



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : [http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints ID : 19333](http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints/19333)

To cite this version :

Dubes, Antoine. *Établissement des intervalles de référence des valeurs de l'ECG chez le chat sain*. Thèse d'exercice, Médecin vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2017, 107 p.

Any correspondance concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@inp-toulouse.fr.

ETABLISSEMENT DES INTERVALLES DE REFERENCE DES VALEURS DE L'ECG CHEZ LE CHAT SAIN

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

DUBES, Antoine
Né, le 06/10/1992 à DAX (40)

Directeur de thèse : Mme Armelle DIQUELOU

JURY

PRESIDENT :
M. Philippe MAURY

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
Mme Armelle DIQUELOU
M. Olivier DOSSIN

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt
ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

Directrice : Madame Isabelle CHMITELIN

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
- M. **MILON Alain**, *Microbiologie moléculaire*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*
- M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*

PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
M **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **DOSSIN Olivier**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
M. **CUEVAS RAMOS Gabriel**, *Chirurgie Equine*
Mme **DANIELS Hélène**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
Mme **PRADIER Sophie**, *Médecine interne des équidés*
M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

Mme **COSTES Laura**, *Hygiène et industrie des aliments*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
Mme **SABY-CHABAN Claire**, *Gestion de la santé des troupeaux bovins*

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Philippe MAURY,

Professeur des Universités, Praticien Hospitalier,

Service de cardiologie du CHU de Rangueil

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,

Mes hommages respectueux.

A Madame le Docteur Armelle DIQUÉLOU,

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Service de Médecine Interne de l'E.N.V.T.,

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la direction de cette thèse,

Pour ses encouragements dans la réalisation des mes projets,

Qu'elle rencontre ici l'expression de mon entière reconnaissance.

A Monsieur le Docteur Olivier DOSSIN,

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Service de Médecine Interne de l'E.N.V.T.,

Pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury de thèse,

Pour son écoute et ses conseils,

Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

A ma famille et mes amis, en remerciement de leur soutien inconditionnel

Table des matières

<i>Table des matières</i>	10
<i>Table des annexes</i>	13
<i>Table des abréviations</i>	14
<i>Table des illustrations</i>	15
<i>Introduction</i>	18

Partie 1 : Étude bibliographique

I. L'ECG chez le chat	23
1. Physiologie de l'ECG	23
a. Brefs rappels d'électrophysiologie cellulaire et de physiologie cardiaque	23
b. Les ondes de l'ECG	27
2. Particularités de l'ECG chez le chat	29
3. Connaissances de l'ECG chez le chat	30
II. Intérêts et limites de l'ECG en médecine féline	33
1. L'ECG et les maladies cardiaques	33
2. L'ECG et les maladies extracardiaques	35
3. L'ECG au cours du monitoring clinique	36
III. Construction d'un intervalle de référence	36
1. Pourquoi construire un intervalle de référence	36
2. Enquête préliminaire	38
3. Sélection des individus de référence	38
4. Procédure pré-analytique	39

5. Acquisition des données	40
6. Analyse statistique	40
a. Visualisation graphique	40
b. Identification et élimination des valeurs aberrantes	41
c. Détermination de la distribution des valeurs de référence	43
d. Méthodes statistiques de détermination des intervalles de référence	43
e. Détermination de l'intervalle de confiance	44

Partie 2 : Étude expérimentale

I. Protocole expérimental	49
1. Définition de la population de référence	49
2. Critères de sélection	49
a. Critères d'inclusion	49
b. Critères d'exclusion	50
3. Étapes préliminaires à l'acquisition des ECG	51
4. Acquisition de l'ECG	51
5. Traitement des données	54
6. Stockage des données	56
7. Traitement statistique	56
II. Résultats	57
1. Durée de recueil des tracés ECG	57
2. Description de la population de référence	57

3. Synthèse des résultats	59
a. Poids et score corporel	59
b. Fréquences cardiaque et respiratoire à l'examen clinique	60
c. Fréquence cardiaque à l'ECG	61
d. Valeurs d'amplitude et de durée des ondes de l'ECG	61
e. Intervalles de référence calculés	62
f. Axe électrique moyen du QRS	63
4. Effets de l'âge, du poids et du sexe sur les paramètres de l'ECG	65
5. Description des troubles du rythme des chats exclus de l'étude	65
III. Discussion	66
1. Biais de sélection et représentativité du groupe échantillon de référence	66
2. Discussion sur le protocole d'acquisition de l'ECG	67
3. Discussion des résultats	68
a. Largeur des intervalles de confiance à 90% et intervalles de référence	68
b. Variabilité de l'axe électrique moyen du QRS	68
c. Effets de l'âge, du poids et du sexe sur les paramètres de l'ECG ..	69
4. Comparaison avec les données de la littérature	69
5. Prévalence des arythmies	71
6. Perspectives	72
<i>Conclusion</i>	75
<i>Bibliographie</i>	78
<i>Annexes</i>	82

