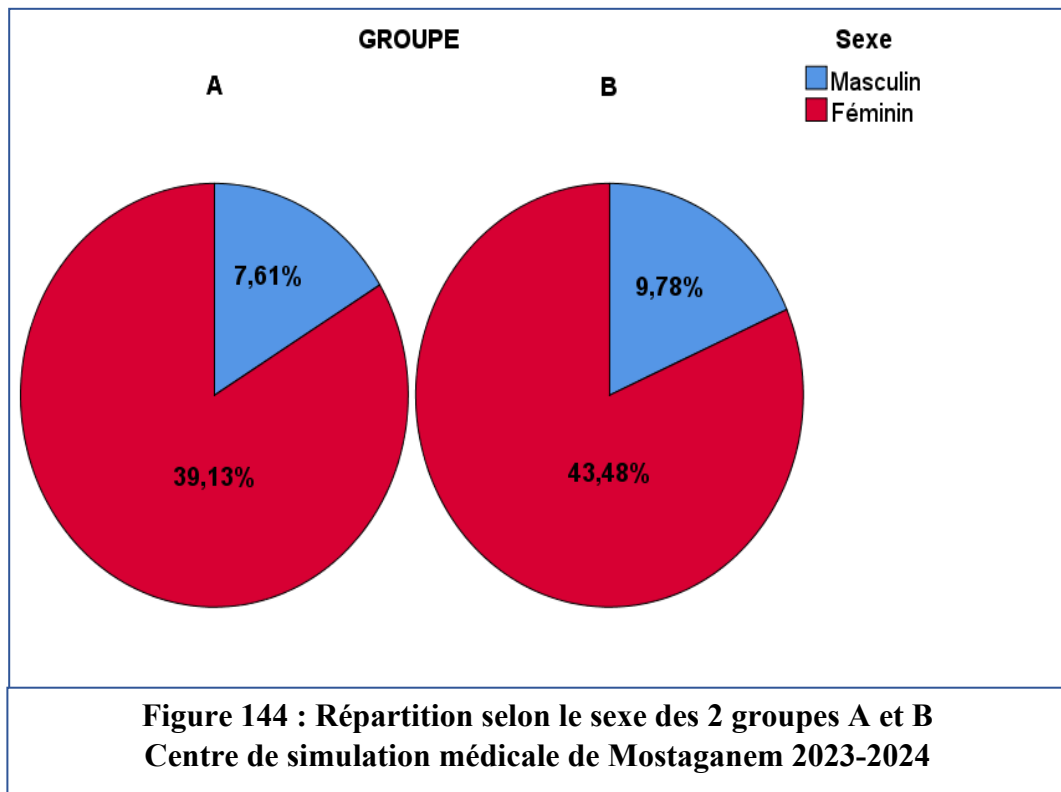
	GROUPE	N	MOYENNE	ECART TYPE	$p^*$ VALUE
EVAL 1	A	43	11.40	3.787	0.171
	B	49	10.18	4.526	



**Figure 143 : Box-plot représentant les scores des deux groupes A et B lors de l'évaluation 1  
Centre de simulation médicale de Mostaganem 2023-2024**

### 3.7.3.2 Répartition des deux groupes d'étudiants selon le sexe

- *Le sexe masculin représentait 17.40 % de l'effectif total soit 16 hommes, répartis sur les deux groupes comme suit : groupe A : 7.61% (7 hommes) et groupe B : 9.78 % (9 hommes).*
- *Le sexe féminin représentait 82.60 % de l'effectif total soit 76 femmes, répartis sur les deux groupes comme suit : groupe A : 39 % (36 femmes) et groupe B : 43.60 % (40 femmes).*
- *Ces résultats confirmaient encore une fois le caractère aléatoire et homogène de la randomisation (Figure 144).*



### 3.7.3.3 Les résultats des analyses statistiques du groupe A

Nous allons aborder les résultats des deuxièmes et troisièmes évaluations pour le groupe A

#### 3.7.3.3.1 Comparaison entre l'évaluation 1 initiale (pré-test) et l'évaluation 2 avec l'utilisation de l'application « MED ECG 2022 » sans aucune formation au préalable

**Tableau VI : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 1 et 2 dans le groupe A**

ÉVALUATIONS	GROUPE	N	MOYENNE	ECART TYPE	ddl	<i>p</i> <sup>*</sup> <i>VALUE</i>
EVAL 1	A	43	11.40	3.787	42	<b>&lt; 0.001</b>
EVAL 2			15.00	3.395		

Sur les 43 étudiants du groupe A, le score moyen est passé de  $11.40 \pm 3.787$  lors de l'évaluation 1 à  $15.00 \pm 3.395$  lors de l'évaluation 2 qui avait duré 42 minutes à raison de 2 minutes par tracé ECG.

La différence des scores entre les deux évaluations 1 et 2 était statistiquement très significative ( $ddl = 42 ; p < 0.001$ ) (Tableau VI).

### 3.7.3.3.2 Comparaison entre l'évaluation 2 (avec application) et l'évaluation 3 (post-formation)

Les étudiants du groupe A ont fait l'objet d'une dernière évaluation post-formation

**Tableau VII : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 2 et 3 dans le groupe A**

ÉVALUATIONS	GROUPE	N	MOYENNE	ECART TYPE	ddl	<i>p</i> * VALUE
EVAL 2	A	43	15.00	3.395	42	<b>0.001</b>
EVAL 3			17.12	3.868		

*Pour le groupe A, le score moyen est passé de  $15.00 \pm 3.395$  lors de l'évaluation 2, à  $17.12 \pm 3.868$  lors de l'évaluation 3 qui avait duré 21 minutes à raison d'une minute par tracé ECG. La différence entre les évaluations 2 et 3 était statistiquement très significative ( $ddl = 42$  ;  $p = 0.001$ ) (Tableau VII).*

### 3.7.3.3.3 Comparaison entre l'évaluation 1 (pré-test) et l'évaluation 3 (post-formation)

**Tableau VIII : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 1 et 3 dans le groupe A**

ÉVALUATIONS	GROUPE	N	MOYENNE	ECART TYPE	ddl	<i>p</i> * VALUE
EVAL 1	A	43	11.40	3.787	42	<b>&lt; 0.001</b>
EVAL 3			17.12	3.868		

*Chez les étudiants du groupe A, le score moyen est passé de  $11.40 \pm 3.787$  lors de l'évaluation 1, à  $17.12 \pm 3.868$  lors de l'évaluation 3. La différence entre les évaluations 1 et 3 était statistiquement très significative ( $ddl = 42$  ;  $p < 0.001$ ) (Tableau VIII).*

### 3.7.3.4 Les résultats des analyses statistiques du groupe B

#### 3.7.3.4.1 Comparaison entre l'évaluation 1 (pré-test) et l'évaluation 2 (post-formation)

Les 49 étudiants du groupe B ont fait l'objet d'une deuxième évaluation post-formation.

**Tableau IX : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 1 et 2 dans le groupe B**

ÉVALUATIONS	GROUPE	N	MOYENNE	ECART TYPE	ddl	<i>p*</i> <i>VALUE</i>
EVAL 1	B	49	10.18	4.526	48	<b>&lt; 0.001</b>
EVAL 2			15.33	4.413		

*Chez les 49 étudiants du groupe B, le score moyen est passé de  $10.18 \pm 4.526$  lors de l'évaluation 1, à  $15.33 \pm 4.413$  lors de l'évaluation 2 qui avait duré 21 minutes à raison d'une minute par tracé ECG.*

*La différence entre les évaluations 1 et 2 était statistiquement très significative (ddl= 48 ;  $p < 0.001$ ) (Tableau IX).*

#### 3.7.3.4.2 Comparaison entre l'évaluation 2 (post-formation) et l'évaluation 3 (avec application)

Les 49 étudiants du groupe B ont fait l'objet d'une dernière évaluation avec l'utilisation de l'application.

**Tableau X : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 2 et 3 dans le groupe B**

ÉVALUATIONS	GROUPE	N	MOYENNE	ECART TYPE	ddl	<i>p*</i> <i>VALUE</i>
EVAL 2	B	49	15.33	4.413	48	<b>0.038</b>
EVAL 3			16.69	2.917		

*Chez les étudiants du groupe B, le score moyen est passé de  $15.33 \pm 4.413$  lors de l'évaluation 2, à  $16.69 \pm 2.917$  lors de l'évaluation 3 qui avait duré 42 minutes à raison de 2 minutes par tracé ECG.*

*La différence entre les évaluations 2 et 3 était statistiquement significative (ddl= 48 ;  $p= 0.038$ ) (Tableau X).*

**3.7.3.4.3 Comparaison entre l'évaluation 1 (pré-test) et l'évaluation 3 (avec application)**

**Tableau XI : Analyse descriptive de la comparaison entre les évaluations 1 et 3 dans le groupe B**

ÉVALUATIONS	GROUPE	N	MOYENNE	ECART TYPE	ddl	$p^*$ VALUE
EVAL 1	B	49	10.18	4.526	48	<b>&lt; 0.001</b>
EVAL 3			16.69	2.917		

*Pour le groupe B, le score moyen est passé de  $10.18 \pm 4.526$  lors de l'évaluation 1, à  $16.69 \pm 2.917$  lors de l'évaluation 3.*

*La différence entre les évaluations 1 et 3 était statistiquement très significative (ddl= 48 ;  $p < 0.001$ ) (Tableau XI).*

*Les deux groupes A et B ont progressé au fil des évaluations 2 et 3 par rapport à l'évaluation 1 (Figure 145).*

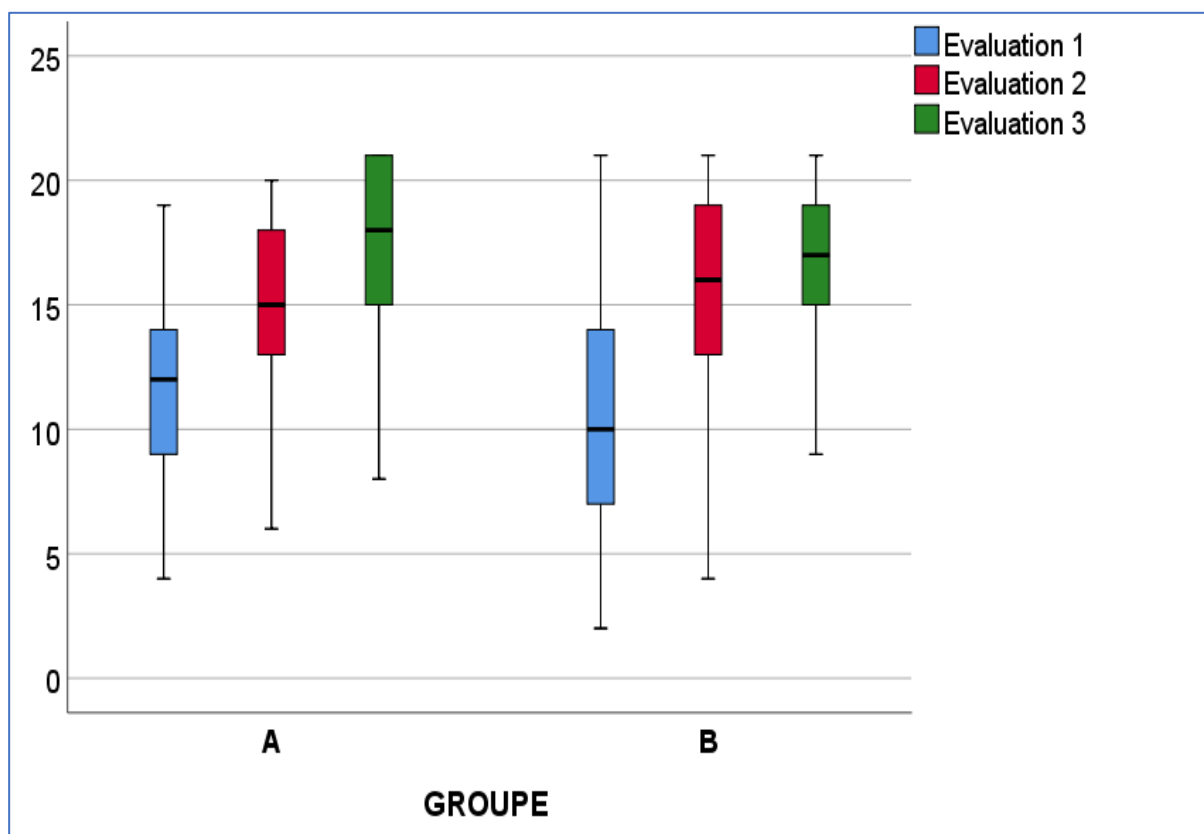
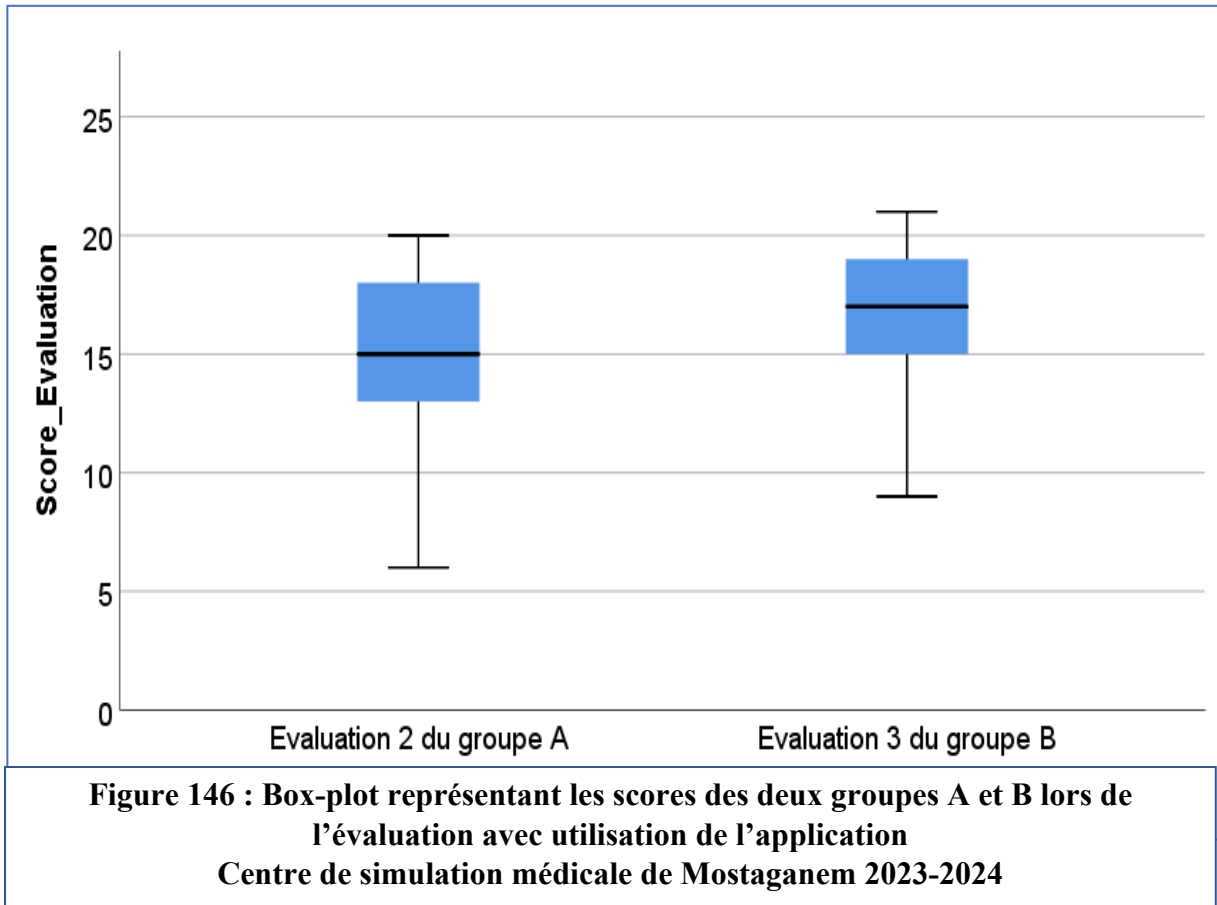


Figure 145 : Box-plot : description de la progression des deux groupes A et B au cours des différentes évaluations  
Centre de simulation médicale de Mostaganem 2023-2024

### 3.7.3.5 Comparaison entre les deux groupes lors de l'évaluation avec l'utilisation de l'application (Évaluation 2 du groupe A/ Évaluation 3 du groupe B)

Tableau XII : Analyse comparative entre le groupe A et B lors de l'évaluation avec utilisation de l'application.

ÉVALUATIONS	GROUPE	N	MOYENNE	ÉCART TYPE	$p^*$ <i>VALUE</i>
EVAL 2	A	43	15.00	3.395	<b>= 0.012</b>
EVAL 3	B	49	16.69	2.917	



- ⇒ Les 43 étudiants du groupe A avaient un score moyen de  $15.00 \pm 3.395$  lors de l'évaluation 2.
- ⇒ Les 49 étudiants du groupe B avaient un score moyen de  $16.69 \pm 2.917$  lors de l'évaluation 3.
- ⇒ La différence entre les deux groupes était statistiquement significative ( $t= 2.574$  ;  $ddl = 90$  ;  $p= 0.012$ ) (Tableau XII) (Figure 146).

### 3.7.3.6 Comparaison entre les deux groupes lors de l'évaluation post-formation (Évaluation 2 du groupe B/ Évaluation 3 du groupe A)

Tableau XIII : Analyse comparative entre le groupe A et B lors de l'évaluation post-formation.

ÉVALUATIONS	GROUPE	N	MOYENNE	ÉCART TYPE	SIGNIFICATION <i>p</i>
EVAL 2	B	49	15.33	3.868	<b>= 0.043</b>
EVAL 3	A	43	17.12	4.413	

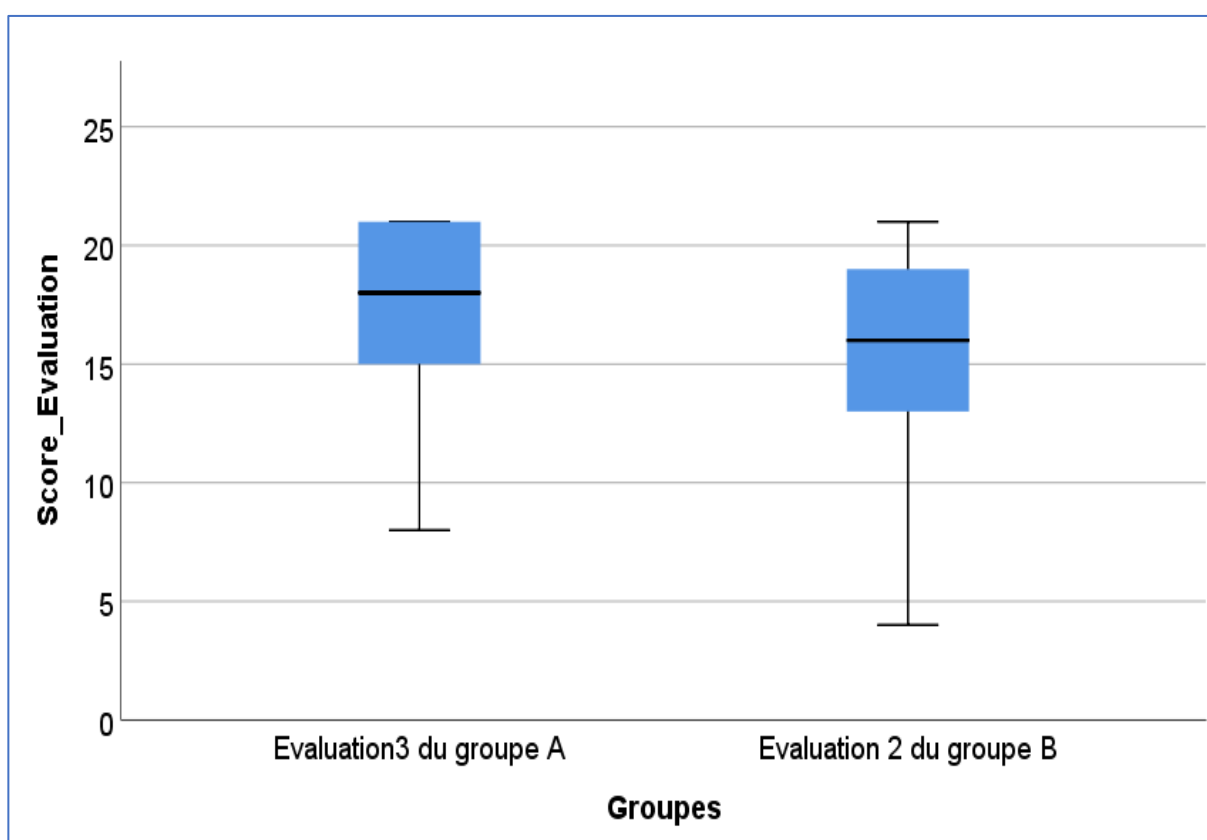


Figure 147 : Box-plot représentant les scores des deux groupes A et B lors de l'évaluation post-formation  
Centre de simulation médicale de Mostaganem 2023-2024

- ⇒ Les 49 étudiants du groupe B avaient un score moyen de  $15.33 \pm 3.686$  lors de l'évaluation 2.
- ⇒ Les 43 étudiants du groupe A avaient un score moyen de  $17.12 \pm 4.413$  lors de l'évaluation 3.
- ⇒ La différence entre les deux groupes était statistiquement significative ( $t= 2.055$  ;  $ddl = 90$  ;  $p=0.043$ ) (Tableau XIII) (Figure 147).

## 3.7.3.7 Les résultats de l'effectif total (groupe A + groupe B)

## 3.7.3.7.1 Analyse globale des 3 évaluations

Tableau XIV : Analyse globale des 3 évaluations

EVALUATIONS	MOYENNE	ECART TYPE	BORNE INFERIEURE	BORNE SUPERIEURE
<b>EVAL 1</b>	10.80	0.439	9.918	11.661
<b>EVAL 2</b>	15.16	0.415	14.339	15.987
<b>EVAL 3</b>	16.91	0.355	16.201	17.610

Lors de l'évaluation 1, sur les 92 étudiants, le score moyen était de 10.80 sur 21, allant de 9.91 à  $11.66 \pm 0.439$ .

A l'évaluation 2, le score moyen des deux groupes est passé à 15.16 sur 21, allant de 14.33 à  $15.98 \pm 0.415$ .

Lors de l'évaluation 3, le score moyen des deux groupes est passé à 16.91 sur 21, allant de 16.20 à  $17.61 \pm 0.355$  (Tableau XIV).

## 3.7.3.7.2 Comparaison entre l'évaluation 1 et l'évaluation 2 chez les 92 étudiants

Tableau XV : Analyse comparative entre les évaluations 1 et 2

EVALUATIONS	N	MOYENNE	ECART TYPE	ddl	<i>p</i> <sup>*</sup> VALUE
<b>EVAL 1</b>	92	10.80	0.439	91	<b>&lt; 0.001</b>
<b>EVAL 2</b>		15.16	0.415		

Chez les 92 étudiants, le score moyen est passé de  $10.80 \pm 0.439$  lors de l'évaluation 1, à  $15.16 \pm 0.415$  lors de l'évaluation 2.

La différence entre les évaluations 1 et 2 était statistiquement très significative ( $ddl= 91 ; p < 0.001$ ) (Tableau XV).

### 3.7.3.7.3 Comparaison entre l'évaluation 2 et l'évaluation 3 chez les 92 étudiants

Tableau XVI : Analyse comparative entre les évaluations 2 et 3

EVALUATIONS	N	MOYENNE	ECART TYPE	ddl	<i>p*</i> VALUE
EVAL 2	92	15.16	0.415	91	<b>&lt; 0.001</b>
EVAL 3		16.91	0.355		

Pour les 92 étudiants, le score moyen est passé de  $15.16 \pm 0.415$  lors de l'évaluation 2, à  $16.91 \pm 0.355$  lors de l'évaluation 3.

La différence entre les évaluations 2 et 3 était statistiquement très significative ( $ddl=91$  ;  $p < 0.001$ ) (Tableau XVI).

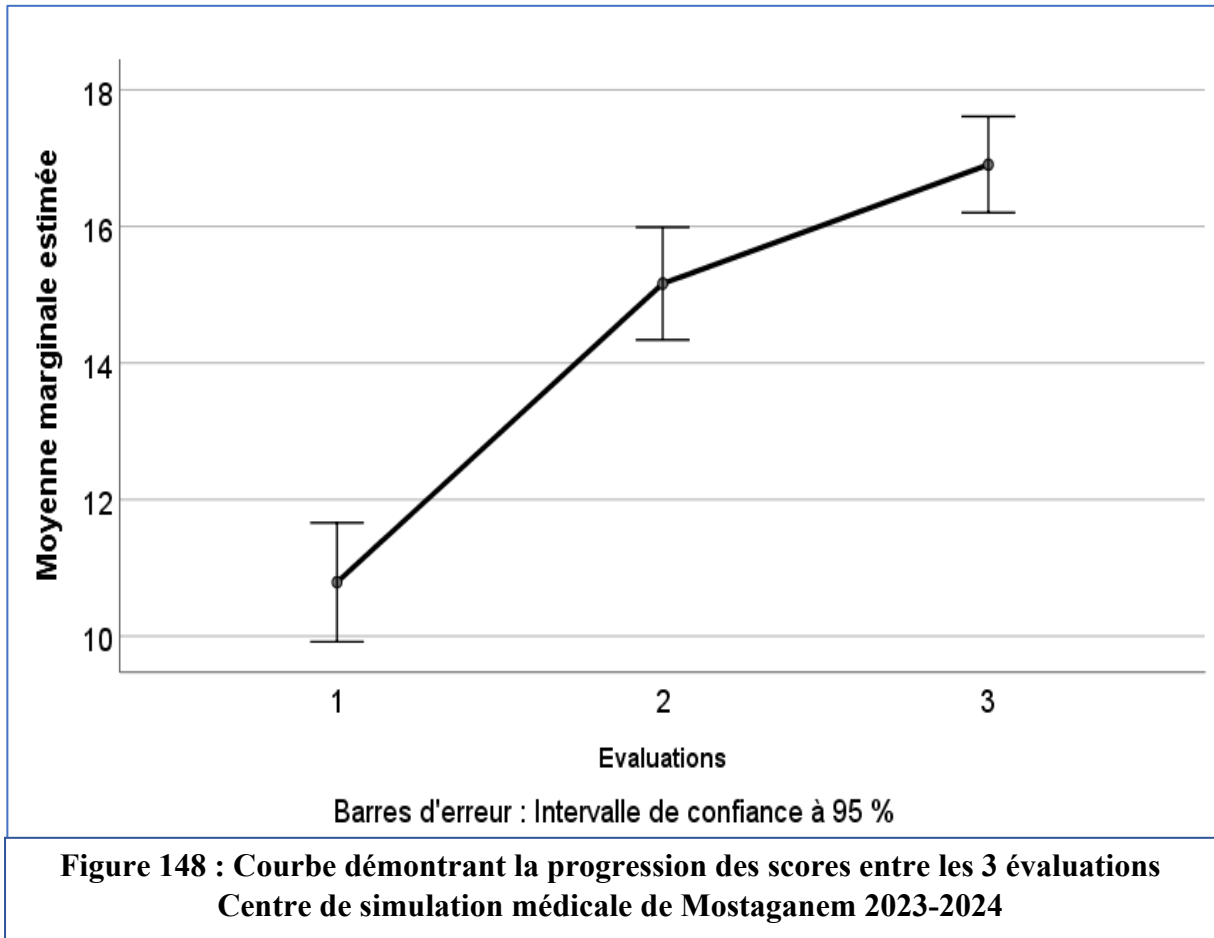
### 3.7.3.7.4 Comparaison entre l'évaluation 1 et l'évaluation 3 chez les 92 étudiants

Tableau XVII : Analyse comparative entre les évaluations 1 et 3

EVALUATIONS	N	MOYENNE	ECART TYPE	ddl	<i>p*</i> VALUE
EVAL 1	92	10.80	0.439	91	<b>&lt; 0.001</b>
EVAL 3		16.71	0.355		

Pour tous les étudiants, le score moyen est passé de  $10.80 \pm 0.439$  lors de l'évaluation 1, à  $16.71 \pm 0.355$  lors de l'évaluation 3.

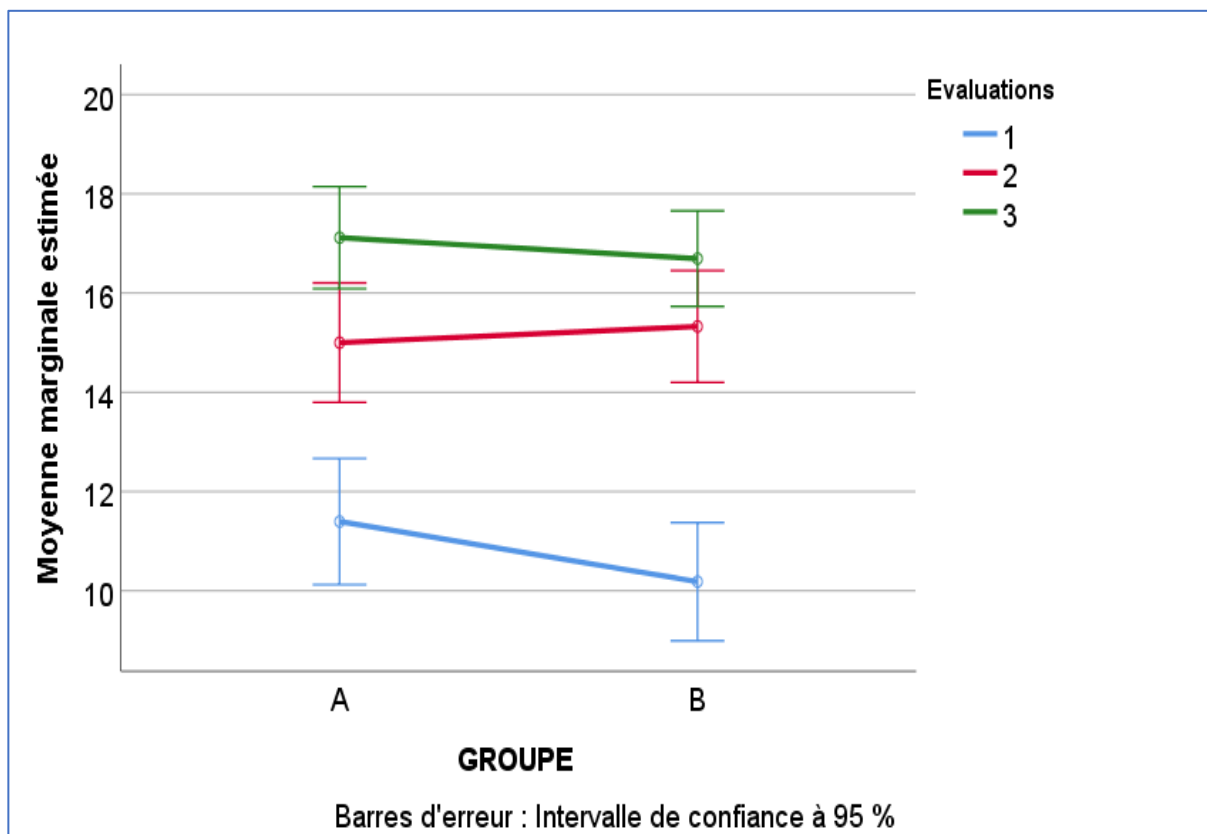
La différence entre les évaluations 1 et 3 était statistiquement très significative ( $ddl=91$  ;  $p < 0.001$ ) (Tableau XVII).



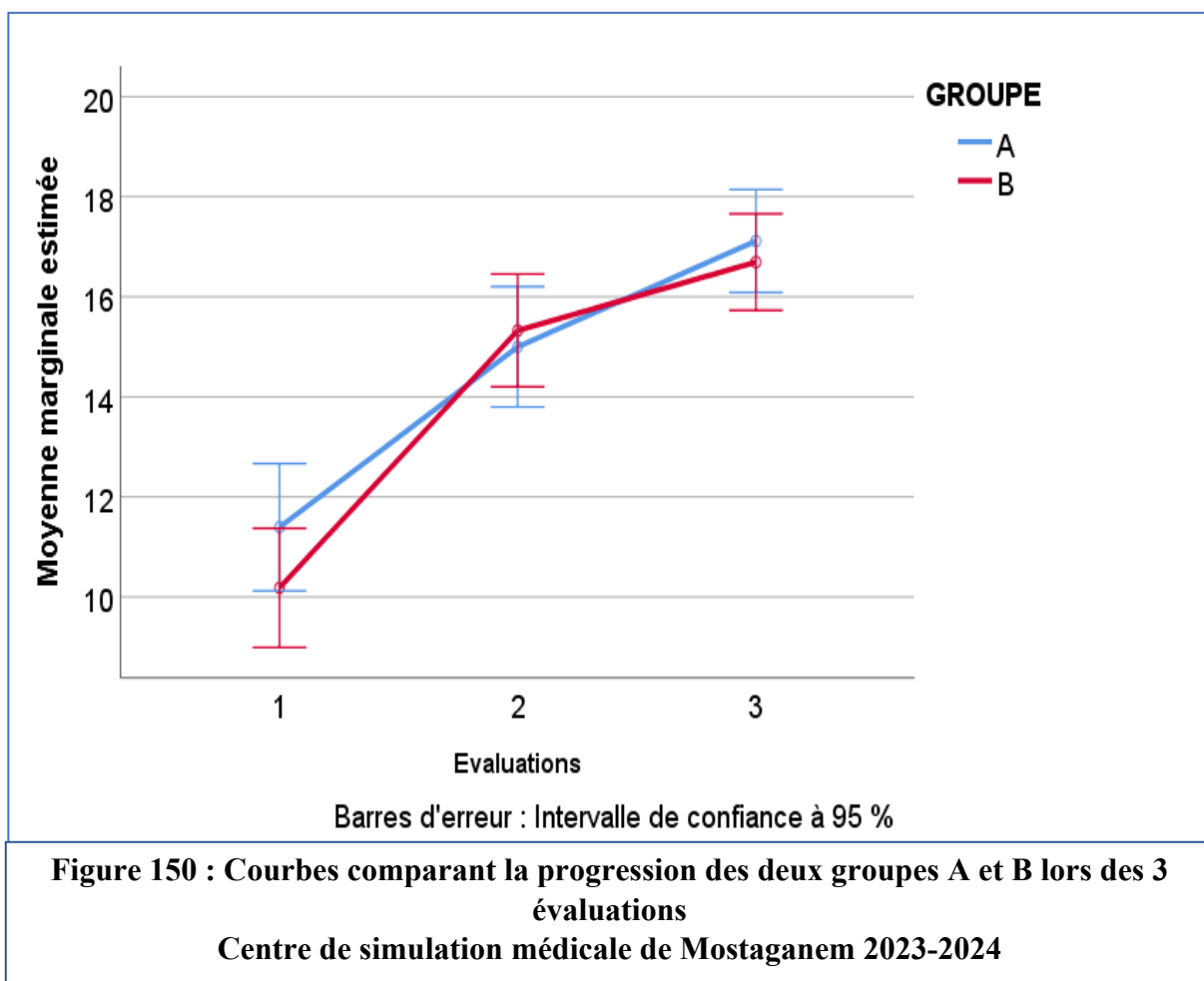
*L'évaluation 1 : Pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes A et B avec un p non significatif à 0.171*

*L'évaluation 2 : Pour les deux groupes, une amélioration significative des scores était observée avec un p statistiquement très significatif  $< 0.001$ , quel que soit le parcours de l'étudiant, l'utilisation de l'application ou la formation.*

*L'évaluation 3 : les étudiants continuaient à améliorer leurs scores de façon statistiquement très significative avec un  $p = 0.001$  (Figure 148).*



**Figure 149 : L'évolution des scores en intragroupe et en intergroupes  
Centre de simulation médicale de Mostaganem 2023-2024**



- *Pas de différence significative entre les deux groupes lors de l'évaluation 1 initiale.*
- **Évaluation 2 :** *Une amélioration significative des scores du groupe A en utilisant l'application et du groupe B après la formation, et pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes : le groupe A ayant utilisé l'application et le groupe B ayant suivi la formation (ddl=88.54 ; p= 0.690).*
- **Évaluation 3 :** *les étudiants amélioraient davantage leurs scores de façon significative, après la formation concernant le groupe A et avec l'utilisation de l'application pour le groupe B, et pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes : le groupe A ayant bénéficié d'une formation et le groupe B ayant utilisé l'application (ddl= 77.49 ; p= 0.560).*
- *L'inégalité des deux variances lors de l'évaluation 2 et 3 expliquait les ddl après correction de Welch (Figure 149,150).*

### 3.8 DISCUSSION

Nous avons commencé notre étude par une enquête auprès des internes de la faculté de médecine de Mostaganem et des médecins généralistes de différentes régions du pays. L'objectif était d'identifier leurs difficultés et leurs besoins en matière d'interprétation de l'ECG afin de mieux cibler le problème et de proposer des actions adaptées.

Ensuite nous avons réalisé notre étude, qui était prospective, descriptive et comparative, randomisée en deux bras, ciblant les étudiants de 6<sup>ème</sup> année de médecine de la faculté de médecine de Mostaganem, sur deux promotions 2022-2023 et 2023-2024.

#### **3.8.1 Enquête auprès des internes en médecine de la faculté de médecine de Mostaganem**

Nous avons obtenu 108 réponses sur le questionnaire anonyme, mis en ligne en Mars 2023, hébergé par Google Forms. Ce questionnaire comportait dix questions permettant de préciser certaines caractéristiques :

Le sexe, le lieu d'affectation actuelle, la disponibilité ou non d'un électrocardiographe dans le service, la nécessité de réaliser et d'interpréter des ECG, la qualité de la formation initiale, le suivi d'une formation antérieure, la fréquence de réalisation des ECG, les motifs de réalisation d'un ECG, l'aptitude à l'interprétation des ECG, et l'intérêt pour une formation complémentaire.

##### **3.8.1.1 Profil de la population interrogée**

Notre population d'internes en médecine était majoritairement composée de femmes, avec 92 femmes correspondant à 85% et 16 hommes (15%) (la figure 110).

Nos internes interrogés étaient affectés dans différents services, 29 d'entre eux (27%) étaient affectés aux urgences médico-chirurgicales, 27 internes (25%) dans un service médical, 21 internes (19.5%) en gynécologie, 14 internes (13%) dans un service chirurgical, 10 internes (9%) en pédiatrie et 7 internes (6.5%) en réanimation (la Figure 111).

## PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION

### 3.8.1.2 Accès des internes à un électrocardiogramme

La figure 112 montre que 62 % de nos internes soit 67 internes, avaient accès à un électrocardiogramme au sein de leur service. L'étude de ED Dahbi.M réalisée en 2023 à la faculté de médecine de Marrakech, qui a colligé 205 internes en médecine, avait noté un taux de possession de l'électrocardiogramme plus élevé que le nôtre de l'ordre de 91%. [241]

La figure 113 stipule que le lieu d'affectation avait une influence statistiquement très significative sur la possession ou la réalisation d'un ECG, en tête de liste les UMC avec le taux de disponibilité le plus important, suivies par les services médicaux, puis les services chirurgicaux en quatrième position et la réanimation en dernier, contrairement au service de gynécologie qui avait le taux de réalisation de l'ECG le plus bas, et en dernier le service de pédiatrie qui ne disposait pas d'ECG.

La figure 114 montre que sur les 38 % de nos internes (41 internes) qui ne réalisaient pas d'ECG au sein de leurs services, les raisons de la non réalisation de cet examen étaient principalement : l'indication peu fréquente dans presque 41% des cas, l'absence d'intérêt diagnostique dans 22%, l'insuffisance en connaissances théoriques limitaient la réalisation d'un ECG dans 18.5%, 11% de nos internes préféraient envoyer leurs patients chez un cardiologue ou à un hôpital à proximité quand un ECG était nécessaire, en dernier le manque de temps était évoqué dans 7.5 % des réponses.

La rentabilité de l'acte et la responsabilité médicale engagée n'ont pas été évoquées par nos internes.

La figure 115 montre que le lieu d'affectation avait une influence très significative sur les raisons de la non réalisation des ECG, les indications peu fréquentes étaient l'unique raison citée en pédiatrie et représentaient la deuxième raison en gynécologie et en chirurgie.

L'absence d'intérêt diagnostique était la principale raison évoquée en gynécologie et dans les services médicaux.

L'insuffisance des connaissances théoriques était la principale raison en chirurgie, aux UMC et en réanimation, la troisième raison en gynécologie.

Quant à la proximité d'un hôpital ou d'un cardiologue, c'était la raison évoquée en troisième position en gynécologie.

En dernier, le manque de temps représentait la deuxième raison aux UMC et la cinquième et dernière raison en gynécologie.

### 3.8.1.3 Nécessité de réaliser des ECG

95 % de nos internes soit 103 internes étaient convaincus de la nécessité de réaliser et d'interpréter des ECG par eux-mêmes, au sein de leurs services, contre 5% soit 5 internes seulement qui pensaient que ce n'était pas le rôle de l'interne, c'est ce que montre la figure 116.

### 3.8.1.4 Formation initiale

La figure 117 stipule que 96 internes soit 89 % se sentaient insuffisamment formés à la lecture de l'ECG, contre 12 internes soit 11% qui étaient satisfaits de la formation initiale reçue.

La figure 118 montre que 70 de nos internes interrogés soit 65 % n'avaient jamais suivi une formation à l'interprétation de l'ECG en dehors de l'enseignement théorique du cursus, en sachant que le programme d'enseignement délivré aux étudiants en médecine au niveau de notre faculté comptait des cours d'anatomie cardiaque en première et deuxième années de la graduation , d'électrophysiologie cardiaque et la mise en place d'un électrocardiographe en deuxième année, l'électrocardiogramme normal et la sémiologie cardiovasculaire en troisième année, le module de cardiologie en quatrième année avec les principales pathologies cardiaques et leurs aspects électrocardiographiques et le module des urgences médico-chirurgicales en sixième année, avec principalement la prise en charge thérapeutique de ces pathologies.

La figure 119 stipule que sur les 35 % de nos internes (38 internes) qui avaient déjà suivis des formations antérieures, les différents types étaient :

Dans plus de 45 % des cas les internes avaient eu recours aux livres comme moyen d'autoformation pour améliorer leurs compétences en matière d'interprétation de l'ECG, suivis par les formations académiques dans 28.5 % des cas, les formations sur internet et les ateliers ne représentaient que 19 % et 7 % respectivement. Dans la littérature, l'étude de ED Dahbi.M avait noté également que le livre représentait le format de formation le plus utilisé mais avec un taux plus élevé qui est de 68.5%, suivi par le E-learning sous forme de sites web, groupes en lignes et vidéo sur internet dans 31.5% des cas [241].

Nos résultats étaient similaires à une étude de Gillespie et al, au Royaume Uni, qui avait inclus 57 médecins juniors, ces derniers étaient interrogés sur les types de formation qui ont suivi, les formations académiques représentaient 30 % tandis que 39 % de la population de l'étude n'avaient reçu aucune formation antérieure [242].

## **PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION**

### **3.8.1.5 Fréquence de réalisation de l'ECG**

En ce qui concerne la fréquence de réalisation des ECG, la figure 120 montre que 45 internes soit 42 % réalisaient rarement des ECG moins d'une fois par mois voir jamais, une fois par semaine en moyenne chez 24 internes (22 %), une fois par mois chez 24 internes (22 %) également, et seulement 15 internes soit 14 % réalisaient des ECG quotidiennement. L'étude marocaine de ED Dahbi.M avait estimé le nombre d'ECG vus ou faits pendant le stage hospitalier en cardiologie, en réanimation médicale ou aux UMC, les résultats montraient que 4.9 % des internes n'interprétaient pas des ECG, 35.6 % des étudiants voyaient moins de 5 ECG par jour, 58.5 % voyaient entre 5 à 10 ECG par jour, 0.5 % interprétaient entre 10 à 20 ECG par jour et 0.5 % voyaient plus de 20 ECG par jour, nous avons conclu que contrairement à notre enquête, l'exposition journalière aux ECG était plus importante dans cette étude [241].

Le lieu d'affectation avait une influence statistiquement très significative sur la fréquence de réalisation des ECG, comme le montre la figure 121.

L'ECG était pratiqué de façon quotidienne dans 3 services qui étaient par ordre décroissant : les services médicaux, les UMC et la réanimation.

Une fois par semaine en moyenne représentait la fréquence de réalisation de l'ECG en chirurgie principalement, aux UMC et les services médicaux.

L'ECG était fait mensuellement en moyenne aux UMC, en gynécologie et en pédiatrie.