Table des annexes

<i>Annexe 1</i> : Exemple de tracé ECG sans anomalies	82
<i>Annexe 2</i> : Exemple de tracé ECG présentant un BBG	83
<i>Annexe 3</i> : Exemple de tracé ECG présentant un BFaG	84
<i>Annexe 4</i> : Questionnaire	86
<i>Annexe 5</i> : Déclaration de consentement éclairé	87
<i>Annexe 6</i> : Histogrammes de répartition des différents paramètres mesurés	88
<i>Annexe 7</i> : Sexe, race, âge et motif de consultation de l'effectif	91
<i>Annexe 8</i> : Poids, score corporel, fréquences cardiaque et respiratoire de l'effectif	95
<i>Annexe 9</i> : Valeurs des paramètres de l'ECG de l'effectif	97
<i>Annexe 10</i> : Résultats des tests de Khi-deux effectués	101

Table des abréviations

ECG : électrocardiogramme

IFCC-LM : International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine

CLSI : Clinical and Laboratory Standard Institute

ENVT : École Nationale Vétérinaire de Toulouse

bpm : battements par minute

mpm : mouvements respiratoires par minute

BCS : Body Condition Score

IC : intervalle de confiance

FCA : fréquence cardiaque à l'auscultation

FR : fréquence respiratoire

FCC : fréquence cardiaque calculée

BBD : bloc de branche droit

BBG : bloc de branche gauche

BFaG : bloc fasciculaire antérieur gauche

CMR : cardiomyopathie restrictive

DI, DII, DIII : dérivations bipolaires

aVL, aVR, aVF : dérivations unipolaires

Table des illustrations

Liste des figures :

<i>Figure 1</i> : Courbe illustrant la progression de l'onde de dépolarisation enregistrée à l'aide de deux électrodes situées aux pôles opposés de la cellule	23
<i>Figure 2</i> : Schéma illustrant la conduction de la dépolarisation de cellule à cellule ..	24
<i>Figure 3</i> : Schéma illustrant le dipôle cardiaque et les fronts de même potentiel associés à ce dipôle à un instant t donné	25
<i>Figure 4</i> : Schéma du tissu nodal	26
<i>Figure 5</i> : Schéma illustrant la correspondance entre les ondes du tracé ECG et la dépolarisation myocardique	27
<i>Figure 6</i> : Exemple de tracé ECG ininterprétable	29
<i>Figure 7</i> : Schéma illustrant un bloc de branche droit	34
<i>Figure 8</i> : Tracé ECG d'un chat hyperthyroïdien	35
<i>Figure 9</i> : Boîte à moustaches de la répartition des valeurs correspondant à la durée du segment QT	41
<i>Figure 10</i> : Pinces utilisées pour l'acquisition de l'ECG	52
<i>Figure 11</i> : Position de l'animal sur la table	53
<i>Figure 12</i> : Illustration de l'estimation de l'axe électrique moyen du QRS par la méthode de triangulation	55
<i>Figure 13</i> : Diagramme de répartition des âges	58
<i>Figure 14</i> : Visualisation de l'intervalle de référence de l'axe électrique moyen du QRS sur un système hexaxial de Bailey	64

Liste des tableaux :

<i>Tableau 1</i> : Valeurs de référence des paramètres de l'ECG du chat sain généralement utilisés en médecine vétérinaire	31
<i>Tableau 2</i> : Procédures statistiques d'établissement d'intervalles de référence en fonction de la taille de l'échantillon et de la distribution	44
<i>Tableau 3</i> : Intervalles de référence et intervalles de confiance à 90% des fréquences cardiaque et respiratoire à l'examen clinique	60
<i>Tableau 4</i> : Intervalles de référence et intervalles de confiance à 90% de la fréquence cardiaque calculée à partir du tracé ECG	61
<i>Tableau 5</i> : Paramètres statistiques des valeurs d'amplitude et de durée des ondes de l'ECG	62
<i>Tableau 6</i> : Intervalles de référence et intervalles de confiance à 90% des valeurs d'amplitude et de durée des ondes de l'ECG	63
<i>Tableau 7</i> : Intervalles de référence et intervalles de confiance à 90% de l'axe électrique moyen du QRS	64
<i>Tableau 8</i> : Comparaison entre les intervalles de référence calculés dans cette étude et les valeurs généralement utilisées pour l'ECG en médecine féline	70

Introduction

La cardiologie chez les animaux de compagnie est un domaine en pleine expansion, notamment grâce au développement des techniques modernes d'imagerie comme l'échocardiographie.