L'ECG était pratiqué moins d'une fois par mois voir rarement, principalement en gynécologie et dans les services médicaux ensuite aux UMC et en pédiatrie, la réanimation venait en cinquième position et les services chirurgicaux en dernier.

Ces résultats discordants sont expliqués par l'existence de plusieurs services dans la même spécialité et la subjectivité de certaines réponses.

### **3.8.1.6 Restrictions à la pratique de l'ECG**

En ce qui concerne les 45 internes (42 %) qui ne réalisaient que rarement des ECG, la principale raison donnée par 75 % des internes interrogés était le manque de connaissances théoriques quant à l'indication et l'apport de cet examen, suivie dans 12.5 % des cas par le manque de temps et l'appareil obsolète, comme le montre la figure 122.

### 3.8.1.7 Contexte de réalisation

L'indication principale de la réalisation d'un ECG, citée dans 50 % des réponses était des précordialgies aiguës, en deuxième position venait la surveillance des troubles du rythme mais avec une fréquence plus basse de l'ordre de 10 %.

Les autres motifs comme les précordialgies chroniques, les palpitations aiguës et chroniques, le suivi d'un diabète ou d'une HTA, la dyspnée, un malaise ou une syncope, l'angoisse, à l'instauration d'un traitement et la délivrance d'un certificat de non contre-indication à une activité sportive, ne constituaient pas un motif fréquent de prescription de cet examen avec un pourcentage de l'ordre de 10 % .

A noter que l'anxiété ne constituait pas une raison pour réaliser un ECG, comme le montre la figure 123.

### 3.8.1.8 Aptitude à l'interprétation des ECG

La figure 124 montre que presque 80 % de nos internes interrogés (85 internes) ne se sentaient pas aptes à interpréter des ECG. Dans la littérature, nous avons trouvé un taux plus bas de l'ordre de 67 %, dans une étude descriptive transversale iranienne menée par Amini.K et al, qui avait porté sur 323 membres du personnel et étudiants de l'université des sciences médicales d'Ardabil, l'objectif principal de cette étude était d'évaluer les compétences en matière d'interprétation de l'électrocardiogramme et les facteurs associés [243].

### 3.8.1.9 Formation souhaitée

97 % des internes interrogés soit 105 internes, avaient exprimé leur intérêt à participer à une formation portant sur l'interprétation de l'ECG, contre 3 %, comme le montre la figure 125.

Quant au type de formation plébiscité, la figure 126 montre que dans 74 % des cas, les séminaires étaient le format de formation le plus demandé par les internes, suivi de livres dans 12 % des cas, 9 % souhaitaient utiliser des logiciels, et 5 % préféraient le E-learning.

En résumé, les 108 internes qui avaient répondu à ce sondage étaient majoritairement des femmes, affectés pour la plupart dans des services où l'ECG est un examen indispensable à leur pratique quotidienne, à savoir les urgences médico-chirurgicales ou un service médical.

## **PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION**

Plus de la moitié des internes avaient à leur disposition un électrocardiographe dans leurs services, et le lieu d'exercice avait influé sur la disponibilité de ce dernier avec les UMC en tête de liste.

38 % de nos internes ne réalisaient pas des ECG pour différentes raisons dont la principale restait l'indication peu fréquente de cet examen, particulièrement en pédiatrie attestant ainsi que le service d'affectation avait une influence très significative sur les raisons de la réalisation ou non de cet examen.

Plus de 95 % de nos internes affirmaient que l'interne doit réaliser et interpréter des ECG.

Le principal motif de réalisation de cet examen était de loin les douleurs thoraciques aiguës.

65 % de nos internes avaient déjà suivi une formation antérieure en dehors de leur formation académique universitaire et le livre constituait la principale source de formation.

Presque 80 % de nos internes ne se faisaient pas confiance pour interpréter un ECG.

42 % de nos internes ne réalisaient que rarement des ECG en raison de leurs connaissances théoriques insuffisantes.

La majeure partie de nos internes interrogés ne se sentait pas suffisamment formée à la lecture d'un ECG, et souhaitait participer à des formations sous forme de séminaires principalement.

### **3.8.2 Enquête nationale auprès des médecins généralistes**

67 médecins généralistes ont participé au sondage national par le biais de la SAMG (la Société Algérienne de Médecine Générale), le questionnaire anonyme, sous format papier a été remis au cours de congrès, journées, rencontres, ...

Cette enquête a été menée sur une période de quatre mois de Décembre 2022 à Mars 2023.

Le questionnaire comptait 11 questions similaires à celles destinées aux internes hormis une question additionnelle s'intéressant à l'âge du praticien et une précision concernant sa wilaya d'exercice.

Les données recueillies au cours de notre étude avaient permis de comparer nos résultats avec ceux de la littérature.

Nous avons noté une grande disparité des chiffres entre les études, en fonction de plusieurs facteurs dont le nombre de médecins généralistes interrogés, le pays ou la région d'exercice, la densité de la population, le mode d'exercice, ...

### 3.8.2.1 Caractéristiques de la population

La figure 127 montre que notre population de médecins généralistes interrogés était composée de 39 femmes soit 58 % et de 28 hommes soit 42 %.

Notre population avait un âge moyen de 44 ans  $\pm$  10.78 ans.

Le médecin généraliste le plus jeune avait 26 ans et le plus âgé avait 72 ans comme le montre le tableau I.

La figure 128 stipule que les moins de 45 ans, représentaient 55 % de l'ensemble de notre population soit 37 médecins généralistes, et les plus de 45 ans représentaient 45 % soit 30 médecins généralistes.

Le tableau II montre les lieux où exerçaient nos médecins généralistes : Les trois lieux les plus représentés étaient par ordre de fréquence décroissant : secteur privé dans 32.84 % des cas (22 médecins), EPSP dans 22.39 % (15 médecins) ,17.91 % au niveau de l'EPH (12 médecins), 10.45 % aux CHU (7 médecins), 8.96 % aux UMC (5 médecins), 2.99 % au niveau des DOU (2 médecins), 1 médecin à la CNAS (1.49 %), 1 médecin au CMS (1.49 %) et 1 médecin à la retraite (1.49 %).

18 wilayas sur les 58 étaient représentées au cours de ce sondage, les trois wilayas avec le plus grand taux de réponses étaient Mostaganem suivie par la wilaya de Médéa et Ain Témouchent en troisième position, les autres wilayas étaient : Adrar, Alger, Bechar, Blida, Constantine, Mascara, Oran, Ouargla, Relizane, Saida, SBA (Sidi Bel Abbes), Skikda, Tiaret, Tizi Ouzou et Tlemcen, comme le montre la figure 129.

### 3.8.2.2 Disponibilité de l'électrocardiographe

44 médecins généralistes possédaient un électrocardiographe sur leurs lieux de travail, représentant 66.15 %. (Figure 130). Dans la littérature, nous avons noté que le taux d'équipement en ECG variait selon les études entre 43 et 86 % , l'enquête de Thoreson.N en 2006 sur les facteurs limitant l'utilisation de l'ECG auprès de 36 médecins généralistes de Toulouse et de Tarn-et-Garonne avait noté un taux d'équipement de 57 % [244], ce taux était de 54.1 % dans l'enquête de Toullec-Petit.C aux Yvelines auprès de 100 médecins généralistes [245], l'enquête de Trinh Pechard.C portant sur « Intérêt et limite de l'électrocardiogramme en

## PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION

médecine de ville » en 2007 avait enregistré le taux de possession le plus élevé de l'ordre de 86% [246].

Trois études françaises ont obtenu un pourcentage d'environ 43 %, l'étude de Boucher.P en 2019 portant sur 227 médecins généralistes français avec comme objectif l'évaluation des compétences des médecins généralistes dans la lecture et l'interprétation d'un électrocardiogramme 12 dérivations [238], l'étude épidémiologique de Personne.S en 2022 portant sur l'étude des pratiques des médecins généralistes picards vis-à-vis de l'électrocardiogramme ayant inclus 121 médecins généralistes picards [239] et l'enquête de Morin.S en 2014, portant sur les indications actuelles et utilisation de l'électrocardiogramme en médecine générale et qui a colligé 109 médecins généralistes vosgiens [247].

L'étude de Chataing. F menée en 2011 sur le département de la haute Loire auprès de 140 médecins généralistes, s'intéressant à la place de l'électrocardiogramme en médecine générale, montrait un taux d'équipement en ECG de 77 % [248]

La figure 131 montre que sur les 23 médecins généralistes ne possédant pas d'électrocardiogramme soit 33.85 % de l'effectif total, Les raisons de la non réalisation de ce dernier étaient comme suit :

- 26 % avait déclaré qu'il n'y avait pas d'indication à la réalisation de cet ECG, nous rejoignons la littérature avec 27 % dans l'étude de Personne.S [239].
- 26 % envoyaient les patients chez un cardiologue à proximité, selon l'étude de Lombardi.L, en 2011, portant sur l'utilisation de l'électrocardiogramme par les médecins généralistes en milieu rural dans les départements de l'Aude, de l'Hérault et de la Seine-et-Marne ce taux est plus élevé de l'ordre de 67 % des cas [249].
- Dans 21 % des cas la cause était des connaissances théoriques insuffisantes, nous avons retrouvé un chiffre beaucoup plus élevé de 44 % dans la l'étude de Morin.S [247].
- Le coût d'acquisition de l'appareil représentaient un obstacle dans 15.79 % des cas, le chiffre retrouvé dans la littérature était plus élevé de 26 % dans l'étude de Morin.S [247], ainsi que l'étude de Rivaux.M, réalisée en 2011 auprès de 308 médecins généralistes d'Indre-Et-Loire et portant sur les facteurs d'influence de possession d'un électrocardiogramme en médecine générale [250].
- Dans 5.26 % la cause était le manque de temps, ce chiffre était beaucoup plus élevé de l'ordre de 24 % dans l'étude Morin. S [247].

Ce facteur était régulièrement retrouvé dans d'autres études, par exemple l'enquête de Thoreson.N [244] et le travail de Lehmann.P et al, portant sur l'équipement technique des cabinets des médecins praticiens vaudois et fribourgeois [251].

- Dans 5.26 % pour cause de responsabilité médicale engagée.

La figure 132 stipule que les médecins généralistes libéraux avaient le taux de disponibilité de l'électrocardiographe le plus élevé, environ 25 %. En comparaison avec une étude épidémiologique française menée en 2015 par Cretallaz.P, ayant comme objectif d'identifier les facteurs limitant l'équipement en électrocardiographe en médecine générale, et qui avait inclus 684 médecins généralistes libéraux, ces derniers avaient un taux d'équipement en électrocardiographe de 71.4 %, avec comme facteur limitant principal les connaissances théoriques insuffisantes à 68 %, venait ensuite l'aspect chronophage où le manque de temps limitant son utilisation dans 47 % des cas et la peur de poursuite judiciaire pour mal interprétation dans 44 % des cas. [252]

Ensuite venaient en deuxième position, les médecins exerçant dans les EPSP, puis l'EPH, les CHU et UMC venaient en quatrième position, les médecins travaillant à la CNAS n'en disposaient pas.

Mais le lieu d'exercice n'avait pas influé de façon statistiquement significative la possession d'un électrocardiographe comme le montre le tableau III.

### 3.8.2.3 Nécessité de réaliser des ECG

100 % de nos médecins généralistes interrogés soit les 67, avaient déclaré à l'unanimité qu'ils devaient réaliser et interpréter des ECG. Nous avons trouvé, dans l'étude de Morin.S, des chiffres différents avec 68.9 % seulement qui étaient convaincus que c'était au médecin généraliste que revenait le rôle de réaliser et d'interpréter des ECG [247].

### 3.8.2.4 Formation à l'ECG

68.18 % des médecins généralistes qui avaient participé à cette enquête soit 47 médecins se sentaient insuffisamment formés à la lecture de l'ECG, contre 31.82 % soit 20 médecins généralistes qui pensaient être bien formés, c'est ce qui est représenté par la figure 133. Dans la littérature, les résultats de l'étude de Morin.S étaient concordants avec les nôtres avec respectivement 66.1 % versus 33.9 % [247]

## **PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION**

La figure 134 montre que 33.30 % des médecins généralistes n'avaient jamais participé à une formation antérieure soit 20 médecins généralistes sur les 67. Nous avons trouvé un taux plus élevé de l'ordre de 44 % dans les travaux de Robin.C et al en 2019 dressant un état des lieux de la pratique de l'électrocardiogramme en médecine générale en 2019 en Picardie [253].

Contre 47 médecins généralistes qui avaient déjà suivi une formation antérieurement soit 69.70%.

Les formats qui avaient été les plus fréquemment utilisés pour les formations suivies antérieurement : les ateliers dans 35.80 % des cas, les séminaires dans 20.99 % des cas, les livres dans 18.52 %, les formations académiques dans 16.05 % et en dernier le E-learning dans 8.64 % des cas, comme le montre la figure 135.

La figure 136 montre qu'il n'y avait pas de supériorité d'une tranche d'âge par rapport à l'autre sur le fait d'avoir déjà suivi une formation antérieurement.

### **3.8.2.5 Fréquence de réalisation**

22 médecins généralistes interrogés soit 32.26 % réalisaient des ECG quotidiennement, 17 médecins soit 25.81 % une fois par semaine en moyenne et 9 médecins soit 12.90 % une fois par mois en moyenne, 19 d'entre eux rarement moins d'une fois par mois voir jamais soit 29.03 %, montré à la figure 137. Dans la littérature, nous avons trouvé deux études portant sur le nombre d'ECG réalisés par an, l'étude de Chambonet.JY et al, qui s'est intéressée à l'équipement et l'utilisation d'un appareil ECG en médecine générale en 1001 [254], et l'étude de Faune.L portant sur l'utilisation de l'électrocardiographe par les médecins généralistes français en 2011, la fréquence de réalisation était un peu moins d'un ECG par semaine [255].

### **3.8.2.6 Obstacles à la pratique de l'ECG**

La figure 138 montre qu'un médecin généraliste sur deux soit 50 % de l'effectif total avait déclaré que la cause principale de la non réalisation d'un ECG était le manque de connaissances théoriques quant à l'indication et l'apport de cet examen, ce chiffre était similaire à celui retrouvé dans trois études : l'enquête de Ottogalli.V en 2014, auprès de 100 médecins généralistes sur l'utilisation de l'ECG en médecine générale [256], l'enquête de Garrido. JF auprès des praticiens du Bas-Rhin en 2002, sur l'utilisation de l'électrocardiogramme en médecine générale [257], et l'étude de Varraud.JM, au département du Cantal en 2022 portant sur les moteurs et les freins à l'utilisation de l'électrocardiogramme en médecine générale [258].

Le manque de temps était cité dans 25 % des cas ainsi que la possession d'un appareil obsolète, nous avons trouvé des chiffres plus bas de l'ordre de 12.2 % pour ces deux motifs, dans l'étude transversale de Philippe.T, qui avait inclus, en 2017, 106 médecins généralistes et 11 cardiologues et dont l'objectif était de décrire la pratique de l'ECG par les médecins généralistes et d'en déterminer les facteurs limitants et favorisants [259].

### 3.8.2.7 Contexte de réalisation

La figure 139 montre les circonstances de réalisation des ECG, et qui étaient variées : les motifs aigus étaient les plus cités dans plus de 10 % des cas : palpitations aiguës, précordialgies aiguës et malaises/syncopes, nous rejoignons la littérature où le premier motif était la douleur thoracique dans trois études françaises, l'étude rétrospective descriptive de Barbu.E, en 2019 portant sur les indications de la réalisation d'un ECG en médecine générale [260].

Celle de Angenault.X, en 2017, sur les facteurs influençant la réalisation de l'électrocardiogramme 12 dérivations en consultation de médecine générale [261], et l'étude de Ducrot.P, en 2014, portant sur 211 médecins généralistes de l'Arrageois et dont l'objectif était de déterminer les indications, l'interprétation et la conduite lors de l'utilisation de l'électrocardiogramme en médecine générale [262].

Dans 9 % des cas c'était pour des précordialgies chroniques et la dyspnée, contrairement à l'étude de de Varraud. JM, où la dyspnée était citée dans plus de 55 % des cas [258].

Dans 8 % des cas la surveillance des troubles du rythme et le bilan de l'HTA, contre 49 % dans la littérature [258]. Dans notre enquête les autres motifs avaient des pourcentages inférieurs à 7 % à savoir la surveillance du diabète, la délivrance d'un certificat d'aptitude à la pratique d'une activité sportive, l'anxiété et l'angoisse, et à l'instauration d'une thérapeutique, cette dernière représentait un motif de réalisation d'un ECG dans 35 % des cas dans les travaux de Milhorn.HT et al, ayant examiné 416 ECG réalisés sur une période de deux ans dans le département de médecine de l'université du Mississippi [263].

D'autres indications ont été citées telles que : épigastralgies, vomissements, vertiges, suspicion d'un œdème aigu pulmonaire, bilan préopératoire et systématiquement pour tout patient hospitalisé.

Dans la littérature, les deux motifs les plus cités, dans l'étude de Personne.S étaient la dyspnée dans 55 % des cas et les troubles ioniques dans 48 % des cas [239].

## **PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION**

A titre d'exemple, une étude française de Fosse-Edorh.S dont l'objectif était de dresser un bilan du suivi des examens recommandés dans le cadre de la surveillance du diabète en France en 2013, montrait que seulement un patient diabétique sur trois bénéficiait d'un ECG annuel [264].

Dans la littérature, les travaux de Carré.R et al en 2009 [265], l'étude italienne de Maron.BJ en 2009 [266], ainsi que l'HAS en 2018 [267] avaient conclu que la réalisation d'un ECG était systématique pour la pratique de sport, et qu'une anomalie était observée dans 21 % des cas selon l'étude de Lehel.A en 2015, portant sur l'exercice de la médecine avec et sans électrocardiogramme [268].

### **3.8.2.8 Aptitude à l'interprétation**

La figure 140 stipule que 36 médecins généralistes soit 53.33 % se sentaient fiables lors de l'interprétation d'un ECG versus 31 médecins soit 46.67 %. Dans la littérature, l'enquête de Pupin.E et al en 2019 auprès des internes en médecine générale avait trouvé des résultats similaires aux nôtres avec 50.8 % qui se sentaient fiables contre 49.2 % [269].

Par tranches d'âge : 62 % des plus de 45 ans se sentaient autonomes contre 36 % des moins de 45 ans, et 64 % des moins de 45 ans ne se sentaient pas fiables pour interpréter un ECG, en effet les plus de 45 ans se sentaient plus confiants pour interpréter des ECG avec une différence statistiquement significative, montré à la figure 141 et au tableau IV.

### **3.8.2.9 Intérêt pour une Formation**

L'ensemble des médecins généralistes (100 %) était favorable pour participer à des formations sur l'interprétation de l'ECG. Dans l'étude de Morin.S, ce chiffre était plus bas de l'ordre de 63.3 % [247].

La figure 142 stipule que 30 médecins généralistes (45.45 %) avaient exprimé le souhait de participer à des formations sous forme de séminaires, 22 médecins (33.33 %) sous forme de logiciels d'apprentissage, 7 médecins (11.11 %) préféraient le E-learning et 6 médecins (10.10 %) sous forme de livres. Dans la littérature, les études de Cretallaz.P et Angenault, stipulaient que les modes de formation attirants étaient d'avantages traditionnels avec par ordre de fréquence décroissant les séminaires, les groupes de pairs, puis E-learning et enfin les diplômes universitaires [252].

En résumé, les 67 médecins généralistes qui avaient répondu à ce sondage venaient de différentes régions de l'Algérie, le sex-ratio était proche de 1, avec un âge moyen de 44 ans et des extrêmes allant de 26 ans à 72 ans, exerçant dans différentes structures étatiques et privées.

33.85 % d'entre eux ne réalisaient pas des ECG pour différentes raisons dont la principale restait la non indication de cet examen et la proximité d'un hôpital ou d'un cardiologue.

Les médecins généralistes exerçant en privé avaient le taux de possession de l'électrocardiographe le plus élevé mais sans influence statistiquement significative du lieu d'exercice sur cette possession.

Tous les médecins généralistes interrogés affirmaient qu'ils devaient réaliser et interpréter des ECG.

Les motifs de réalisation de cet examen étaient divers.

69.70 % de nos médecins avaient déjà suivi une formation antérieure en dehors de leur formation académique traditionnelle et les ateliers constituaient la principale source de formation.

53.33 % de nos médecins ne se faisaient pas confiance pour interpréter un ECG et majoritairement les moins de 45 ans.

29.03 % ne réalisaient que rarement des ECG en raison de leurs connaissances théoriques insuffisantes dans un cas sur deux.

La moitié de nos médecins interrogés ne se sentaient pas suffisamment formés à la lecture d'un ECG, principalement les moins de 45 ans et souhaitaient participer à des formations sous forme de séminaires ou de logiciels principalement.

En somme, les internes et médecins généralistes en dépit des années d'expériences qui les séparent, avaient en commun :

- La rareté de l'indication de cet examen.
- Les connaissances théoriques insuffisantes.
- La nécessité de réaliser et d'interpréter les ECG, faisant pleinement partie de leurs prérogatives.
- Le sentiment d'être insuffisamment formés.
- La non fiabilité lors de l'interprétation.
- Le déficit en formation initiale, découlant naturellement une demande grandissante et une appétence pour d'avantage de formations à la lecture de l'ECG.

## PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION

- Les séminaires représentaient le format le plus demandé.

Nous avons souligné les différences suivantes :

- Les médecins généralistes se sentaient plus confiants quant à leur capacité à interpréter les ECG que les internes en médecine.
- Les médecins généralistes avaient suivi beaucoup plus de formations que les internes ce qui nous paraissait logique vue la différence d'âge et les années d'expérience cumulées.
- Les livres étaient la principale source d'auto-formation chez les internes, contrairement aux médecins généralistes qui suivaient beaucoup plus des ateliers.
- La fréquence de réalisation d'un ECG était supérieure chez les médecins généralistes.
- Les circonstances de la demande de cet examen étaient beaucoup plus variées chez les médecins généralistes contrairement aux internes qui le prescrivaient de façon ponctuelle en situation aiguë, principalement en cas de précordialgies aiguës.

En faisant une revue de la littérature, nous avons remarqué que la quasi-totalité des études avait souligné le rôle primordial de la télétransmission comme un moyen permettant d'obtenir l'aide du spécialiste et par conséquent l'amélioration de la pratique [270, 271].

Le dispositif MELIGUA utilisé en Guadeloupe avait permis une amélioration de la prise en charge des maladies cardiovasculaires [272, 273]. De même que le télé-ECG via une ligne téléphonique démontrant l'intérêt en termes d'aide à l'interprétation de l'ECG de cette méthode [274].

La téléexpertise est pratiquée officieusement, nos praticiens sollicitaient l'avis d'un confrère spécialiste en cas de doute diagnostique pour les aider dans les cas d'interprétation difficile ou pour une meilleure prise en charge, mais le problème majeur de cette pratique est l'absence à l'heure actuelle d'outil officiel pour encadrer cette collaboration et sécuriser les données partagées du patient.

### 3.8.3 Étude randomisée concernant les étudiants de la 6<sup>ème</sup> année de médecine

Notre étude est prospective, descriptive, comparative et randomisée en deux bras et a colligé 92 étudiants de 6<sup>ème</sup> année de médecine répartis en deux groupes A et B avec les effectifs respectifs de 43 et 49 étudiants.

Dans cette partie nous allons discuter les résultats :

- En intragroupe : nous allons comparer les scores en fonction des évaluations afin de voir l'évolution et la progression des étudiants en passant d'une évaluation à une autre.
- En intergroupe : nous allons comparer les deux groupes A et B en fonction des différentes évaluations pour tester l'efficacité de la randomisation dans un premier temps puis la supériorité de l'application sur la formation en faveur de l'autonomie de l'application ou la supériorité de la formation comme étape indispensable à l'acquisition de la compétence de l'interprétation de l'ECG, puis nous finirons par une comparaison des deux groupes à la fin de l'étude pour déterminer le meilleur parcours d'apprentissage par rapport à la succession par ordre de la formation puis l'utilisation de l'application et vice versa.

#### 3.8.3.1 La randomisation

La randomisation des 92 étudiants de la 6<sup>ème</sup> année de médecine en deux groupes A et B qui comptaient 43 et 49 étudiants respectivement, s'est déroulée en deux périodes : Avril 2023 et en Mai 2024, et avant le début de l'étude.

##### 3.8.3.1.1 La répartition selon le sexe des deux groupes

La figure 143 montre que le sexe masculin représentait 17.40 % de l'effectif total, soit 16 hommes, répartis sur les deux groupes comme suit : groupe A : 7 hommes représentant 7.61% et groupe B : 9 hommes soit 9.78 %.

Le sexe féminin représentait 82.60 % de l'effectif total, soit 76 femmes, réparties sur les deux groupes comme suit : groupe A : comptait 36 femmes représentant 39 % et groupe B comptait 40 femmes soit 43.60 %.

Il existait une nette prédominance féminine dans les deux groupes, avec des proportions égales d'hommes ou de femmes entre les deux groupes confirmant le caractère aléatoire et homogène de la randomisation.

## **PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION**

### **3.8.3.1.2 Comparaison des scores entre les deux groupes lors de l'évaluation 1**

Le tableau V montre que le groupe A, était composé de 43 étudiants, avec une moyenne de  $11.40 \pm 3.787$ . Le groupe B comptait 49 étudiants, avec une moyenne de  $10.18 \pm 4.526$ .

La figure 144 montre une égalité des deux variances et des deux moyennes entre les deux groupes A et B et l'absence de différence significative entre eux confirmant le caractère aléatoire de la randomisation.

Nous avons conclu à l'absence de supériorité d'un groupe par rapport à l'autre à l'inclusion de l'étude.

### **3.8.3.1.3 Concernant le groupe A**

Pour rappel, le groupe A comptait 43 étudiants, après l'évaluation 1 (pré-test) commune aux deux groupes A et B, nous avons procédé à l'évaluation 2 en utilisant l'application comme aide ou support, sans formation au préalable, ensuite nous avons entamé le programme d'apprentissage sur 7 séances et à l'issue de cette formation, nous avons procédé à l'évaluation 3 (post-formation).

#### **○ Comparaison des scores entre l'évaluation 1 et l'évaluation 2**

Le tableau VI stipule que les 43 étudiants du groupe A avaient une moyenne de  $11.40 \pm 3.787$  lors de l'évaluation 1.

Lors de l'évaluation 2 la moyenne était passée à  $15.00 \pm 3.395$ .

La différence des scores moyens était de 3.6 points ;  $ddl = 42$  ;  $p < 0.001$ .

Les résultats avaient mis en évidence une différence statistiquement très significative entre les deux évaluations en faveur de l'évaluation 2.

Ce qui nous a permis de conclure que l'utilisation de l'application lors de l'interprétation des ECG sans aucune formation au préalable améliorait de façon statistiquement très significative le niveau de compétences de nos étudiants à l'interprétation de l'ECG.

#### **○ Comparaison des scores entre l'évaluation 2 et l'évaluation 3**

Le tableau VII montre que le score moyen des 43 étudiants du groupe A était passé de  $15.00 \pm 3.395$  lors de l'évaluation 1 à  $17.12 \pm 3.868$  lors de l'évaluation 3.

Une augmentation du score moyen de 2.12 points avec  $ddl = 42$  ;  $p = 0.001$ .

La différence entre les deux évaluations 2 et 3 restait statistiquement significative en faveur de l'évaluation 3.

Nous avons tiré comme conclusion que les étudiants continuaient à améliorer davantage leurs performances en suivant la formation.

### ○ Comparaison des scores entre l'évaluation 1 et l'évaluation 3

Lors de l'évaluation 3, la moyenne était passée de  $11.40 \pm 3.787$  lors de l'évaluation 1 à  $17.12$  de moyenne  $\pm 3.868$ .

Un gain de score moyen de 5.72 points avec  $ddl = 42$  ;  $p < 0.001$ .

Ce résultat avait mis en évidence une différence statistiquement très significative entre les deux évaluations en faveur de l'évaluation 3.

Nous avons conclu que la formation améliorait de façon très significative le niveau de compétences des étudiants à l'interprétation de l'ECG, c'est ce que montre le tableau VIII.

#### 3.8.3.1.4 Concernant le groupe B

Le groupe B comptait 49 étudiants, après l'évaluation 1 (pré-test) commune aux deux groupes A et B, nous avons procédé à une formation faite de 7 séances d'apprentissage à l'interprétation de l'ECG en utilisant le logiciel d'apprentissage, suivie de l'évaluation 2 post-formation, puis l'évaluation 3 en utilisant l'application comme aide ou support.

### ○ Comparaison des scores entre l'évaluation 1 et l'évaluation 2

Le tableau IX montre que lors de l'évaluation 1, la moyenne était de  $10.18 \pm 4.526$ .

A l'évaluation 2 la moyenne était passée à  $15.33 \pm 4.413$ .

La différence des scores moyens était de 5.15 points ;  $ddl = 48$  ;  $p < 0.001$ .

Les résultats avaient mis en évidence une différence statistiquement très significative entre les deux évaluations en faveur de l'évaluation 2.

Ce qui nous a permis de conclure que la formation à l'interprétation de l'ECG améliorait de façon très significative le niveau de compétences de nos étudiants.

### ○ Comparaison des scores entre l'évaluation 2 et l'évaluation 3

La moyenne était passée de  $15.33 \pm 4.413$  lors de l'évaluation 2 à  $16.69 \pm 2.917$  à l'évaluation 3.

Une augmentation modeste du score moyen de 1.36 points avec  $ddl = 48$  ;  $p = 0.038$ .

Ce résultat avait mis en évidence une différence qui reste statistiquement significative entre les deux évaluations en faveur de l'évaluation 3.

## PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION

Nous avons conclu que les étudiants continuaient à améliorer, de façon significative, leur niveau de compétences en utilisant l'application même en ayant suivi une formation au préalable, c'est ce que résume le tableau X.

### ○ Comparaison des scores entre l'évaluation 1 et l'évaluation 3

Le tableau XI montre que le score moyen des 49 étudiants du groupe B était passé de  $10.18 \pm 4.526$  lors de l'évaluation 1 à  $16.69 \pm 2.917$  lors de l'évaluation 3.

Une augmentation du score moyen de 6.51 points avec  $ddl = 48$  ;  $p < 0.001$ .

La différence entre les deux évaluations 1 et 3 était statistiquement très significative en faveur de l'évaluation 3.

Nous avons tiré comme conclusion que les étudiants avaient amélioré leurs performances de façon très significative statistiquement en fin de parcours après la formation et en s'aidant de l'application pour une interprétation optimale de l'ECG.

En résumé, la figure 145 montre que les deux groupes A et B avaient amélioré leurs scores de façon très significative, graduellement au fil des évaluations 2 puis 3 par rapport à l'évaluation 1 initiale.

### ▪ Concernant les évaluations avec l'utilisation de l'application

Le tableau XII et la figure 146 montrent la comparaison entre les deux groupes A et B lors de l'évaluation en utilisant l'application, les 43 étudiants du groupe A avaient un score moyen de  $15.00 \pm 3.395$  lors de l'évaluation 2.

Les 49 étudiants du groupe B avaient un score moyen de  $16.69 \pm 2.917$  lors de l'évaluation 3.

La différence entre les deux groupes était statistiquement significative en faveur du groupe B qui avait bénéficié, à ce stade, en plus de l'utilisation de l'application d'une formation, contrairement au groupe A, faisant conclure qu'il existait un effet synergique et complémentaire des deux méthodes d'apprentissage employées.

### ▪ Concernant les évaluations post-formation

Le tableau XIII et la figure 147 montrent la comparaison des deux groupes A et B lors de l'évaluation post-formation. Les 49 étudiants du groupe B avaient un score moyen de  $15.33 \pm 3.686$  lors de l'évaluation 2.

Les 43 étudiants du groupe A avaient un score moyen de  $17.12 \pm 4.413$  lors de l'évaluation 3.

La différence entre les deux groupes était statistiquement significative en faveur du groupe A, qui avait bénéficié en plus de la formation, de l'utilisation de l'application antérieurement, d'où la conclusion d'un effet synergique et complémentaire des deux parcours pour une meilleure interprétation de l'ECG.

### ▪ **Concernant l'effectif total sans distinction de groupes**

Le tableau XIV montre les scores moyens, les écarts types, les bornes inférieures et supérieures des 92 étudiants au cours des 3 évaluations.

#### ○ **Comparaison des scores entre l'évaluation 1 et l'évaluation 2**

Le tableau XV montre la supériorité statistiquement très significative des scores moyens lors de l'évaluation 2 par rapport à l'évaluation 1 sans distinction de groupes, nous permettant de conclure à l'efficacité des deux parcours, l'utilisation de l'application dans le groupe A et la formation dans le groupe B, avec l'absence de supériorité d'un parcours par rapport à l'autre.

#### ○ **Comparaison des scores entre l'évaluation 2 et l'évaluation 3**

Le tableau XVI montre une différence statistiquement très significative des scores moyens entre les deux évaluations 2 et 3.

Nous avons conclu à la supériorité statistiquement très significative des scores moyens lors de l'évaluation 3, et que la formation apportait une réelle amélioration du niveau de compétences des étudiants.

#### ○ **Comparaison des scores entre l'évaluation 1 et l'évaluation 3**

Le tableau XVII montre la supériorité statistiquement très significative des scores moyens lors de l'évaluation 3 par rapport à l'évaluation 1, sans distinction de groupes, nous permettant de conclure à l'efficacité des deux parcours quel que soit l'ordre dans lequel ils s'enchaînaient, l'utilisation de l'application puis la formation ou vice versa.

La figure 148 résume les 3 comparaisons que nous venons de décrire, sans distinction de groupes, nous permettant de conclure que :

Lors de l'évaluation 2 nous avons noté une amélioration statistiquement très significative des scores quel que soit le parcours de l'étudiant, l'utilisation de l'application ou la formation.

## **PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION**

Lors de l'évaluation 3, les étudiants continuaient à améliorer leurs scores de façon très significative statistiquement.

### **▪ Comparaison des scores entre les deux groupes lors de l'évaluation 2**

La figure 149 nous montre qu'il n'existait pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes A (ayant utilisé l'application) et le groupe B (ayant suivi la formation)

Nous avons tiré comme conclusion que l'utilisation de l'application seule sans formation au préalable était aussi efficace que la formation, en d'autres termes l'application était autonome sans formation au préalable, permettant un gain de temps considérable de 21 heures de formation.

### **▪ Comparaison des scores entre les deux groupes lors de l'évaluation 3**

La figure 150 nous montre qu'il n'existait pas de différence significative entre les deux groupes A (ayant bénéficié d'une formation) et le groupe B (ayant utilisé l'application).

Nous avons noté qu'il n'y avait aucune supériorité d'un bras par rapport à l'autre en fin de parcours, nous permettant de conclure qu'il n'existait pas un enchaînement ou un ordre à privilégier par rapport à un autre.

### **Au terme de cette étude, nous avons conclu que : Figure 150**

- La randomisation au hasard nous avait permis d'obtenir deux groupes A et B homogènes, condition sine qua none pour le bon déroulement de l'étude.
- Les deux groupes A et B avaient le même niveau à l'inclusion démontré par l'évaluation 1 et la répartition par rapport au sexe des étudiants.
- La formation avait offert une amélioration statistiquement très significative des performances des étudiants lors de l'interprétation de l'ECG.
- L'application seule sans formation au préalable était autonome et avait permis d'améliorer de façon très significative les résultats des étudiants, en peu de temps.
- Les étudiants continuaient à améliorer leur score à l'issue de la troisième évaluation que ce soit l'utilisation de l'application pour le groupe B ou la formation pour le groupe A.
- Pour un résultat optimal, les deux formats application et logiciel d'apprentissage étaient synergiques et complémentaires mais sans ordre ou hiérarchie à suivre.

**Un questionnaire de satisfaction** a été administré aux étudiants de 6<sup>ème</sup> année à la fin de l'évaluation avec l'utilisation de l'application, comportant trois items à évaluer : l'interface, la maniabilité et l'utilité de l'application avec la possibilité de répondre par : non satisfaisant, peu satisfaisant, satisfaisant et très satisfaisant.

Nous avons noté une satisfaction globale chez tous les étudiants :

- ⇒ Interface : très satisfaisant.
- ⇒ Maniabilité : satisfaisant.
- ⇒ Utilité : satisfaisant.

Nous avons demandé aux étudiants de laisser des commentaires libres s'ils souhaitaient.

Seulement 3 étudiants nous ont répondu :

*« Je trouve que c'est une très belle initiative de votre part, concernant l'application j'ai trouvé une difficulté à l'utiliser mais elle est bien faite et riche en informations ».*

*« Merci énormément pour vos efforts, ça facilite déjà sacrément la tâche, avec un peu de pratique et de temps on va s'habituer à l'utiliser, l'idéal serait de commencer par une validation de chaque partie de l'ECG jusqu'au diagnostic final ».*

*« Pour les diagnostics des BAV et des anomalies de l'onde T, l'application ne m'a pas beaucoup aidé ».*

## **PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION**

### **3.8.4 FORCES ET LIMITES DE L'ETUDE**

#### **3.8.4.1 Forces de l'étude**

Les forces de notre travail résident dans l'originalité de ce sujet n'ayant jamais été traité en Algérie à notre connaissance.

Notre travail s'inscrit dans l'ère de cette décennie, puisque plusieurs travaux ont été réalisés dans ce domaine.

En effet, des études se sont intéressées au traitement du signal permettant d'élaborer des classificateurs à base de réseaux [275, 276].

D'autres études utilisent l'intelligence artificielle afin d'améliorer l'interprétation automatique intégrée aux électrocardiographes, avec par rapport à une interprétation conventionnelle, cette interprétation assistée par ordinateur des ECG permet de réduire le temps du médecin en moyenne de 28 % et améliore de manière significative la concordance de l'interprétation du médecin avec la référence de l'expert, sans augmenter le taux de faux positifs [277, 278, 279, 280].

L'évaluation et la validation des logiciels étaient réalisées avec 21 tracés à interpréter par l'étudiant, ce chiffre est supérieur à celui utilisé dans la littérature. En effet la majorité des études avait utilisé 16 tracés au maximum or que de nombreuses pathologies comme les tachycardies jonctionnelles ou les troubles ioniques manquaient dans les diagnostics proposés [238].

#### **3.8.4.2 Limites de l'étude**

- La puissance de notre enquête auprès des médecins généralistes aurait pu être augmentée par un meilleur taux de réponse et une représentativité de toutes les wilayas. Le questionnaire trop long, était l'explication probable à ce constat. Une étude nationale permettrait d'obtenir des données statistiquement significatives apportant des preuves formelles.
- Nous avons trouvé très peu d'enquêtes concernant la pratique des étudiants en médecine concernant ce sujet.
- Concernant la population de l'étude, nous avons eu un taux d'absentéisme entravant l'étude et nous avons été obligé de poursuivre la randomisation. L'explication probable

## PARTIE PRATIQUE : DISCUSSION

était le nombre important de séances d'apprentissage (21 heures) qui été proposé pour des étudiants qui suivent le programme de la 6<sup>ème</sup> année, qualifié de dense et chargé.

- Le manque d'études sur la question que nous avons abordé, nous a limité lors de la discussion de nos résultats [281, 282].
- Notre projet est confronté à des problèmes de diffusion, de pérennisation et de développement, en effet actuellement notre application n'est disponible que sur Androïde.



## 4 CONCLUSIONS

L'électrocardiogramme est un examen incontournable et déterminant dans le diagnostic et la prise en charge des pathologies cardiaques.

La lecture et l'interprétation de cet examen nécessitent un niveau de connaissance théorique et pratique chez le praticien. Elles sont qualifiées de difficile dans la littérature.

Dans le cadre de notre travail de thèse, nous avons conçu et développé un outil numérique d'aide au diagnostic et à l'apprentissage de l'interprétation de l'ECG pour les professionnels de la santé.

Notre travail s'est déroulé en deux étapes. Dans la première, nous avons réalisé une évaluation des difficultés et des insuffisances rencontrées par les praticiens par la réalisation d'un audit auprès des internes de la faculté de médecine de Mostaganem et des médecins généralistes au niveau national grâce à la contribution de la Société Algérienne de Médecine Générale.

Dans la deuxième étape et à la lumière des résultats de l'audit, Nous avons conçu deux supports numériques, l'un permettant l'interprétation de l'ECG « **MED ECG 2022** » et le deuxième son apprentissage. Nous avons procédé à une étude prospective et randomisée. Notre cohorte était divisée en deux groupes, A et B. Le premier groupe utilisant initialement le logiciel d'interprétation et le deuxième le support d'apprentissage à l'ECG.

Les résultats de notre étude ont montré concernant le groupe A, que l'utilisation de l'application lors de l'interprétation des ECG sans aucune formation au préalable améliorait de façon statistiquement significative le niveau de compétences de nos étudiants dans un délai court.

Dans le groupe B, le logiciel d'apprentissage a permis une amélioration des aptitudes des étudiants avec une différence significative.

Ces résultats ont montré clairement que les deux outils conçus ont permis une amélioration des performances des étudiants dans l'interprétation de l'ECG.

L'application seule sans formation au préalable est autonome et permet d'améliorer de façon significative le niveau d'interprétation des utilisateurs en peu de temps, pouvant se substituer à une formation académique traditionnelle.

Nous avons procédé à une dernière étape où le groupe A, a utilisé le logiciel d'apprentissage et le groupe B, le logiciel d'interprétation.

Les résultats obtenus soulignent clairement que les deux groupes ont acquis les mêmes compétences par l'utilisation combinée des deux outils.

Ainsi, afin d'obtenir un résultat optimal, la meilleure formule pédagogique pour acquérir ou améliorer les compétences en matière de lecture et d'interprétation de l'ECG, est la formation couplée à l'utilisation de l'application qui sont complémentaires.

Ce travail ouvre de nouvelles perspectives autant dans l'apprentissage que l'interprétation de l'ECG dans notre pays.

## 5 PERSPECTIVES

L'objectif de notre travail était de montrer l'intérêt de la conception de logiciels en sciences médicales pour permettre une amélioration de la pratique non seulement de l'ECG mais d'autres procédés techniques ou de raisonnement :

- Le perfectionnement de la formation, avec utilisation de ressources pédagogiques variées et innovantes comme : l'apprentissage par raisonnement clinique, par compétences, par problème ou par simulation et l'utilisation du logiciel conçu et développé dans cette thèse.
- L'intégration du logiciel d'interprétation de l'ECG dans la prise en charge des pathologies cardiovasculaires par les praticiens au niveau du CHU de Mostaganem.
- La définition d'un enseignement spécifique de l'ECG grâce au logiciel apprentissage intégré au module de cardiologie en quatrième année des sciences médicales.
- L'inclusion d'heures de pratique de l'ECG avec un encadrement spécifique des externes et internes pendant les stages hospitaliers. Ces séances seront suivies d'évaluations formatives et/ou sommatives régulières pour mesurer la progression des étudiants en matière d'interprétation de l'ECG.
- Le développement de la télémédecine avec une facilité d'avis ou de relecture par un spécialiste en cas de doute sur l'interprétation.
- La diffusion et la pérennisation de nos deux logiciels, de l'interprétation et de l'apprentissage au niveau local et régional.
- La conception de mises à jour régulières avec une veille bibliographique scientifique mais aussi professionnelle permettant de s'assurer que l'information présentée reste actualisée.
- L'élargissement de l'utilisation de l'application par son installation sur IOS, permettant d'élargir le nombre d'utilisateurs et sa disponibilité et promouvoir sa diffusion.
- Le rajout et le développement de l'application en intégrant l'intelligence artificielle afin d'améliorer ses performances.
- La réalisation d'autres évaluations pour déterminer le degré de la rétention des étudiants dans le temps de l'apprentissage prodigué.
- L'obtention de la labellisation de l'application. Cette procédure est en cours, nous avons présenté notre projet aux deux ministres : le ministre de l'enseignement supérieur : M.

## PERSPECTIVES

Kamel Beddari et le ministre de l'économie de la connaissance, des Starts-Up et des micro-entreprises : M. Yacine El mahdi Oualid, lors de leur visite à la faculté de médecine de Mostaganem le 09 Novembre 2023. (Figure 151).



**Figure 151 : Photo prise lors de la présentation  
de l'application lors de la visite ministérielle  
Faculté de médecine de Mostaganem  
9 Novembre 2023**

# ANNEXES



## ANNEXE 1

## Questionnaire destiné aux internes en médecine

1. Vous êtes :

- Homme
- Femme

2. Ou êtes-vous affectés actuellement ?

- Les urgences
- Service médical
- Service chirurgical
- Service de réanimation
- Service de pédiatrie
- Service de gynécologie-obstétrique

3. Possédez-vous un électrocardiographe dans le service ?

- Oui
- Non

Si non :

- Manque de temps
- Rentabilité de l'acte insuffisante
- Connaissances théoriques insuffisantes
- Indications peu fréquentes
- Absence d'intérêt diagnostique
- Mise en jeu de la responsabilité médicale
- Cardiologue ou hôpital à proximité
- Autre (merci de préciser) : .....