L'électrocardiographie est, elle, une technique beaucoup plus ancienne. Elle reste encore aujourd'hui le seul moyen d'explorer le rythme cardiaque et de mettre en évidence ses anomalies.

Au milieu du XIX^{ème} siècle, de nombreuses découvertes dans les domaines de la physique et de la biologie permettent d'acquérir les bases de l'électrophysiologie du muscle. Par la suite, d'autres travaux permettent la réalisation des premiers électrocardiogrammes (ECG) chez l'homme. Les appareils de mesure vont continuer de s'améliorer constamment jusqu'au XXI^{ème} siècle.

Aujourd'hui, l'électrocardiographie est pourtant peu utilisée dans la pratique vétérinaire généraliste. Sur le terrain, la lecture de l'ECG n'est pas un geste très courant, et sa réalisation pratique peut également rencontrer des freins. L'un de ces freins est le manque de données précises auxquelles comparer les mesures obtenues, notamment d'intervalles de référence des valeurs de l'ECG propres à chaque espèce d'intérêt vétérinaire.

La médecine féline a pris une part importante dans l'activité des vétérinaires. Les chats, de plus en plus nombreux, sont aujourd'hui plus de 12,7 millions en France (FACCO / TNS SOFRES 2015), et leur place au sein des foyers a beaucoup évolué. Leur médicalisation croissante a permis une augmentation marquée de leur longévité. De plus, les races de chats les plus populaires, comme le Maine Coon, le Sacré Birman ou le Persan (LOOF 2016), sont prédisposées à certaines cardiopathies. Ainsi, la cardiologie est une discipline intéressant de plus en plus les amateurs de félins. Les vétérinaires ont donc un rôle particulier à jouer dans la détection précoce des maladies cardiaques, dont les symptômes apparaissent tardivement et sont souvent discrets pour le propriétaire.

L'électrocardiographie, par son accessibilité et sa spécificité, est une méthode extrêmement intéressante dans le diagnostic et le suivi des troubles du rythme, de certaines affections cardiaques, mais aussi d'affections systémiques extracardiaques.

L'objectif de cette étude est d'établir des intervalles de référence des valeurs de l'ECG chez le chat adulte sain, afin que les praticiens vétérinaires puissent utiliser des valeurs précises, validées statistiquement, avec des méthodes de mesure répétables et accessibles.

Dans un premier temps, nous reviendrons brièvement sur les bases de l'ECG, son intérêt en médecine féline ainsi que sur les méthodes statistiques permettant la construction d'un intervalle de référence.

Dans un deuxième temps seront présentés l'étude expérimentale, son protocole, ses résultats et leur discussion.

Partie 1 : Étude bibliographique

I. L'ECG chez le chat

1. Physiologie de l'ECG

a. Brefs rappels d'électrophysiologie cellulaire et de physiologie cardiaque

Au niveau de la cellule myocardique, les phénomènes de dépolarisation et repolarisation se traduisent par des variations de potentiel électrique de part et d'autre de la membrane. Le signal électrique se propageant sous la forme d'une onde (de proche en proche), deux électrodes de surface, éloignées l'une de l'autre, peuvent alors mesurer cette différence de potentiel. Pour une électrode donnée, si le signal s'approche de cette électrode, il est positif, et s'il s'en éloigne, il est négatif. Une électrode située à un point donné enregistre donc un signal d'abord positif, puis négatif. Ce signal est dit diphasique (*Figure 1*).