4. Pensez-vous que l'interne doit réaliser et interpréter des ECG ?

- Oui
- Non

5. Pensez-vous être suffisamment formé à la lecture des ECG ?

- Oui
- Non

6. Avez-vous déjà suivi une formation ?

- Non
- Oui

⇒ Si oui, sous quelle forme :

- Formation académique
- Atelier
- Séminaire
- Livres
- E-learning

- Autres (merci de préciser):.....

7. A quelle fréquence réalisez-vous des ECG ?

- Un par jour
- Un par semaine
- Un par mois
- Moins d'un par an
- Jamais

⇒ Si jamais, pourquoi ?

- Appareil obsolète
- Manque de temps
- Connaissances théoriques insuffisantes
- Autre : .....

8. Dans quelles circonstances les réalisez-vous ?

- Précordialgie chronique
- Précordialgie aiguë
- Surveillance des troubles du rythme
- Suivi d'une HTA
- Suivi d'un diabète
- Palpitations aiguës
- Palpitations chroniques
- Certificat de non contre-indication à la pratique sportive
- Dyspnée
- Malaise/syncope
- Inauguration d'un traitement/surveillance
- Angoisse/anxiété (pour « rassurer »)
- Autre (préciser) : .....

9. Vous sentez-vous fiable pour les interpréter ?

- Oui
- Non

10. Seriez-vous intéressé par une formation complémentaire à la lecture de l'ECG ?

- Oui
- Non

➤ Si oui sous quelle forme ?

- Séminaire de formation.
- Livret d'aide à l'interprétation
- E-learning (apprentissage par internet)
- Logiciel d'aide à l'interprétation
- Autre (merci de préciser) : .....

## ANNEXE 2

## Questionnaire destiné aux médecins généralistes

1. Vous êtes :
  - Homme
  - Femme
  
2. Quel est votre âge ?  
.....
  
3. Ou exercez-vous ?
  - Les urgences
  - Le CHU
  - L'EPSP
  - Cabinet médical
 Wilaya :
  
4. Possédez-vous un électrocardiographe ?
  - Oui
  - Non
 Si non :
  - Manque de temps
  - Coût d'acquisition
  - Rentabilité de l'acte insuffisante
  - Connaissances théoriques insuffisantes
  - Indications peu fréquentes
  - Absence d'intérêt diagnostic
  - Mise en jeu de la responsabilité médicale
  - Cardiologue ou hôpital à proximité
  - Autre (merci de préciser) : .....
  
5. Pensez-vous que le médecin généraliste doit réaliser des ECG ?
  - Oui
  - Non
  
6. Pensez-vous être suffisamment formé à la lecture des ECG ?
  - Oui
  - Non
  
7. Avez-vous déjà suivi une formation ?
  - Non
  - Oui
 ⇒ Si oui, sous quelle forme :
  - Formation académique
  - Atelier
  - Séminaire
  - Livres
  - E-learning
  - Autres (merci de préciser) : .....

## ANNEXES

8. A quelle fréquence réalisez-vous des ECG ?

- Un par jour
- Un par semaine
- Un par mois
- Moins d'un par an
- Jamais

Si jamais, pourquoi ?

- Appareil obsolète
- Manque de temps
- Connaissances théoriques insuffisantes
- Autre : .....

9. Dans quelles circonstances les réalisez-vous ?

- Précordialgie chronique
- Précordialgie aiguë
- Surveillance des troubles du rythme
- Suivi d'une HTA
- Suivi d'un diabète
- Palpitations aiguës
- Palpitations chroniques
- Certificat de non contre-indication à la pratique sportive
- Dyspnée
- Malaise/syncope
- Inauguration d'un traitement/surveillance
- Angoisse/anxiété (pour « rassurer »)
- Autre (préciser) : .....

10. Vous sentez-vous fiable pour les interpréter ?

- Oui
- Non

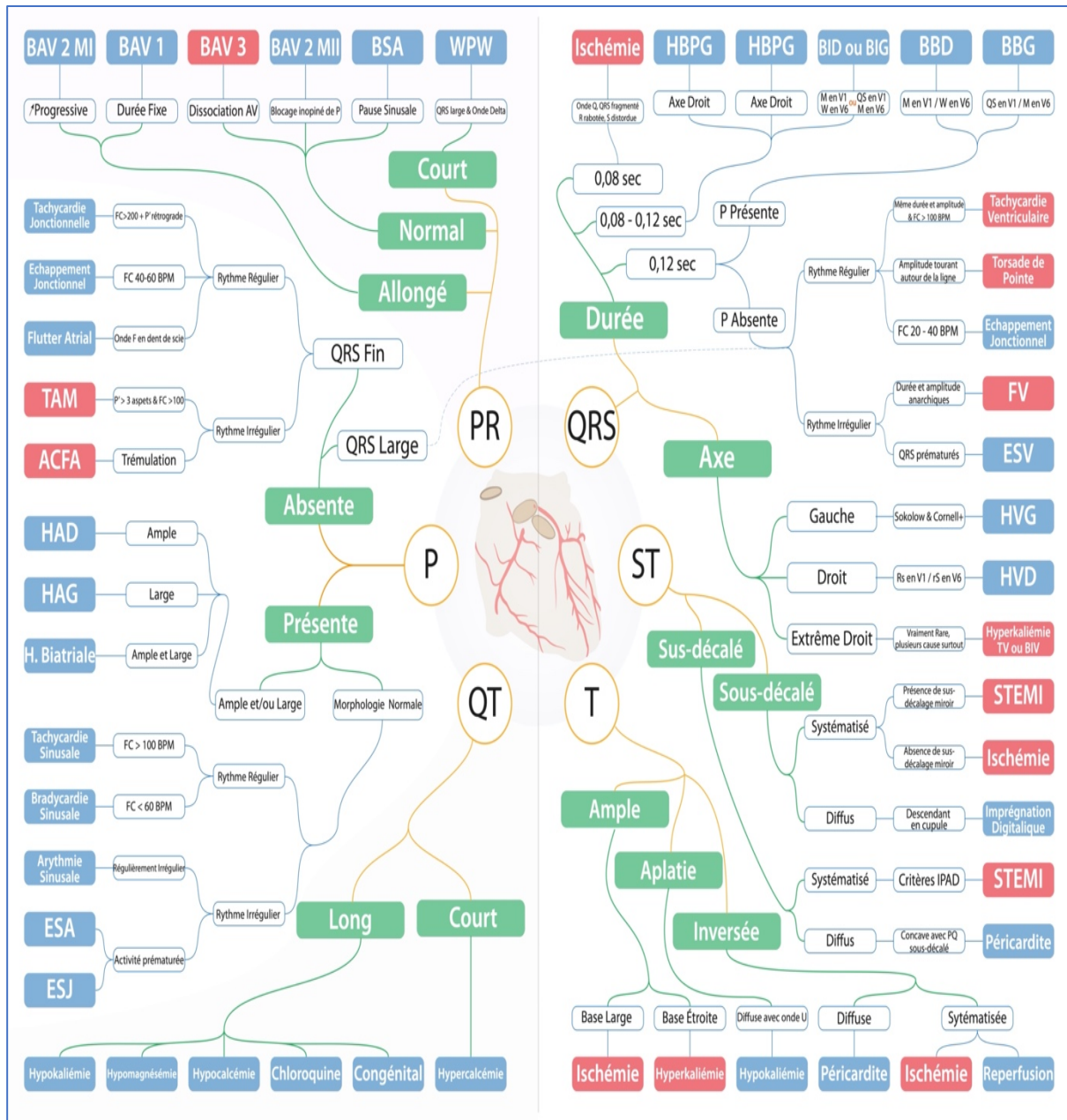
11. Seriez-vous intéressé par une formation complémentaire à la lecture de l'ECG pour les médecins généralistes ?

- Oui
- Non

➤ Si oui sous quelle forme ?

- Séminaire de formation.
- Livret d'aide à l'interprétation
- E-learning (apprentissage par internet)
- Logiciel d'aide à l'interprétation
- Autre (merci de préciser) : .....

ANNEXE 3 : MIND MAP



## ANNEXE 4 : Programme de la formation (Session 2023)

UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM  
FACULTE DE MEDECINE DE MOSTAGANEM  
CENTRE DE SIMULATION DE MOSTAGANEM

**LECTURE ET INTERPRÉTATION DE L'ECG**

Dr N. BOUZIANI

MAITRE ASSISTANTE EN MÉDECINE INTERNE – CHU MOSTAGANEM

DATE	INTITULÉ
LUNDI 16/04/2023	Pré-test
JEUDI 27/04/2023	<p>Généralités</p> <p>Mise en place :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Savoir positionner les électrodes frontales et précordiales</li> <li>• Savoir définir les dérivations unipolaires, bipolaires et précordiales</li> <li>• Savoir déterminer les territoires</li> </ul> <p>Interprétation générale :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Savoir valider un ECG</li> <li>• Savoir déterminer l'axe du cœur, la fréquence cardiaque, le rythme sinusal et sa régularité</li> </ul> <p>Interprétation spécifique :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Savoir interpréter : une onde P, l'espace PR, le complexe QRS, le segment ST, l'onde T / U et l'intervalle QT</li> </ul> <p>Savoir détecter une inversion des électrodes ou une dextrocardie</p>
	<p>Les hypertrophies :</p> <p>Savoir repérer les signes électriques évocateurs d'une hypertrophie de l'oreillette droite, gauche, ventricule droit et gauche</p>
DIMANCHE 30/04/2023	<p>Les troubles de la conduction :</p> <p>Poser le diagnostic électrique d'un bloc sino-auriculaire, Bloc auriculo-ventriculaire, un syndrome de WPW, un pacemaker et les blocs de branches</p> <p>Séance de consolidation : révision</p>
JEUDI 04/05/2023	<p>Les troubles du rythme :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poser le diagnostic électrique d'une bradycardie sinusale, une arythmie sinusale, une extrasystole auriculaire/ventriculaire, une fibrillation atriale/ventriculaire, un flutter atrial, une torsade de pointe</li> <li>• Savoir différencier une tachycardie sinusale/atriale/jonctionnelle/ventriculaire</li> </ul> <p>Séance de consolidation : révision</p>
LUNDI 08/05/2023	<p>Les syndromes coronariens aigus :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Savoir poser le diagnostic positif électrique d'un SCA ST+ et ST-</li> </ul>
JEUDI 11/05/2023	<p>DIVERS : savoir évoquer les diagnostics :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Péricardites</li> <li>• Dyskaliémies</li> <li>• Intoxication médicamenteuse</li> <li>• Syndrome de BRUGADA</li> </ul>
LUNDI 15/05/2023	<p style="text-align: center;">REVISION GÉNÉRALE</p> <p style="text-align: center;">POST-TEST</p>

## ANNEXE 5 : Programme de la formation (Session 2024)

UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM FACULTE DE MEDECINE DE MOSTAGANEM CENTRE DE SIMULATION DE MOSTAGANEM	
<b>LECTURE ET INTERPRÉTATION DE L'ECG</b>	
Dr N. BOUZIANI MAITRE ASSISTANTE EN MÉDECINE INTERNE – CHU MOSTAGANEM	
DATE	INTITULE
DIMANCHE 19/05/2024	Pré-test
LUNDI 20/05/2024	Généralités Mise en place : <ul style="list-style-type: none"> <li>Savoir positionner les électrodes frontales et précordiales</li> <li>Savoir définir les dérivations unipolaires, bipolaires et précordiales</li> <li>Savoir déterminer les territoires</li> </ul> Interprétation générale : <ul style="list-style-type: none"> <li>Savoir valider un ECG</li> <li>Savoir déterminer l'axe du cœur, la fréquence cardiaque, le rythme sinusal et sa régularité</li> </ul> Interprétation spécifique : <ul style="list-style-type: none"> <li>Savoir interpréter : une onde P, l'espace PR, le complexe QRS, le segment ST, l'onde T / U et l'intervalle QT</li> </ul> Savoir détecter une inversion des électrodes ou une dextrocardie
	Les hypertrophies : Savoir repérer les signes électriques évocateurs d'une hypertrophie de l'oreillette droite, gauche, ventricule droit et gauche
MERCREDI 22/05/2024	Les troubles de la conduction : Poser le diagnostic électrique d'un bloc sino-auriculaire, Bloc auriculo-ventriculaire, un syndrome de WPW, un pacemaker et les blocs de branches
	Séance de consolidation : révision
LUNDI 27/05/2024	Les troubles du rythme : <ul style="list-style-type: none"> <li>Poser le diagnostic électrique d'une bradycardie sinusale, une arythmie sinusale, une extrasystole auriculaire/ventriculaire, une fibrillation atriale/ventriculaire, un flutter atrial, une torsade de pointe</li> <li>Savoir différencier une tachycardie sinusale/atriale/jonctionnelle/ ventriculaire</li> </ul>
	Séance de consolidation : révision
MERCREDI 29/05/2024	Les syndromes coronariens aigus : <ul style="list-style-type: none"> <li>Savoir poser le diagnostic positif électrique d'un SCA ST+ et ST-</li> </ul>
LUNDI 03/06/2024	DIVERS : savoir évoquer les diagnostics : <ul style="list-style-type: none"> <li>Péricardites</li> <li>Dyskaliémies</li> <li>Intoxication médicamenteuse</li> <li>Hypothermie</li> <li>Syndrome de BRUGADA</li> </ul>
	RÉVISION GÉNÉRALE
MERCREDI 05/06/2024	POST-TEST



**RÉSUMÉ/ ABSTRACT/  
الملخص**



**Titre : Conception et validation d'un outil numérique d'aide au diagnostic et d'apprentissage de l'interprétation de l'électrocardiogramme chez les professionnels de santé en situation d'urgence.**

## RÉSUMÉ

### INTRODUCTION

Le diagnostic et la prise en charge précoces des maladies cardiovasculaires sont devenus un enjeu et un objectif de santé publique dans le monde. L'ECG est aujourd'hui, un examen central et obligatoire en situation d'urgence. Il a l'avantage d'être facile à réaliser mais son interprétation a toujours été qualifiée de difficile par les praticiens.

Ce travail a pour objectif d'évaluer l'intérêt et l'impact d'un logiciel avec version mobile, « MED ECG 2022 », d'aide à l'apprentissage et l'interprétation de l'électrocardiogramme pour les praticiens exerçant en situation d'urgence.

### MÉTHODES

Dans un premier temps, nous avons réalisé une enquête nationale auprès d'internes en médecine et de médecins généralistes ce qui a permis de pointer du doigt les défaillances et les difficultés intergénérationnelles rencontrées lors de la lecture et de l'interprétation de l'ECG.

Dans un deuxième temps nous avons entamé notre étude, qui est prospective, descriptive et comparative, randomisée en deux bras ; elle a colligé 92 étudiants de 6<sup>ème</sup> année de médecine de la faculté de médecine de Mostaganem, sur deux promotions 2022-2023 et 2023-2024.

Après la randomisation en deux groupes A et B avec leurs effectifs respectifs de 43 et 49 étudiants, nous avons procédé à une évaluation initiale commune aux deux groupes.

Le groupe A avait bénéficié d'une deuxième évaluation avec l'utilisation de l'application puis un programme de formation d'apprentissage à l'interprétation de l'ECG via le logiciel et a fini par une dernière évaluation post-formation.

Le groupe B avait bénéficié du programme d'apprentissage à l'interprétation de l'ECG, suivi d'une évaluation post-formation et une dernière évaluation avec l'utilisation de l'application.

Nous avons réalisé des analyses statistiques en intragroupes et en intergroupes pour comparer leurs scores au fil des différentes évaluations.

### RÉSULTATS

Les deux groupes A et B avaient le même niveau à l'inclusion. La formation avait offert une amélioration statistiquement très significative des performances des étudiants lors de l'interprétation de l'ECG :  $p < 0.001$ . L'application seule sans formation au préalable était autonome et avait permis d'améliorer de façon très significative les résultats des étudiants avec un  $p < 0.001$  en peu de temps. Les étudiants continuaient à améliorer leur score à l'issue de la troisième évaluation que ce soit l'utilisation de l'application pour le groupe B ou la formation pour le groupe A.

Pour un résultat optimal, les deux formats application et logiciel d'apprentissage étaient complémentaires sans ordre ou hiérarchie à suivre.

### CONCLUSION

MED ECG 2022 semble un outil pédagogique efficace pour l'amélioration des compétences et des performances des étudiants en matière d'interprétation de l'ECG.

Ce mode d'apprentissage est original et très peu chronophage.

**Mots clés :** *Électrocardiogramme, Enquête, Application, Logiciel d'apprentissage, Formation médicale.*



**Title: Design and validation of a digital tool to aid diagnosis and teach electrocardiogram interpretation to healthcare professionals in emergency situations.**

## **ABSTRACT**

### **INTRODUCTION**

Early diagnosis and management of cardiovascular disease have become a major public health challenge and objective worldwide. Today, the ECG is a central and compulsory examination in emergency situations. It has the advantage of being easy to perform, but its interpretation has always been described as difficult by practitioners.

The aim of this study is to assess the interest and impact of a mobile version of MED ECG 2022, a software package designed to help emergency practitioners learn and interpret the electrocardiogram.

### **METHODS**

Firstly, we carried out a nationwide survey of medical interns and general practitioners, which highlighted the inter-generational shortcomings and difficulties encountered when reading and interpreting the ECG.

In a second phase, we began our study, which was prospective, descriptive and comparative, randomized into two arms; it enrolled 92 6th-year medical students from the Mostaganem Faculty of Medicine, over two classes 2022-2023 and 2023-2024.

After randomization into two groups A and B with their respective numbers of 43 and 49 students, we carried out an initial assessment common to both groups.

Group A benefited from a second evaluation with use of the application, followed by a training program to learn how to interpret ECGs using the software, and ended with a final post-training evaluation.

Group B had benefited from the ECG interpretation training program, followed by a post-training evaluation and a final evaluation with use of the application.

Intra-group and inter-group statistical analyses were carried out to compare scores across the different assessments.

### **RESULTS**

Both groups A and B had the same level at inclusion. The training offered a statistically highly significant improvement in students' ECG interpretation performance:  $p < 0.001$ . The application alone, without prior training, was self-contained and delivered a highly significant improvement in students' scores:  $p < 0.001$ . Students continued to improve their scores at the end of the third assessment, whether using the application for Group B or the training for Group A.

For optimal results, the two formats of application and learning software were complementary, with no order or hierarchy to be followed.

### **CONCLUSION**

MED ECG 2022 appears to be an effective teaching tool for improving students' skills and performance in ECG interpretation.

This learning method is original and takes very little time.

***Key words: Electrocardiogram, Survey, Application, Learning software, Medical training.***



**العنوان:** تصميم أداة رقمية للمساعدة في التشخيص والتحقق من صحتها وتعليم أخصائي الرعاية الصحية كيفية تفسير تخطيط القلب في حالات الطوارئ

## الملخص

### المقدمة

لقد أصبح التشخيص المبكر لأمراض القلب والأوعية الدموية ومعالجتها في وقت مبكر تحديًا وهدفًا رئيسيًا للصحة العمومية في جميع أنحاء العالم. أصبح تخطيط القلب الآن فحصًا أساسيًا وإجباريًا في حالات الطوارئ. يتميز هذا الفحص بسهولة إجرائه، ولكن لطالما وصف الممارسون تفسيره بأنه صعب. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم مدى فائدة وتأثير النسخة المحمولة من برنامج

### « MED ECG 2022 »

لمساعدة ممارسي الطوارئ على تعلم كيفية تفسير مخطط القلب

### الطريقة

أولاً، أجرينا دراسة استقصائية وطنية للأطباء المتدربين والممارسين العامين، مما مكننا من تحديد أوجه القصور والصعوبات بين الأجيال التي واجهناها عند قراءة وتفسير تخطيط القلب الكهربائي. ثانياً: بدأنا دراستنا التي كانت استشرافية وصفية ومقارنة، وتم تقسيمها عشوائيًا إلى مجموعتين؛ حيث تم تسجيل 92 طالبًا في السنة السادسة بكلية الطب بمستغانم على مدى فصلين دراسيين، 2023-2022 و 2024-2023. بعد تقسيمهم عشوائيًا إلى مجموعتين أ و ب، بعدد 43 و 49 طالبًا، أجرينا تقييمًا أوليًا مشتركًا لكلا المجموعتين. تلقت المجموعة (أ) تقييمًا ثانيًا باستخدام التطبيق، تلاه برنامج تدريبي لتعلم كيفية تفسير تخطيط القلب باستخدام البرنامج، وانتهى بتقييم نهائي بعد التدريب. وتلقت المجموعة (ب) برنامجًا تدريبيًا لتفسير تخطيط القلب، تلاه تقييم ما بعد التدريب وتقييم نهائي باستخدام التطبيق. أجريت تحليلات إحصائية داخل المجموعة وبين المجموعتين لمقارنة درجاتهم عبر التقييمات المختلفة

### النتائج

كانت كلتا المجموعتين (أ) و (ب) بنفس المستوى عند الإدراج. قدم التدريب تحسنًا ملحوظًا من الناحية الإحصائية في أداء الطلاب في كان التطبيق وحده، دون تدريب مسبق، مستقلاً وأدى إلى تحسن كبير للغاية في  $p < 0.001$ : تفسير تخطيط القلب الكهربائي للقلب استمر الطلاب في تحسين نتائجهم في نهاية التقييم الثالث، سواء باستخدام التطبيق للمجموعة (ب).  $p < 0.001$  نتائج الطلاب بنسبة (أ) أو التدريب للمجموعة (أ)

للحصول على أفضل النتائج، كان شكلا التطبيق والبرامج التعليمية متكاملين، دون وجود ترتيب أو تسلسل هرمي يجب اتباعه

### الخلاصة

### « MED ECG 2022 » يبدو أن

أداة تعليمية فعالة لتحسين مهارات الطلاب وأدائهم في تفسير تخطيط القلب الكهربائي هذه الطريقة التعليمية أصلية وتستغرق وقتًا قصيرًا جدًا

**الكلمات الرئيسية:** تخطيط القلب، استبيان، تطبيق، برنامج تعليمي، تدريب طبي



# **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**



## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. European Health for All database (HFA-DB) [En ligne]; OMS Europe; 2024; Demographic and socio-economic indicators [modifié le 18 oct 2024; cité le 10 Nov 2024]. Disponible sur: [www.gateway.euro.who.int/en/datasets/european-health-for-all-database/Mortality-based-indicators](http://www.gateway.euro.who.int/en/datasets/european-health-for-all-database/Mortality-based-indicators).
2. Direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques [En ligne]; 2004 ; Les consultations et visites des médecins généralistes. [Cité le 1 Nov 2024]. Disponible sur: [www.drees.solidarités-santé.gouv.fr](http://www.drees.solidarités-santé.gouv.fr)
3. Eckmann M. Création et évaluation d'une formation à l'électrocardiogramme en médecine générale ; 2017 ; Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. hal-01932281. [Modifié le 23 Nov 2018 ; cité le 10 Nov 2024]. Disponible sur [www.docnum.univ-lorraine.fr](http://www.docnum.univ-lorraine.fr).
4. Yagi R, Mori Y, Goto S, et al. Routine Electrocardiogram Screening and Cardiovascular Disease Events in Adults. *JAMA Intern Med.* 2024 ;184(9) :1035-1044. Doi :10.1001/jamainternmed.2024.2270.
5. OMS. [En ligne]. Genève ; 2014 ; Rapport sur la situation mondiale des maladies non transmissibles 2014. [Cité le 14 Nov 2024]. Disponible sur : [www.who.int/ncd](http://www.who.int/ncd)
6. Aufderheide T, Hendley G, Thakur R. The diagnostic impact of prehospital 12-lead electrocardiography. *Ann emerg Med.* Nov 1990;19 (11): 1280-7.
7. Committee Members, Kadish AH, Buxton AE, Kennedy HL, Knight BP, Mason JW, et al. ACC/AHA Clinical Competence Statement on Electrocardiography and Ambulatory Electrocardiography. 2001 Dec ;38(7): 2091-100.doi: 10.1016/s0735-1097(01)01680-1.
8. Program Requirements for Graduate Medical Education in Internal Medicine. Chicago: American medical Association. *Intern Med.* 2002;86-101.
9. Snellen H. A. Willem Einthoven (1860-1927) Father of electrocardiography. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; Book 1995.
10. Sende J. « Physiologie ECG : histoire de l'ECG » [En ligne] [cité le 18 Nov 2024]. Disponible sur : [www.ednes.com/ecg\\_ex/phistoire.htm](http://www.ednes.com/ecg_ex/phistoire.htm).
11. Besterman E. Creese R. « Waller-pionnier of electrocardiography », [En ligne], *British Heart Journal*, 1979, 42 :61-64. [Cité le 18 Nov 2024] disponible sur : < <http://heart.bmj.com/content/42/1/61.full.pdf> >.
12. Smulyan, H. The computerized ECG: friend and foe. *Am J Med*, 2019, 132 (2), 153-160.
13. Brisk, R., Bond, R., Finlay, D., McLaughlin, J., Piadlo, A., Leslie, S.J. et al. The effect of confounding data features on a deep learning algorithm to predict complete coronary occlusion in a retrospective observational setting. *Eur Heart J - Digital Health*, 2021, 2 (1), 127-134.
14. Giudicessi, J.R., Schram, M., Bos, J.M., Galloway, C.D., Shreibati, J.B., Johnson, P.W. et al. Artificial intelligence-enabled assessment of the heart rate corrected qt interval using a mobile electrocardiogram device. *Circulation*, 2021, 143 (13), 1274-1286.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

15. Scavée C. Rappels des principes fondamentaux en électrocardiographie. *Louvain Med* 2018 ; 137 (5) : 314-324.
16. Dubin D. Lecture accélérée de l'ECG (6ème édition). Éditions MALOINE 370p. (2007). Mise à jour 2022. Pages 1, 3, 5.
17. Électrocardiographie [En ligne] [cité le 19 Nov 2024]. Disponible sur : [www.ottawaheart.ca/fr/examen-intervention/electrocardiographie](http://www.ottawaheart.ca/fr/examen-intervention/electrocardiographie).
18. Houghton A R, Gray D, Jan F. Maîtriser l'ECG De la théorie à la clinique 3ème édition Elsevier Masson 09/2011 274 ISBN: 9782294711602, EISBN: 9782294717895.
19. Chapelon-Abrie. Électrocardiogramme normal de l'adulte normal electrocardiogram in adult [En ligne] [cité le 20 Nov 2024]. Disponible sur : [www.sciencedirect.com/journal/emc-cardiologie-angiologie](http://www.sciencedirect.com/journal/emc-cardiologie-angiologie) Volume 1, Issue 1, February 2004, Pages 2-10.
20. Marijon E, Sharifzadehgan A. Comprendre l'ECG Lecture - Interprétation - Pratique - Cas cliniques Elsevier Masson 110p 05/2020.
21. Pellerin D. Électrocardiogramme normal EMC CARDIOLOGIE 1996. [11-003-F-30].
22. Gouy M. Journal de physique J. Phys. Theor. Appl. Volume 3, Numéro1, 1984.
23. The-medical-and-scientific-library-of-w-bruce-fye. 11 march 2019. New York.
24. Arora N, Mishra B. Origins of ECG and Evolution of Automated DSP Techniques: A Review March 2021.
25. Bourg C, Leclercq C. Histoire de la cardiologie. Cardio-online. Le Journal du CCF N° 20.
26. Einthoven W. 1912. The different forms of the human electrocardiogram and their signification. *The Lancet*, 179(4622), pp.853-861.
27. AlGhatrif M, and Lindsay J. A brief review: history to understand fundamentals of electrocardiography. *Journal of community hospital internal medicine perspectives*, 2(1), p.14383. 2012.
28. Hu Y.H, Palreddy, S. and Tompkins, W.J. A patient-adaptable ECG beat classifier using a mixture of experts approach. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 44(9), pp.891-900. 1997.
29. Pourbabaee B, Roshtkhari M.J and Khorasani K. Deep convolutional neural networks and learning ECG features for screening paroxysmal atrial fibrillation patients. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics : Systems*, 48(12), pp.2095-2104. 2018.
30. Taboulet P. ECG. Intelligence artificielle ; 8 juin 2024 ; [En ligne] [cité le 20 Nov 2024]. Disponible sur [www.e-cardiogram.com](http://www.e-cardiogram.com).
31. Jacopin S. "Anatomie du cœur. 2006. Page 9.
32. Vasković J, « A section of the heart showing its three layers ». November 03, 2023. Page 10.
33. Katz A. M. *Physiology of the Heart*. Lippincott Williams & Wilkins, 576 p. 9 Nov. 2010.

34. Mouhaoui M, Ammouri Z. ECG critique aux urgences 1ere édition.120p .2020.
35. McKinley et Michael, Anatomie et physiologie : une approche intégrée, Maloine, 2014.
36. Madhero88, “Conduction system of the heart.” Wikimedia Commons) [En ligne] ; 2010 [cité le 23 Nov 2024]. Disponible sur: [www.commonswiki.org/wiki/File:Conduction system of the heart.png](http://www.commonswiki.org/wiki/File:Conduction_system_of_the_heart.png).
37. Schuster H.P, Trappe H.J. L’ECG sans peine. Médecine-Sciences Flammarion 2004. 324p. pages 34,39,45.
38. Almange C, Fouët X A, Aumont M C et al. « Cardiologie vasculaire ». [En ligne] ; [modifié en 2009 ; cité le 23 Nov 2024]. Disponible sur : [www.medix.free.fr/sim/cardiologie-vasculaire.php](http://www.medix.free.fr/sim/cardiologie-vasculaire.php).
39. Boutillier B. “Innervation cardiaque” [En ligne] ; 2010 [cité le 25 Nov 2024]. Disponible sur: [www.anatomie-humaine.com/Innervation-cardiaque.html](http://www.anatomie-humaine.com/Innervation-cardiaque.html).
40. Lin J, Scherlag B, Zhou J,et al . “Autonomic mechanism to explain complex fractionated atrial electrograms (cfae),” *Journal of cardiovascular electrophysiology*, vol. 18, no. 11, pp. 1197–1205, 2007.
41. Schauerte P, Scherlag B, Patterson E et al. “Focal atrial fibrillation: experimental evidence for a pathophysiologic J Cardiovasc Electrophysiol; 2001 May 07; 12(5):592-9. PubMed ID : 11386522.
42. Armour J, Murphy D, Yuan B et al. “Gross and microscopic anatomy of the human intrinsic cardiac nervous system,” *The Anatomical Record*, vol. 247, no. 2, pp. 289–298, 1999.
43. Edwards W D. « The cardiovascular system, chapter 12, the heart » [En ligne]; 2010 [cité le 25 Nov 2024]. 2010; Handbook of Autopsy Practice. Humana Press, Totowa, NJ. Disponible sur: [www.doi.org/10.1007/978-1-59259-286-9\\_3](http://www.doi.org/10.1007/978-1-59259-286-9_3).
44. Garcier J M, Trogrlic S , Boyer L et al .Anatomie du cœur et des artères coronaires Anatomy of the heart and coronary arteries Science Direct Journal de Radiologie Volume 85, Issue 10, Part 2, October 2004.
45. Mervoyer E. Bases de la cardiologie Campus Sémiologie Cardiologique 2010-2011 UMVF Université Médicale Virtuelle Francophone.
46. Babuty D. Argibay J. Hatem S. Électrophysiologie cardiaque - 02/09/08 EMC CARDIOLOGIE [11-003-A-10] - Doi : 10.1016/S1166-4568(08)47035-3
47. Électrocardiogramme : Indications et interprétations SFC société française de cardiologie chapitre 15 - item 231.
48. Marijon E. Sharifzadehgan A. Comprendre l’ECG. France éditions Elsevier Masson SAS, 110p (2020).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

49. Moubarak G, Lacotte J, Leenhardt A. Électrocardiogramme : indications et interprétations. La Revue du praticien Publié le 20 Septembre 2018. 68(7) ; e289-299.
50. My EKG. Le site web de l'électrocardiogramme. [En ligne] ; 2017-2024 [cité le 27 Nov 2024]. Disponible sur: [www.fr.my-ekg.com](http://www.fr.my-ekg.com) .
51. Jason Winter ECG Educator 2022 [En ligne] ; 2022 [cité le 28 Nov 2024]. Disponible sur : [www.google.com/ecg-educator.blogspot.com](http://www.google.com/ecg-educator.blogspot.com).
52. Taboulet P. ECG d'A à Z. Paris Éditions MALOINE, 304 p. 2009.
53. Médecine cardiovasculaire, Électrocardiogramme : indications et interprétations. Item 231. Les Référentiels des Collèges, CNEC, SFC, 2<sup>e</sup> édition, Elsevier Masson 2022.
54. Frank G, Yanowitz, M D. Introduction to ECG interpretation. [En ligne] ; January 2023 [cité le 29 Nov 2024]. Disponible sur [www.google.com/ecg.utah.edu/pdf/Introduction-to-ECG-Interpretation-January-2023](http://www.google.com/ecg.utah.edu/pdf/Introduction-to-ECG-Interpretation-January-2023).
55. Wikipedia. Sinus Rythm Labels [En ligne] [cité le 30 Nov 2024]. Disponible sur [www.en.wikipedia.org/wiki/File:Sinus Rhythm Labels. Svg](http://www.en.wikipedia.org/wiki/File:Sinus_Rhythm_Labels.Svg)".
56. Yanowitz F G. "The Alan E. Lindsay ECG tutorial V6.0", University of Utah School of Medicine; July 2007.
57. Dassier P. L'ECG normal [En ligne] ; 2006 ; [cité le 1 Déc 2024]. Disponible sur [www.sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/L\\_ECG\\_normal.pdf](http://www.sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/L_ECG_normal.pdf) . HEGP 2006.
58. Rowlands D J. Comprendre l'électrocardiogramme une nouvelle méthode 1<sup>ère</sup> partie : L'ECG normal. Edition ciPharma, 102p. (1981).
59. Michael-Gibson C. WikiDoc Diagram shows different types of QRS shapes. [Cité le 1 Déc 2024]. Disponible sur : [www.wikidoc.org/index.php](http://www.wikidoc.org/index.php).
60. Hans –Holger Ebert. Guide de l'ECG. Paris, Éditions MALOINE, 138 p 2003.
61. Lellouche N, Abehsira G. ECG EN POCHE ; 3<sup>ème</sup> Édition, Paris Éditions : MED-LINE, 245p. 2020.
62. Shutterstock. [En ligne] [cité le 2 Déc 2024]. Disponible sur : [www.shutterstock.com/fr/image-illustration/on-ecg-u-wave](http://www.shutterstock.com/fr/image-illustration/on-ecg-u-wave).
63. Cardiocases. [En ligne] [cité le 2 Déc 2024]. Disponible sur : [www.cardiocases.com](http://www.cardiocases.com) U-wave.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

64. Shah D et Braillard O. Intervalle QT : mesure et interprétation pour le médecin de premier recours Hôpitaux universitaires de Genève [En ligne] [cité le 3 Déc 2024]. Disponible sur : [www.hug.ch/sites/interhug/files/structures/medecine\\_communautaire\\_de\\_premier\\_recours\\_et\\_des\\_urgences/](http://www.hug.ch/sites/interhug/files/structures/medecine_communautaire_de_premier_recours_et_des_urgences/)
65. Ouali S, BenSalem H, Gribaa R, et al . L'intervalle QT : standardisation, limites et interpretation The QT interval : Standardization, limits and interpretation Science Direct. [En ligne] [cité le 3 Déc 2024]. Disponible sur : [www.sciencedirect.com/journal/Annales-de-cardiologie-et-dangeiologie/vol/61/issue/1](http://www.sciencedirect.com/journal/Annales-de-cardiologie-et-dangeiologie/vol/61/issue/1).
66. Goy J J, Christeler P. Schläpfer J, et al. ECG book. Chronologie de l'activation électrique cardiaque [En ligne];2006 ; [cité le 3 Déc 2024]. Disponible sur : [www.cardio-fr.com/fr/p/book/01-notions-elementaires/05-chronologie-activation/](http://www.cardio-fr.com/fr/p/book/01-notions-elementaires/05-chronologie-activation/)
67. Prineas R, Crow R, Blackburn H. The Minnesota Code Manual of Electrocardiographic Findings. [En ligne] [cité le 4 Déc 2024]. Disponible sur John Wright-PSG, Inc. Littleton, MA, June 1982. Disponible sur : [www. download.e-bookshelf.de/download/](http://www.download.e-bookshelf.de/download/)
68. Prineas R J, Crow R S, Zhu-Ming Zhang. The Minnesota Code Manual of Electrocardiographic Findings [En ligne] [cité le 5 Déc 2024]; Springer London; 26 October 2009. Disponible sur [www.link.springer.com/content/pdf/](http://www.link.springer.com/content/pdf/)
69. Macfarlane P W, Shahid L. Automated serial ECG comparison based on the Minnesota code Journal of Electrocardiology Volume 29, Supplement 1, 1996, Pages 29-34.
70. Minnesota ECG Coding. University of Minnesota School Of Public Health. [En ligne] [cité le 6 Déc 2024]. Disponible sur [www.sph.umn.edu/site/docs/content/](http://www.sph.umn.edu/site/docs/content/)
71. Hancock E W , Deal B J, Mirvis D M, et al. Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram Part V: Electrocardiogram Changes Associated With Cardiac Chamber Hypertrophy: A Scientific Statement From the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society: Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology Circulation. 2009;119: e251–e261
72. Cardiac Wellness; Electrocardiogram ECGs; institute of Calgary; Mai 2010.
73. Legallois D. Électrocardiogramme ; partie 4b : hypertrophies droite et gauche.
74. Rowlands D J. Comprendre l'électrocardiogramme, une nouvelle méthode 2ème partie : Anomalies morphologiques. Edition Imperial Chemical Industries.334 p.1987.
75. Fournier C. Les hypertrophies auriculaires et ventriculaires, EMC cardiologie 1996. [En ligne] [cité le 7 Déc 2024]; [11-003-F-50]. Disponible sur : [www.em-consulte.com/article/3657/hypertrophies-auriculaires-et-ventriculaires](http://www.em-consulte.com/article/3657/hypertrophies-auriculaires-et-ventriculaires).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

76. Boukerche F. ÉlectroCardioGramme Normal et Pathologique. CES Médecine d'urgence Faculté de médecine d'Oran-Université d'Oran. Décembre 2021. Pages : 91, 89, 92, 110, 98, 99, 100, 101.
77. Hancock E W et al. AHA/ACCF/HRS recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part V: electrocardiogram changes associated with cardiac chamber hypertrophy... J Am Coll Cardiol. 2009 ;53(11) :992-1002. Review.
78. Tsao C W, Josephson M E, Hauser T H, et al. Accuracy of electrocardiographic criteria for atrial enlargement: validation with cardiovascular magnetic resonance. J Cardiovasc Magn Reson. 2008 Jan 25;10(1):7.
79. Surawicz B et Knilans T K. Chou's electrocardiography in clinical practice. Ed. Elsevier, 6th edition 2008. Atrial depolarization; Page 37.
80. Simonson, E. Differentiation between normal and abnormal in electrocardiography. *AcadMed*, 1962, 37 (2), 161.
81. Kafka H, Burggraf G V, Miliken J A. Electrocardiographic diagnosis of left ventricular hypertrophy in the presence of left bundle branch block: an echocardiographic study. Am J Cardiol 1985 ;55 :103-6.
82. Roudaut R, Lafitte S et Douard H. HVG diagnostic et prise en charge, cardiologie pratique. [En ligne]; Sep 2006 ; [cité le 8 Déc 2024]. Disponible sur : [www.cardiologie-pratique.com/journal/article/hvg-diagnostic-et-prise-en-charge](http://www.cardiologie-pratique.com/journal/article/hvg-diagnostic-et-prise-en-charge).
83. Sztajzel J. Revue Médicale Suisse. ECG Pratique 3. Éditions RMS ; [En ligne] ; 2012 ; [cité le 10 Déc 2024]. ISBN : 9782880494841.2012. Disponible sur : [www.revmed.ch/livres/ecg-pratique](http://www.revmed.ch/livres/ecg-pratique).
84. Sende J. Guide pratique ECG. Paris : 211 p. Éditions Estem, 2003.
85. Fournier C et Pellerin D. Hypertrophies auriculaires et ventriculaires. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Cardiologie-Angéiologie, 11-003-F-50, 1996.
86. Kusumoto F M, Schoenfeld M H, Barrett C, et al. Guideline on the Evaluation and Management of Patients With Bradycardia and Cardiac Conduction Delay: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *Circulation*. 20 août 2019;140(8): e382-482.
87. Taboulet P. La conduction intracardiaque. Partie 1. Physiopathologie et blocs de conduction supranodaux. [En ligne] [cité le 10 Déc 2024] ; AFMU 2014. Disponible sur [www.sfm.org/](http://www.sfm.org/)
88. Khanna S, Sreedharan R, Trombetta C, et al. Sick Sinus Syndrome: Sinus Node Dysfunction in the Elderly. *Anesthesiology*. 2020 Feb; 132(2):377-378. Doi: 10.1097/ALN.0000000000003004. PMID: 31939855.
89. Bayés de Luna A. *et al*. Interatrial blocks. A separate entity from left atrial enlargement: a consensus report. *Journal of Electrocardiology*, 2012 ; 45 : 445-51.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

90. Surawicz B, Childers R, Barbara J, et al. Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram Part III: Intraventricular Conduction Disturbances: A Scientific Statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee *Circulation* Volume 119, Issue 10, Pages e235-e240 *J Am Coll Cardiol*. 2009 Mar 17;53(11):976-81. Doi: 10.1016/j.jacc.2008.12.013. PMID: 19281930.
91. Holmqvist F., Daubert J P. First-degree AV block-an entirely benign finding or a potentially curable cause of cardiac disease? *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2013; 18: 215-24.
92. Upshaw C B. Jr, Silverman M E. The Wenckebach phenomenon: a salute and comment on the centennial of its original description. *Ann Intern Med*, 1999; 130: 58-63.
93. Silverman M E., Upshaw C B. Jr, Lange H W. Woldemar Mobitz and His 1924 classification of second-degree atrioventricular block. *Circulation*, 2004; 110: 1162-7.
94. Surawicz B., Knilans T K. Atrioventricular block. In Surawicz B and Knilans T K, Chou's electrocardiography in clinical practice, 6th ed, Saunders Elsevier, Philadelphia, PA, USA (2008), 456-580.
95. Narula O S, Scherlag B J, Samet P, et al. Atrioventricular block. Localization and classification by His bundle recordings. *Am J Med*, 1971; 50 :146-65.
96. Weberndörfer V, Tanner H. Bloc atrio-ventriculaire, Causes, diagnostic et options thérapeutiques *Rhythmologie und Elektrophysiologie, Universitätsklinik für Kardiologie*. [En ligne] [cité le 11 Déc 2024]. Disponible sur : [www.smf.swisshealthweb.ch/fileadmin/assets/SMF/2014/fms.2014.01869/](http://www.smf.swisshealthweb.ch/fileadmin/assets/SMF/2014/fms.2014.01869/)
97. Willems J I, Robles de Medina E O, Bernard R, et al. Criteria for intraventricular conduction disturbances and pre-excitation. *J Am CollCardiol* 1985; 5:1261-75. Inselspital, Bern, Schweiz.
98. Horowitz L N, Alexander J A et Edmunds L H. « Postoperative right bundle branch block: identification of three levels of block », *Circulation*, vol. 62, n° 2, août 1980, p. 319–328 Doi: 10.1161/01.cir.62.2.319. PMID: 7397974.
99. Batra J, Biviano A, Yarmohammadi H. Dancing Bundles With Stable Sinus Rhythm. *Circulation*. 2022 Jan 4;145(1):84-86.
100. Task Force for the Diagnosis and Management of Syncope; European Society of Cardiology (ESC); European Heart Rhythm Association (EHRA) et al. Guidelines for the diagnosis and management of syncope (version 2009). *Eur Heart J*, 2009; 30: 2631-71.
101. Epstein A E, DiMarco J P, Ellenbogen K A, et al. ACC/AHA/HRS 2008 Guidelines for Device-Based Therapy of Cardiac Rhythm Abnormalities: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the ACC/AHA/NASPE 2002 Guideline Update for Implantation of Cardiac Pacemakers and Antiarrhythmia Devices): developed in collaboration with the American Association for Thoracic Surgery and Society of Thoracic Surgeons. *Circulation*, 2008 ; 117 : e350-408.
102. Harrigan R A, Pollack M L, Chan T C. Electrocardiographic manifestations: bundle branch blocks and fascicular blocks. *J Emerg Med*. 2003 Jul ;25(1) :67-77. Doi: 10.1016/s0736-4679(03)00129-x. PMID: 12865112.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

103. Rowlands D J. Left and right bundle branch block, left anterior and left posterior hemiblock. *Eur Heart J*.1984 Mar;5 Suppl A:99-105.
104. Biagini E et al. Prognostic significance of left anterior hemiblock in patients with suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*.2005 Sep 6;46(5):858-63.
105. Assali A et al. Importance of left anterior hemiblock development in inferior wall acute myocardial infraction. *Am J Cardiol* 1997; 79:672-4.
106. Rosenbaum M B, Elizari M V, Lazzari J O et al. Intraventricular trifascicular blocks. Review of the literature and classification. *American Heart Journal*. oct 1969;78(4):450-9.
107. Dhingra R C, Palileo E, Strasberg B et al. Significance of the HV interval in 517 patients with chronic bifascicular block. *Circulation*. 1981 ;64(6) :1265-71.
108. Binah O, Rosen M R. Mechanisms of ventricular arrhythmias. *Circulation* 1992; 85(1 Suppl): I25-31.
109. Leenhardt A. Les post-dépolarisations. *Archives of Cardiovascular Diseases Supplements* (2011) 3 189-194.
110. Pentti M Rautaharju et al. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part IV: the ST segment, T and U waves, and the QT interval: a scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society. Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology *Circulation*. 2009 Mar 17;119(10): e241-50.
111. Les différents troubles du rythme cardiaque : Hôpitaux Universitaires Genève HUG. Disponible sur <https://www.hug.ch/cardiologie/differents-troubles-du-rythme-cardiaque>.
112. Opie L H. *The heart. Physiology and metabolism*. New York: Raven Press,1991. Pages: 369–395.
113. Lerebours G. [Sinus rhythm: mechanisms and function]. *Med Sci (Paris)* 2007; 23: 657–662.
114. Houpe J P. Respiration et cardiologie : la cohérence cardiaque .Effets du stress psychosocial en cardiologie. *La Presse Médicale*, 42(6),1042-1049. (2013).
115. Yasuma F, Hayano J. Respiratory sinus arrhythmia: why does the heartbeat synchronize with respiratory rhythm? *Chest* 2004; 125(2): 683-90.
116. Surawicz B et Knilans T K. Chou’s electrocardiography in clinical practice. Ed. Elsevier, 6th edition 2008. Sinus rhythms. page 328.
117. Heaton J, Yandrapalli S. Premature Atrial Contractions (PAC). In: *Stat Pearls*. Treasure Island (FL): Stat Pearls Publishing; 2024 Jan PMID: 32644630.
118. Dewland T A, Vittinghoff E, Mandyam M C, et al. Atrial ectopy as a predictor of incident atrial fibrillation: a cohort study. *Ann Intern Med*. 2013 Dec 3;159(11):721-8.