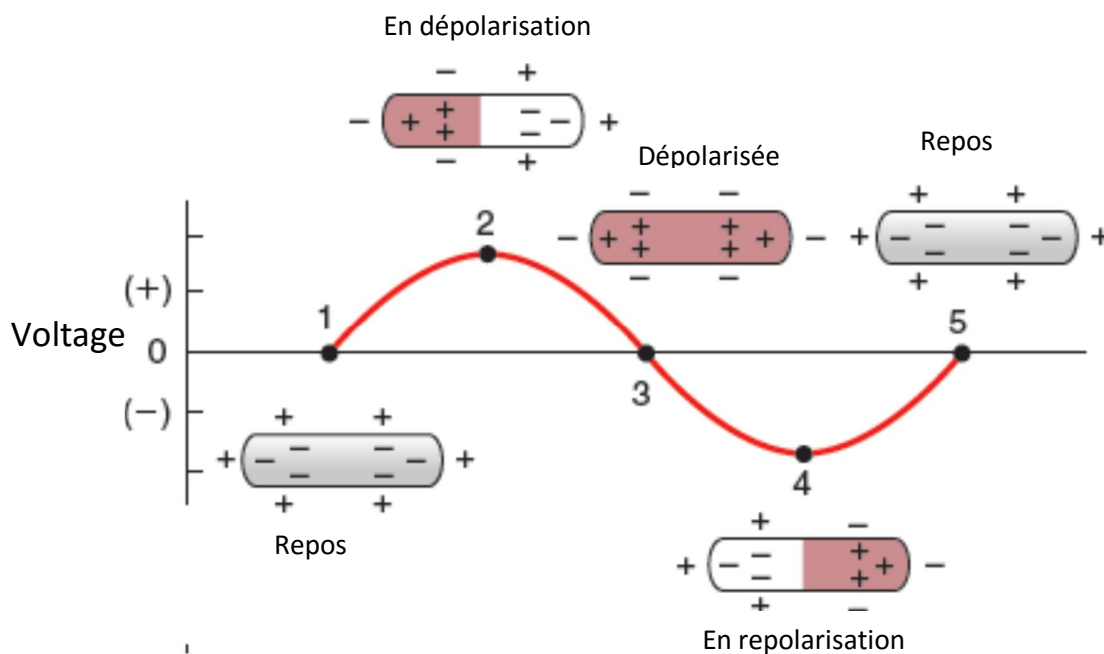


Figure 1 : Courbe illustrant la progression de l'onde de dépolarisation enregistrée à l'aide de deux électrodes situées aux pôles opposés de la cellule (d'après (Cunningham, Klein 2013))

Les membranes séparant les cellules myocardiques sont telles qu'une cellule dépolarisée entraîne la dépolarisation de ses voisines (*Figure 2*).

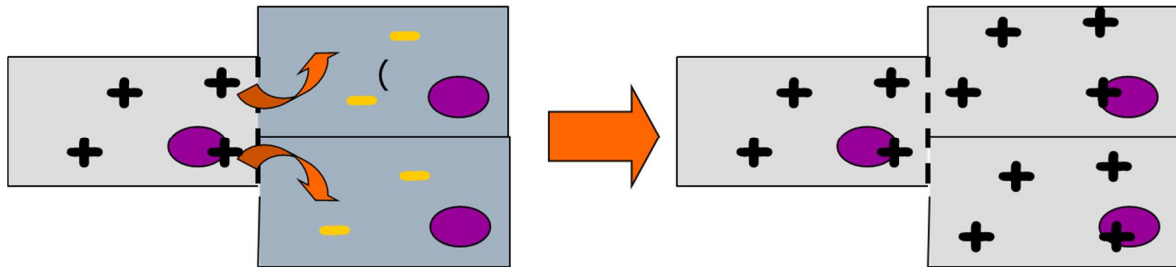


Figure 2 : Schéma illustrant la conduction de la dépolarisation de cellule à cellule

Si l'on considère un ensemble de cellules myocardiques formant un faisceau de fibres parallèles, on peut alors l'assimiler à un dipôle électrique, caractérisé par un vecteur-champ. Ce vecteur-champ comporte une direction (les extrémités du faisceau), un sens (positif ou négatif), et un module (l'amplitude de l'onde). On considère que ce dipôle est mobile, ayant un sens lors de la dépolarisation (contraction des cellules musculaires), et un sens opposé lors de la repolarisation (relaxation).

Cependant, le cœur est difficilement assimilable à un faisceau de fibres parallèles, du fait de sa conformation. Afin de se rapprocher de la modélisation du cœur comme dipôle, il faut admettre quatre hypothèses, établies par Einthoven, physiologiste néerlandais du XIX^{ème} siècle :

- le corps est un milieu conducteur homogène ne déformant pas le signal initial,
- les dimensions du cœur sont négligeables par rapport à celles du corps,
- l'activité cardiaque est assimilable à tout instant à un faisceau de fibres musculaires isolées ,
- le dipôle cardiaque est placé au centre d'un triangle équilatéral, permettant la projection des vecteurs et donc leur mesure.