119. Huang B T, Huang F Y, Peng Y, et al. Relation of premature atrial complexes with stroke and death: Systematic review and meta-analysis. *Clin Cardiol.* 2017 ;40(11) :962-969.
120. Chauvin M. Flutter atrial et tachycardies atriales non fluttriennes. *EMC cardiologie* 01/01/98 (11-033-A-10).
121. Philibert S. Tachycardie atriale focale péri-sinusale responsable d'une tachy-cardiomyopathie chez un jeune adulte, rythmologie et rythmo-interventionnelle, *Cardiologie pratique* [En ligne]; 2019 ;[modifié le 15 Nov 2019; cité le 15 Nov 2024]. Disponible sur <https://www.cardiologie-pratique.com/journal/article/0029215-tachycardie-atriale-focale-peri-sinusale-responsable-dune-tachycardie>.
122. Sunthorn H, Shah D, Arythmies auriculaires : mécanisme, présentation ECG et traitement curatif[En ligne];2006 ; [cité le 18 Nov 2024]. Doi : 10.53738/REVMED.2006.2.69.1536 Disponible sur : [www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2006/revue-medicale-suisse-69/arythmies-auriculaires-mecanisme-presentation-ecg-et-traitement-curatif](http://www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2006/revue-medicale-suisse-69/arythmies-auriculaires-mecanisme-presentation-ecg-et-traitement-curatif).
123. Joglar J A, Chung M K, Armbruster A L, et al. 2023 ACC/AHA/ACCP/HRS Guideline for the Diagnosis and Management of Atrial Fibrillation: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation.* 2024 Jan 2 ;149(1): e1-e156.
124. Taboulet P. Aspects électrocardiographiques de la fibrillation auriculaire. *Ann. Fr. Méd Urg,* 2012 ; 2 : 27-34.
125. Hwan Bae M, Hoon Lee J, Heon Yang D, et al. Erroneous computer electrocardiogram interpretation of atrial fibrillation and its clinical consequences. *Clin Cardiol.* 2012 Jun;35(6):348-53. Doi: 10.1002/clc.22000. Epub 2012 May 29. PMID: 22644921; PMCID: PMC6652532.
126. ESC Guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS): The Task Force for the diagnosis and management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC [En ligne]; *European Heart Journal*, Volume 42, Issue 5, 1 February 2021, Pages 373–498. [Cité le 20 Nov 2024]. Disponible sur: [www.doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa612](http://www.doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa612)
127. 2023 ACC/AHA/ACCP/HRS Guideline for the Diagnosis and Management of Atrial Fibrillation: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines Volume 149, Issue 1, 2 January 2024; Pages e1-e156) [En ligne];2024; [cité le 22 Nov 2024]. Disponible sur: [www.doi.org/10.1161/CIR.0000000000001193](http://www.doi.org/10.1161/CIR.0000000000001193).
128. Lindow T, Kron J, Thulesius H, Ljungström E, Pahlm O. Erroneous computer-based interpretations of atrial fibrillation and atrial flutter in a Swedish primary health care setting. *Scand J Prim Health Care.* 2019 Dec;37(4):426-433.
129. Boriani G, Vitolo M, Imberti J F, Potpara T S, Lip GYH. What do we do about atrial high-rate episodes? *Eur Heart J Suppl.* 2020 Dec 22;22(Suppl O): O42-O52. Doi: 10.1093/eurheartj/suaa179. PMID: 33380943; PMCID: PMC7753882.
130. Société française de cardiologie. *Cardiologie et maladies vasculaires.* Masson,2007 ; pp1041–1047, troubles du rythme) [En ligne]; 2007; [cité le 23 Nov 2024]. Disponible sur :

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[www.elsevier-masson.fr/les-troubles-du-rythme-cardiaque-dans-la-pratique-medicale-9782294050282.html](http://www.elsevier-masson.fr/les-troubles-du-rythme-cardiaque-dans-la-pratique-medicale-9782294050282.html).

131. Zimmermann M, Meiltz A, Flutter auriculaire : le point en 2006 DOI : 10.53738/REVMED.2006.2.67.1400.
132. Noti F, Fuhrer J. Fibrillation et flutter auriculaires : si semblables et si différents ! pathogenèse, diagnostic et traitement inselspital, bern, swiss medical forum – forum médical suisse 2015 ;15(40) :890–897.
133. ESC Scientific Document Group, 2019 ESC Guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia  
The Task Force for the management of patients with supraventricular tachycardia of the European Society of Cardiology (ESC): Developed in collaboration with the Association for European Pediatric and Congenital Cardiology (AEPC), *European Heart Journal*, Volume 41, Issue 5, 1 February 2020, Pages 655–720 [En ligne]; [cité le 24 Nov 2024]. Disponible sur: [www.doi.org/10.1093/eurheartj/ehz467](http://www.doi.org/10.1093/eurheartj/ehz467).
134. Langendorf R, Mehlman J S. Blocked (nonconducted) A-V nodal premature systoles imitating first and second-degree A-V block. *Am Heart J*. 1947 Oct;34(4):500-6.
135. Morgan E, Anderson J, Noheria A. Premature Complexes and Blocked P Wave. *Circulation*. 2022 Jun 14;145(24):1803-1805.
136. Grolleau R, Carabasse D, Leclercq F. Les tachycardies jonctionnelles. *Arch Mal Cœur*, 1995 ; 88 : 41-51.
137. Brugada J, Katritsis D G, Arbelo E, et al. ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia. The Task Force for the management of patients with supraventricular tachycardia of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2019.
138. Perry J C, Garson A. Complexities of junctional tachycardias. *J. Cardiovasc Electro-physiol*, 1993; 4: 224-38.
139. Arshi A, Saba S. Post-Operative Narrow Complex Tachycardia: What is the Mechanism? *Indian Pacing Electrophysiol J*. 2010 Jul 20;10(7):318-21.
140. Brugada J, Katritsis D G, Arbelo E, et al. ESC Scientific Document Group. 2020 ESC Guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia. The Task Force for the management of patients with supraventricular tachycardia of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2020 Feb 1 ;41(5) :655-720.
141. Ward D E, Bennett D H, Camm J. Mechanisms of junctional tachycardia showing ventricular pre-excitation. *Br Heart J*. 1984 Oct;52(4):369-76.
142. Steurer G, Gursoy S, Frey B et al. The differential diagnosis on the electrocardiogram between ventricular tachycardia and preexcited tachycardia. *Clin Cardiol* 1994; 17:306–8.

143. Antunes E, Brugada J, Steurer G, Andries E, Brugada P. The differential diagnosis of a regular tachycardia with a wide QRS complex on the 12-lead ECG: ventricular tachycardia, supraventricular tachycardia with aberrant intraventricular conduction, and supraventricular tachycardia with anterograde conduction o. *Pacing Clin Electrophysiol.* 1994 Sep ;17(9) :1515-24.
144. Jastrzębski M, Moskal P, Kukla P et al. Specificity of wide QRS complex tachycardia criteria and algorithms in patients with ventricular preexcitation. *Ann Non invasive Electrocardiol.* 2018 Mar ;23(2) : e12493.
145. Horvilleur J., Lacotte J. Troubles du rythme cardiaque. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Médecine d'urgence 25-020-B-60, 2007. - Doi : 10.1016/S0000-0000(07)43622-1. ) [En ligne]; [cité le 25 Nov 2024]. Disponible sur [www.em-consulte.com/article/61554/troubles-du-rythme-cardiaque](http://www.em-consulte.com/article/61554/troubles-du-rythme-cardiaque).
146. Saoudi N, Deharo J C. Précis de rythmologie. Éditeur Paris, Sauramps Médical 2005. 124P ISBN 9782840233923 Page 40.
147. Adnet F, Lapostolle F, Petrovic T. ECG en urgence. *Arnette* 2005. P 222-9.
148. Schläpfer J, Staeger P. Extrasystoles supraventriculaires et ventriculaires SWISS MEDICAL FORUM –2017 ;17(9) :208–213.
149. Agarwal S K, Chao J, Peace F, et al. Premature ventricular complexes on screening electrocardiogram and risk of ischemic stroke 2015;46:1365–7.
150. Lee V, Hemingway H, Harb R, et al. The prognostic significance of premature ventricular complexes in adults without clinically apparent heart disease: a meta-analysis and systematic review. *Heart.* 2012; 98:1290–8.
151. O'Brien T, Booth K. *Electrocardiography for Healthcare Professionals, 5th Edition* ISBN10: 1260064778, ISBN13: 9781260064773 McGraw Hill,2019.
152. Gildea TH, Levis JT. ECG Diagnosis: Accelerated Idioventricular Rhythm. *Perm J.* 2018; 22:17-173.
153. Sclarovsky S, Strasberg B, Martonovich G, Agmon J. Ventricular rhythms with intermediate rates in acute myocardial infarction. *Chest.* 1978 Aug;74(2):180-2. Doi: 10.1378/chest.74.2.180. PMID: 679748.
154. Zipes D M, Camm A J, Borggrefe M, *et al.* ACC/AHA/ESC 2006 guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force and the European Society of Cardiology Committee for Practice Guidelines (Writing Committee to develop the 2001 Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death). *Circulation* 2006 ; 114 : e385-484.
155. Vereckeï A, *et al.* Application of a new algorithm in the differential diagnosis of wide QRS complex tachycardia. *Eur Heart J* 2007; 28(5): 589-600.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 156.** Brugada P, *et al.* A new approach to the differential diagnosis of a regular tachycardia with a wide QRS complex. *Circulation* 1991.
- 157.** Waldmann V, Marijon E. Troubles du rythme cardiaque : diagnostic et prise en charge. *Rev Med Interne.* 2016 ;37 :608-15.
- 158.** B. Brembilla-Perrot, Tachycardies ventriculaires. *EMC Cardiologie* 27/11/08 [11-033-E-10] - Doi : 10.1016/S1166-4568(08)47050-X.
- 159.** Brent Mitchell L. Tachycardie ventriculaire, Libin Cardiovascular Institute of Alberta, University of Calgary) [En ligne]; 2023; [modifié en Janvier 2023; cité le 26 Nov 2024]. Disponible sur [www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-cardiovasculaires/revue-generale-des-troubles-du-rythme-et-de-la-conduction/](http://www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-cardiovasculaires/revue-generale-des-troubles-du-rythme-et-de-la-conduction/)
- 160.** Dessertenne F, Gourgon R, Coumel P, et al. Tachycardie ventriculaire et ‘torsades de pointes’. *Annales de cardiologie et d’angéiologie.* 1971 ;20(3) :243–51.
- 161.** Slama R, Coumel P H, Motte G, et al. Tachycardies ventriculaires et torsades de pointes : frontières morphologiques entre les dysrythmies ventriculaires. *Arch Mal Cœur.* 1973 ;66 :1401–1411.
- 162.** Lande G. Le syndrome du QT long acquis. Thèse d'exercice : Médecine : Université de Nantes ; 2007.
- 163.** Al-Khatib S M, LaPointe N M, Kramer J M, et al. What clinicians should know about the QT interval. *JAMA.* 2003 Apr 23-30 ;289(16) :2120-7. Doi : 10.1001/jama.289.16.2120. Erratum in : *JAMA.* 2003 Sep 10 ;290(10) :1318. PMID : 12709470.
- 164.** Milon D, Daubert J C , Saint-Marc C, et al. Les torsades de pointe: A propos de 54 cas, *Annales Françaises d’Anesthésie et de Réanimation* Volume 1, Issue 5, 1982, Pages 513-520, Article original. ISSN 0750-7658) [En ligne] [cité le 27 Nov 2024]. Disponible sur : [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0750765882800944](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0750765882800944).
- 165.** Fauchier J P, Babuty D, Fauchier L, et al. Les effets proarythmiques des antiarythmiques. *Arch Mal cœur Vaiss* 1992 ; 85 : 891-7.
- 166.** Musa J, Fellahi J L, Troubles graves du rythme et de la conduction, SFAR Société française d’Anesthésie et de Réanimation - Le Congrès Conférence IADE © 2018. [En ligne] [cité le 27 Nov 2024]. Disponible sur : [www.sfar.org/wp-content/uploads/2018/10/Troubles-graves-du-rythme-et-de-la-conduction.pdf](http://www.sfar.org/wp-content/uploads/2018/10/Troubles-graves-du-rythme-et-de-la-conduction.pdf).
- 167.** Touboul P, Fibrillation ventriculaire Ventricular fibrillation, *EMC Cardiologie-Angéiologie* Volume 1, Issue 1, February 2004, Pages 68-79.

- 168.** Kleiger R E et al. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction, *The American Journal of Cardiology* Volume 59, Issue 4, 1 February 1987, Pages 256-262.
- 169.** HAS - ALD n°5 - Troubles du rythme ventriculaire graves chroniques. Guide maladie chronique –) [En ligne] ; 2009 ; [modifié le 04 Sep 2009 ; cité le 28 Nov 2024]. Disponible sur : [www.has-sante.fr](http://www.has-sante.fr).
- 170.** Thygesen K, Alpert J S, Jaffe A S, et al; Executive Group on behalf of the Joint European Society of Cardiology (ESC)/American College of Cardiology (ACC)/American Heart Association (AHA)/World Heart Federation (WHF) Task Force for the Universal Definition of Myocardial Infarction. Fourth Universal Definition of Myocardial Infarction (2018). *Circulation*. 2018 Nov 13;138(20): e618-e651.
- 171.** Blog de S Smith, Concerning EKG with a Non-obstructive angiogram. What happened? ) [En ligne] [cité le 28 Nov 2024]. Disponible sur [www.hqmeded-ecg.blogspot.com/2023/12/concerning-ekg-with-non-obstructive.html](http://www.hqmeded-ecg.blogspot.com/2023/12/concerning-ekg-with-non-obstructive.html) .
- 172.** Ferrante A, Kerneis M. Les pièges diagnostiques (MINOCA). *Réalités Cardiologiques*. N° 370-Mars 2022) [En ligne] [cité le 29 Nov 2024]. Disponible sur : [www.realites-cardiologiques.com/wp-content/uploads/sites/2/2022/04/04.pdf](http://www.realites-cardiologiques.com/wp-content/uploads/sites/2/2022/04/04.pdf)
- 173.** Byrne R A, Rossello X, Coughlan J J, et al. ESC Scientific Document Group. 2023 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes. *Eur Heart J*. 2023 Oct 12;44(38):3720-3826.
- 174.** Taboulet P. 100 ECG autour de l'infarctus. S-éditions ; 2020 ; Page 23.
- 175.** Thygesen K, Alpert JS, White HD. Universal definition of myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2007; 50:2173-95.
- 176.** Les fondamentaux de la pathologie cardiovasculaire, par le Collège National des Enseignants de Cardiologie (CNEC) et la Société Française de Cardiologie (SFC). Elsevier Masson ; ) [En ligne] ; 2014 ; [cité le 30 Nov 2024]. coll. DFGSM 2-3 Médecine. Disponible sur : [www.elsevier-masson.fr/les-fondamentaux-de-la-pathologie-cardiovasculaire-9782294758485.html](http://www.elsevier-masson.fr/les-fondamentaux-de-la-pathologie-cardiovasculaire-9782294758485.html)
- 177.** Steg P G, James S K, Atar D, et al. Task Force on the management of ST-segment elevation acute myocardial infarction of the European Society of Cardiology (ESC); ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *Eur Heart J*. 2012 Oct;33(20):2569-619. Doi: 10.1093/eurheartj/ehs215. Epub 2012 Aug 24. PMID: 22922416.
- 178.** Van de Werf F. et al. Management of acute myocardial infarction in patients presenting with persistent ST-segment elevation: the Task Force on the Management of ST-Segment Elevation Acute Myocardial Infarction of the European Society of Cardio-logy. *Eur Heart J* 2008 ; 29 : 2909-45.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

179. Erhardt L, Herlitz J, Bossaert L et al. Task force on the management of chest pain. *Eur Heart J* 2002 ; 23(15) : 1153-76.
180. Antman E M, Anbe D T, Armstrong P W, et al. ACC/AHA guidelines for the management of patients with ST-elevation myocardial infarction: A report of the American college of cardiology/American heart association task force on practice guidelines (Committee to revise the 1999 guidelines for the management of patients with acute myocardial infarction). *Circulation* 2004;110: e82-292.
181. Nallamothu B K, Bates E R. Percutaneous coronary intervention versus fibrinolytic therapy in acute myocardial infarction: Is timing (almost) everything? *Am J Cardiol* 2003 ;92 :824-6.
182. Anderson J L, Adams C D, Antman E M, et al. ACC/AHA 2007 guidelines for the management of patients with unstable angina/non-ST-elevation myocardial infarction : A report of the American college of cardiology/American heart association task force on practice guidelines (Writing committee to revise the 2002 guidelines for the management of patients with unstable angina/non-ST-elevation myocardial infarction) developed in collaboration with the American college of emergency physicians, the Society for cardiovascular angiography and interventions, and the Society of thoracic surgeons endorsed by the American association of cardiovascular and pulmonary rehabilitation and the Society for academic emergency medicine. *J Am Coll Cardiol* 2007;50: e1-e157.
183. Bassand J P, Hamm C W, Ardissino D, et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of non-ST-segment elevation acute coronary syndromes. *Eur Heart J* 2007 ;28 :1598-660.
184. ACC/AHA/Guidelines for the management of patients with unstable angina and non-ST-segment Elevation Myocardial Infarction: executive summary and recommendations. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on practice guidelines (committee on the management of patients with unstable angina). *Circulation* 2000 ; 102 : 1193-1209.
185. ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *Eur Heart J* 2011; 32: 2999-3054.
186. Braunwald E, Antman E M, Beasley J W et al. ACC/AHA guidelines for the management of patients with unstable angina and non-ST-segment elevation myocardial infarction. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on the Management of Patients With Unstable Angina). *J Am Coll Cardiol* 2000 ; 36(3) : 970-1062.
187. Hamm C W, et al. ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute coronary syndromes (ACS) in patients presenting without persistent ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* first published online August 26,2011. Doi :10.1093/eurheartj/ehr236.
188. Taboulet P. ECG et SCA : les équivalents ST+, *La Revue des SAMU - Médecine d'Urgence* – 2012 ; P23 à 26.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

189. Tuchscherer V J, Kozik T M, Choudhry M W. De Winter's ECG: Not your usual STEMI. *J Electrocardiol.* 2024 Jul-Aug; 85:46-49.
190. Taboulet P. 8e. SCA sur l'ECG. Au-delà du basic. Partie 1 [En ligne] ;2017 ; [modifié le 1 oct 2017 ; cité le 30 Nov 2024]. Disponible sur : [www.youtube.com/watch?v=pR4sRduBhPA](http://www.youtube.com/watch?v=pR4sRduBhPA).
191. Cabrera E, Friedland C. La onda de activacion ventricular en el bloqueo de rama izquierda con infarto (un nuevo signo electrocardiografico). *Arch. Inst. cardiol. Mexico* 23 :441, 1953.
192. Wackers F J. The diagnosis of myocardial infarction in the presence of left bundle branch block. *Cardiol Clin.* 1987; 5(3):393-401.
193. Ghassibi P. Les critères de sgarbossa modifiés - (dr smith's modification) ; *Cardiologie pratique* ; Oct 2015) [En ligne] ; [cité le 30 Nov 2024]. Disponible sur [www.cardiologie-pratique.com/journal/article/0012450-les-criteres-de-sgarbossa-modifies-dr-smiths-modification](http://www.cardiologie-pratique.com/journal/article/0012450-les-criteres-de-sgarbossa-modifies-dr-smiths-modification).
194. Naville A, Perrier A. Diagnostic ECG de l'infarctus en cas de bloc de branche gauche connu ou d'entraînement ventriculaire, *Rev Med Suisse*, 2013/402 (Vol.9), p. 1886 – 1891 [En ligne] ; [cité le 30 Nov 2024]. DOI : 10.53738 / REVMED. 2013. 9. 402. 1886. Disponible sur : [www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2013/revue-medicale-suisse-402/diagnostic-ecg-de-l-infarctus-en-cas-de-bloc-de-branche-gauche-connu-ou-d-entrainement-ventriculaire](http://www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2013/revue-medicale-suisse-402/diagnostic-ecg-de-l-infarctus-en-cas-de-bloc-de-branche-gauche-connu-ou-d-entrainement-ventriculaire)
195. Gaied M B, Krähenbühl J, Rey F, et al . La péricardite aiguë, *Rev Med Suisse*, 2015/489 (Vol.11), p. 1835–1838) [En ligne] ; [cité le 1 Déc 2024]. Doi : 10.53738/REVMED.2015.11.489.1835. Disponible sur : [www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2015/revue-medicale-suisse-489/la-pericardite-aigue](http://www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2015/revue-medicale-suisse-489/la-pericardite-aigue).
196. Delahaye F, Recommandation de la société européenne de cardiologie ESC sur les maladies péricardiques Septembre 2015, *Revue générale, Réalités cardiologiques.* [En ligne]; 2016; [cité le 1 Déc 2024]. Disponible sur [www.realites-cardiologiques.com/2016/09/12/recommandations-de-la-societe-europeenne-de-cardiologie-sur-les-maladies-pericardiques/](http://www.realites-cardiologiques.com/2016/09/12/recommandations-de-la-societe-europeenne-de-cardiologie-sur-les-maladies-pericardiques/)
197. Spodick D H. Diagnostic electrocardiographic sequences in acute pericarditis: significance of PR segment and PR vector changes. *Circulation.* 1973 Sep ;48(3) :575-80. Doi : 10.1161/01.cir.48.3.575. PMID : 4726240.
198. Medical Eponym Library. [En ligne] [cité le 2 Déc 2024]. Disponible sur [www.litfl.com/spodick-sign/](http://www.litfl.com/spodick-sign/)
199. ECG clic, Douleur thoracique aiguë. [En ligne] ; [cité le 3 Déc 2024]. Disponible sur [www.ecgclic.fr/douleur-thoracique-aigue/](http://www.ecgclic.fr/douleur-thoracique-aigue/)
200. Spodick D H. Acute Cardiac Tamponade. *N Engl J Med*, 2003; 349: 684-90.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

201. Nicolas-Robin A, Langeron O. Tamponnade cardiaque. In Urgences médico-chirurgicales de l'adulte. Carli, Riou et coll. 2ème Édition, Arnette Éditeur, Paris, p 230-237.
202. Goldstein J A. Cardiac Tamponade, Constrictive Pericarditis, and Restrictive Cardiomyopathy. *Curr Probl Cardiol*, 2004; 29: 503-67.
203. Konstantinides S V, Torbicki A, Agnelli, *et al.* 2014 ESC guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism. Task Force for the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014 Nov. 14 ; 35(43) : 3033-69, 3069a-3069k.
204. Sinha N, Yalamanchili K, Sukhija R, Aronow W S, Fleisher A G, Maguire G P, Lehrman SG. Role of the 12-lead electrocardiogram in diagnosing pulmonary embolism. *Cardiol Rev*. 2005 Jan-Feb;13(1):46-9. Doi: 10.1097/01.crd.0000134647.55135.4a. PMID: 15596029.
205. Peyrony O, Taboulet P. Un ECG typique d'embolie pulmonaire A typical ECG of pulmonary embolism *Ann. Fr. Med. Urgence* (2012) 2:46 DOI 10.1007/s13341-011-0135-z.
206. Marchick M R, Courtney D M, Kabrhel C, et al. 12-lead ECG findings of pulmonary hypertension occur more frequently in emergency department patients with pulmonary embolism than in patients without pulmonary embolism. *Ann Emerg Med* (2010) 55:331–5.
207. Fordjour K N, Walton T, Doran J J. Management of hyperkalemia in hospitalized patients. *Am J Med Sci*. 2014 Feb;347(2):93-100. Doi: 10.1097/MAJ.0b013e318279b105. PMID: 23255245.
208. Kimberley J, and Greenberg A. Hyperkalemia: A Review. *Journal of Intensive Care Medicine* 20, no. 5 (October 2005): 272–290. doi:10.1177/0885066605278969.
209. Hollander-Rodriguez J C, Calvert J F. Hyperkalemia. *Am Fam Physician*. 2006 Jan 15 ;73(2) :283-90. PMID : 16445274.
210. Robert T, Algalarrondo V, Mesnard L. Hyperkaliémie sévère ou menaçante : le diable est dans les détails Acute and Severe Hyperkalemia : Pathophysiological Approach ©SRLF et Lavoisier SAS 2015 Réanimation (2015) 24 :688-712 DOI 10.1007/s13546-015-1125-8.
211. Fumeaux Z. Hyperkaliémie. [En ligne] [cité le 3 Déc 2024]. Doi :10.53738 /REVMED.2007.3.101. 0574.Disponible sur : [www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2007/revue-medicale-suisse-101/hyperkaliemie](http://www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2007/revue-medicale-suisse-101/hyperkaliemie).
212. Gennari F J. Disorders of potassium homeostasis. Hypokalemia and hyperkalemia. *Crit Care Clin*. 2002 Apr;18(2):273- 88, vi. Doi: 10.1016/s0749-0704(01)00009-4. PMID : 12053834.
213. Jay N, Cohn M D, Kowey P R, et al. New Guidelines for Potassium Replacement in Clinical Practice, *Arch Intern Med*. 2000;160(16):2429-2436.
214. Schaefer T J, Wolford R W. Disorders of Potassium. *Emerg Med Clin North Am* 2005 23 (3) 723-47.
215. Campese V M. Calcium, parathyroid hormone, and blood pressure. *American Journal of Hypertension* 1989; 2: 34S-44S.
216. Pic D. Hypercalcémie aiguë : ce qu'il faut savoir, SFMU Société Française de Médecine d'Urgence.) [En ligne] [cité le 4 Déc 2024]. Disponible sur

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[www.sfm.uqam.ca/upload/70\\_formation/02\\_formation/02\\_congres/Urgences/urgences2014/donnees/pdf/041.pdf](http://www.sfm.uqam.ca/upload/70_formation/02_formation/02_congres/Urgences/urgences2014/donnees/pdf/041.pdf).

217. Guitton C, Renard B, Gabillet L et al. Dyscalculie aux urgences. *Réanimation* 2002 ; 11 : 493-501 ; 2002 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. S1624069302002852/SSU.
218. Ma G, Brady W J, Pollack M et al. Electrocardiographic manifestations: digitalis toxicity. *J Emerg Med.* 2001; 20(2):145-52. Review.
219. Yang E H, Shah S, Criley J M. Digitalis toxicity: a fading but crucial complication to recognize. *Am J Med.* 2012;125(4):337-43.
220. Fisch C, Knoebel S B. Digitalis cardiotoxicity. *J Am Coll Cardiol.* 1985 ;5 :91A-98A.
221. Bonny A, Amara W, Hamdaoui B, Frank R. Le syndrome de Brugada en pratique quotidienne : que doit savoir le clinicien ? *Rythmologie et rythmo interventionnelle, Cardiologie Pratique*, juin 2009. ) [En ligne]; 2009 ; [cité le 5 Déc 2024]. Disponible sur : [www.cardiologie-pratique.com/journal/article/le-syndrome-de-brugada-en-pratique-quotidienne-que-doit-savoir-le-clinicien](http://www.cardiologie-pratique.com/journal/article/le-syndrome-de-brugada-en-pratique-quotidienne-que-doit-savoir-le-clinicien).
222. Mélon P G, Piérard L A. Le syndrome de Brugada : prise en charge du sujet asymptomatique, articles : thérapeutique, *Revue médicale suisse*, août 2004. Doi : 10.53738/REVMED.2004.62.2493.1597.
223. HAS/Protocole National de Diagnostic et de Soins (PNDS) Syndrome de Brugada, Septembre 2021. ) [En ligne]; 2021 ; [cité le 6 Nov 2024]. Disponible sur [www.has-sante.fr/jcms/p\\_3289993/fr/syndrome-de-brugada-pnds](http://www.has-sante.fr/jcms/p_3289993/fr/syndrome-de-brugada-pnds)
224. Tse G, Liu T, Li K H C, et al. Electrophysiological Mechanisms of Brugada Syndrome: Insights from Pre-clinical and Clinical Studies. *Frontiers in Physiology*, 7, 467. ) [En ligne] ; 2016 ; [cité le 6 Déc 2024]. Disponible sur [www.hanbook.bcehs.ca/clinical-practice-guidelines/pr-clinical-procedure-guide/pr16-12-lead-ecgs/abnormal-ecgs/brugada-syndrome/](http://www.hanbook.bcehs.ca/clinical-practice-guidelines/pr-clinical-procedure-guide/pr16-12-lead-ecgs/abnormal-ecgs/brugada-syndrome/)
225. Briot R, Brun J, Debaty G, et al. Prise en charge d'un malade en hypothermie accidentelle Management of accidental hypothermia, *EM, Réanimation* (2010) 19, 607-615. Doi : 10.1016/j.reaurg.2010.08.006.
226. Osborn J. Experimental hypothermia: respiratory and blood pH changes in relation to cardiac function. *Am J Physiol* 1953; 175:389-98.
227. Graham C A, McNaughton G W, Wyatt J P. The electrocardiogram in hypothermia. *Wilderness Environ Med* 2001; 12:232-5.
228. 2021 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy. *ESC Clinical Practice Guidelines*
229. Bernstein A D, Daubert J C, Fletcher R D, et al. The revised NASPE/BPEG generic code for antibradycardia, adaptiverate, and multisite pacing. *North American Society of Pacing and*

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Electrophysiology/British Pacing and Electrophysiology Group. Pacing Clin Electrophysiol, 2002 Feb ; 25(2) : 260-4.
- 230.** Vardas P E, Auricchio A, Blanc J J, et al. Guidelines for cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy: The Task Force for Cardiac Pacing and Cardiac Resynchronization Therapy of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association. Eur Heart J, 2007 Sep; 28(18): 2256-95.
- 231.** Brady W J, Truwit J D. Critical Decisions in Emergency & Acute Care Electrocardiography. Wiley Blackwell, 2009.
- 232.** Chan T C, Brady W J, Harrigan R A, et al. ECG in Emergency Medicine and Acute Care, Elsevier Mosby, 2005.
- 233.** Wagner G S. Marriott's Practical Electrocardiography (11th edition), Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- 234.** Venkatachalam K L. Common pitfalls in interpreting pacemaker electrocardiograms in the emergency department. J Electrocardiol, 2011 ; 44 : 616-21.
- 235.** Cardall T Y, Chan T C, Brady W J, et al. Permanent cardiac pacemakers- issues relevant to the emergency physician, part I. J Emerg Med, 1999; 17(3): 479-89.
- 236.** R Core Team (2023). *\_R: A Language and Environment for Statistical Computing\_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible sur: <<https://www.R-project.org/>>.
- 237.** Gibaud-Bernard Q. Évaluation des pratiques de l'ECG en médecine générale, thèse d'exercice Université Jean Monnet (Saint Etienne). ) [En ligne]; [cité le 6 Déc 2024]. Disponible sur [www.lsurvey-pedago.univ-st-etienne.fr/index.php/351984?lang=fr](http://www.lsurvey-pedago.univ-st-etienne.fr/index.php/351984?lang=fr)
- 238.** Boucher P. Évaluation des compétences des médecins généralistes dans la lecture et l'interprétation d'un électrocardiogramme 12 dérivations. Médecine humaine et pathologie. 2019. dumas-02498313.
- 239.** Personne S. Étude des pratiques des médecins généralistes picards vis-à-vis de l'électrocardiogramme en 2022. Médecine humaine et pathologie. 2023. dumas-04146758.
- 240.** IBM Corp. Released 2019. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0. Armonk, N Y: IBM Corp.
- 241.** Ed Dahbi M. Évaluation des compétences des étudiants en fin d'étude de médecine en matière d'interprétation de l'électrocardiogramme \*Thèse d'exercice+. Faculté de médecine et de pharmacie-Marrakech ; 2023.
- 242.** Gillespie N D, Brett C T, Morrison W G, et al. « Interpretation of the emergency electrocardiogram by junior hospital doctors »,9, p. e29755, sept. 2022, Doi: 10.7759/cureus.29755 J. Accid. Emerg. Med., vol. 13, no 41. R. J. Hoyle, K. J. Walker, G. Thomson, et M. Bailey, 6, p. 395-397, Nov. 1996, Doi: 10.1136/emj.13.6.395.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 243.** Amini K, Mirzaei A, Hosseini M, et al. « Assessment of electrocardiogram interpretation competency among healthcare professionals and students of Ardabil University of Medical Sciences: a multidisciplinary study », *BMC Med. Educ.*, vol. 22, no 35. J. S. Berger et al., 1, p. 448, juin 2022. Doi: 10.1186/s12909-022- 03518-0.
- 244.** Thoreson N. Facteurs limitant l'utilisation de l'ECG par les médecins généralistes : enquête de pratique auprès de 36 médecins généralistes de Toulouse et de Tarn-et-Garonne en 2006 \*Thèse d'exercice+. Université Paul Sabatier (Toulouse). Faculté des sciences médicales Rangueil ; 2006.
- 245.** Toullec-petit C. Le matériel du cabinet du médecin généraliste et son utilisation. Enquête auprès de 100 généralistes dans le département des Yvelines. Thèse d'exercice.1998.
- 246.** Trinh Pechard C. Intérêt et limite de l'électrocardiogramme en médecine de ville. Thèse d'exercice.2007.
- 247.** Morin S. L'électrocardiogramme en médecine générale : indications actuelles et utilisations. Enquête auprès des médecins généralistes vosgiens. *Sciences du Vivant [q-bio]*. 2014. hal-01732549.
- 248.** Chataing F. Place de l'électrocardiogramme en médecine générale en 2011 : étude quantitative sur le département de la Haute-Loire. 2011.
- 249.** Lombardi L. Utilisation de l'électrocardiogramme par les médecins généralistes en milieu rural dans les départements de l'Aude, de l'Hérault et de la Seine-et-Marne, Thèse faculté de médecine de Créteil ;2011.
- 250.** Rivaux M. Facteurs d'influence de possession d'un électrocardiogramme en médecine générale : étude réalisée auprès de 308 médecins généralistes d'Indre-Et-Loire \*Thèse d'exercice+ : Université François Rabelais (Tours). UFR de médecine ; 2011.
- 251.** Lehmann P, Martin J. Technical equipment in the offices of practicing physicians in Vaud and Fribourg. *Soz Präventivmed.*1982 Dec ;27(6) :278-84.
- 252.** Cretallaz P. Facteurs limitant l'équipement en électrocardiogramme en médecine générale : étude nationale épidémiologique incluant 684 médecins généralistes libéraux. *Médecine humaine et pathologie*. 2015. dumas-01285060.
- 253.** Robin C, Verrier N. État des lieux de la pratique de l'électrocardiogramme en médecine générale en Picardie. 2019. Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/view/index/docid/2051245>.
- 254.** Chambonet J Y, Pichon K, Le mauff P,et al. Équipement et utilisation d'un appareil à ECG en médecine générale. *Concours médical*. 2001 ;123(31) :208591.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 255.** Faure L. Utilisation de l'électrocardiographe par les médecins généralistes en milieu rural : dans les départements de l'Aude, de l'Hérault et de la seine et Marne \*Thèse d'exercice+. UPEC. Faculté de médecine ; 2011.
- 256.** Ottogalli V. L'utilisation-de-l 'ECG-en-médecine-générale, Enquête auprès de 100 médecins généralistes sur leur dernier ECG ; 2014.
- 257.** Garrido J F. Utilisation de l'électrocardiogramme en médecine générale. Enquête auprès des praticiens du Bas-Rhin. [Thèse d'exercice]. [France] : Université de médecine de Strasbourg ; 2002.
- 258.** Varraud J M. Moteurs et freins à l'utilisation de l'électrocardiogramme en médecine générale : étude quantitative dans le département du Cantal \*Thèse d'exercice+. Université de Clermont I ; 2013.
- 259.** Philippe T. Utilisation et recours à l'électrocardiographe par les médecins généralistes en Guadeloupe : étude transversale auprès des médecins généralistes et cardiologues exerçant en Guadeloupe. Médecine humaine et pathologie. 2017. dumas-01623954.
- 260.** Barbu E. Indications de la réalisation d'un ECG en médecine générale : une étude rétrospective descriptive dans un cabinet de médecine générale parisien. Médecine humaine et pathologie. 2019. dumas-02503654.
- 261.** Angenault X. Facteurs influençant la réalisation de l'électrocardiogramme 12 dérivations en consultation de médecine générale : étude qualitative par entretiens semi directifs de médecins généralistes de Loire-Atlantique équipés d'électrocardiographe [Internet]. [Nantes] : Université de Nantes [diffusion/distribution] ; 2017 [cité 3 Oct 2017]. Disponible sur : [www.archive.bu.univ-nantes.fr/pollux/show.action?id=4A3A046c-4FD6-409a8083-11fldbb51623](http://www.archive.bu.univ-nantes.fr/pollux/show.action?id=4A3A046c-4FD6-409a8083-11fldbb51623).
- 262.** Ducrot P. Utilisation de l'électrocardiogramme en médecine générale : indications, interprétation et conduite tenue Étude portant sur 211 médecins généralistes de l'Arrageois, \*Thèse d'exercice+ Pas de Calais. Lille ; 2014.
- 263.** Milhorn H T, Robbins J G, Randolph R. Electrocardiograms in office practice. *Fam Pract Res J.* 1986;5(4):226-30.
- 264.** Fosse-Edorh S. Suivi des examens recommandés dans la surveillance du diabète en France en 2013. *BEH.* 10 nov 2015 ;34-35 :654.
- 265.** Carré R, Brion H, Douard D, et al. Recommandations concernant le contenu du bilan cardiovasculaire de la visite de non contre-indication à la pratique du sport en compétition entre 12 et 35 ans F - *Arch Mal ...* ; 2009

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 266.** Maron B J, Haas T S, Doerer J J, et al. Comparison of U.S. and Italian experiences with sudden cardiac deaths in young competitive athletes and implications for preparticipation screening strategies. *Am J Cardiol.* 15 juill 2009;104(2):276-80. 23.
- 267.** Guide de promotion, consultation et prescription médicale d'activité physique et sportive pour la santé chez les adultes [En ligne]. HAS ; 2018 sept. [cité le 7 Déc 2024]. Disponible sur : [www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2018-10/guide\\_aps\\_vf.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2018-10/guide_aps_vf.pdf).
- 268.** Lehel A. Exercice de la médecine générale avec ou sans électrocardiogramme. *Médecine humaine et pathologie.* 2015. dumas-01178422.
- 269.** Pupin E, Laurant F. Que pensent les internes de médecine générale concernant la pratique de l'électrocardiogramme en cabinet de médecine générale ? Thèse d'exercice\*Faculté de santé. Université d'Angers ; Sep 2019.
- 270.** Brault J. Analyse des freins à l'usage de l'électrocardiogramme chez les médecins généralistes installés en Ile-de-France : étude qualitative basée sur la méthode des focus groups ; 2014.
- 271.** Jamet X. Freins et intérêts des médecins généralistes creusois sur la création d'un réseau public de télé-expertise des ECG ; 2015.
- 272.** Nasso N. La télémédecine et l'électrocardiographie : utilisation et recours à l'électrocardiographie par les médecins généralistes en Guadeloupe dans le cadre du projet " MELIGUA " de mars 2020 à mars 2022. *Médecine humaine et pathologie.* 2022. dumas-03911195.
- 273.** Pariente S. Utilisation d'un appareil de télémédecine cardiologique en médecine générale, le télé-ECG \*Thèse d'exercice+. Université Paris Diderot - Paris 7. UFR de médecine ; 2008.
- 274.** Vanhille A. Impact de la réalisation de l'électrocardiogramme de repos par les médecins généralistes sur la prise en charge des patients \*Thèse d'exercice+. Université Jean Monnet (Saint-Etienne). Faculté de médecine Jacques Lisfranc ; 2013.
- 275.** Talha-Kedir M, Ould-Slimane S. Treatment of cardiac signal for a modeling by RBF. *Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies 2011* Article No. 59. Pages 1–6.
- 276.** Benali R. Analyse du signal ECG par réseau adaptatif d'ondelettes en vue de la connaissance de pathologies cardiaques. Travail de thèse. Université Abou Bekr Belgaïd ; Avril 2013.
- 277.** Jensen M S, Thomsen J L, Jensen S E, et al. Electrocardiogram interpretation in general practice. *Fam Pract.* 2005 Feb;22(1):109-13. Doi: 10.1093/fampra/cmh601. Epub 2004 Nov 4. PMID: 15528292.
- 278.** Salerno S M, Alguire P C, Waxman H S; American College of Physicians. Training and competency evaluation for interpretation of 12-lead electrocardiograms: recommendations from the American College of Physicians. *Ann Intern Med.* 2003 May 6 ;138(9) :747-50. Doi : 10.7326/0003-4819-138-9-200305060-00012. PMID : 12729430.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 279.** Rutten F H, Kessels A G, Willems F F, Hoes A W. Electrocardiography in primary care; is it useful? *Int J Cardiol.* 2000 Jul 31;74(2-3):199-205. Doi: 10.1016/s0167-5273(00)00284-9. PMID: 10962122.
- 280.** Brailer D J, Kroch E, Pauly M V. The impact of computer-assisted test interpretation on physician decision making: the case of electrocardiograms. *Med Decis Making.* 1997 Jan-Mar ;17(1):80-6. Doi: 10.1177/0272989X9701700109. PMID: 8994154.
- 281.** Fent G, Gosai J, Purva M. Teaching the interpretation of electrocardiograms: which method is best? *J Electrocardiol.* 2015 Mar-Apr;48(2):190-3. Doi: 10.1016/j.jelectrocard.2014.12.014. Epub 2014 Dec 23. PMID: 25573481.
- 282.** Bazrgar A, Rahmanian M, Ghaedi A. et al. Face-to-face, online, or blended: which method is more effective in teaching electrocardiogram to medical students. *BMC Med Educ* 23, 566 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04546-0>