En admettant les hypothèses d'Einthoven, l'ECG est le tracé correspondant aux variations du vecteur du dipôle cardiaque au cours d'une révolution. Il est obtenu

en plaçant des électrodes de surface au niveau de la peau de l'animal, en des points correspondant aux angles du triangle équilatéral. La différence de potentiel entre deux électrodes correspond à la taille et au sens de la projection du vecteur cardiaque sur un côté du triangle équilatéral.

La dérivation bipolaire DII est obtenue par différence de potentiel entre le membre antérieur droit et le membre postérieur gauche. Étant celle qui suit le grand axe du cœur, elle permet d'obtenir généralement les plus grandes amplitudes, et est la plus utilisée pour les mesures en médecine vétérinaire.

Les autres dérivations sont utiles à d'autres mesures moins courantes du rythme cardiaque.

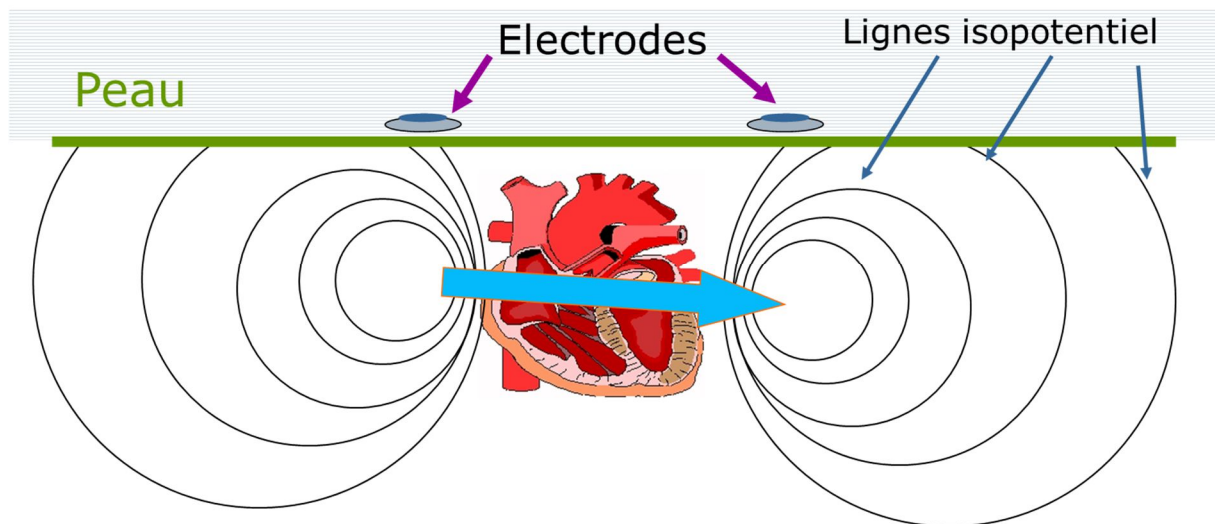


Figure 3 : Schéma illustrant le dipôle cardiaque et les fronts de même potentiel associés à ce dipôle à un instant t donné

Comme tout muscle, le myocarde se contracte grâce à un influx électrique permettant une dépolarisation de la cellule myocardique. La contraction des différents étages cardiaques doit être organisée afin de permettre au cœur de jouer son rôle de « pompe » du système circulatoire.

L'onde de dépolarisation a un point de départ, le nœud sinusal (aussi appelé nœud sino-atrial ou sino-auriculaire), qui entraîne une dépolarisation de proche en proche.

Le nœud sinusal est considéré comme le « pace-maker », car c'est lui qui impose la fréquence cardiaque. Le nerf vague assure son innervation, et les variations de tonus vagal peuvent agir sur la fréquence de dépolarisation du nœud sinusal. Cette première phase de dépolarisation entraîne la contraction des oreillettes.

Les deux étages cardiaques (atrial et ventriculaire) sont séparés par un anneau fibreux empêchant toute conduction du signal électrique. Après la dépolarisation de l'étage atrial, l'influx atteint le nœud atrio-ventriculaire. Ce nœud est relié à l'étage ventriculaire par une voie étroite de tissu nodal qui traverse l'anneau fibreux, appelée faisceau de His. Ce faisceau conducteur chemine d'abord dans le septum interventriculaire, avant de se diviser en une branche droite, qui conduit le signal vers le ventricule droit, et une branche gauche, qui se subdivise elle-même en deux faisceaux, antérieur et postérieur, vers le ventricule gauche. Suite à ces branches et faisceaux, un fin réseau de conduction se ramifie dans le myocarde, appelé fibres de Purkinje (Martin 2015) (*Figure 4*).

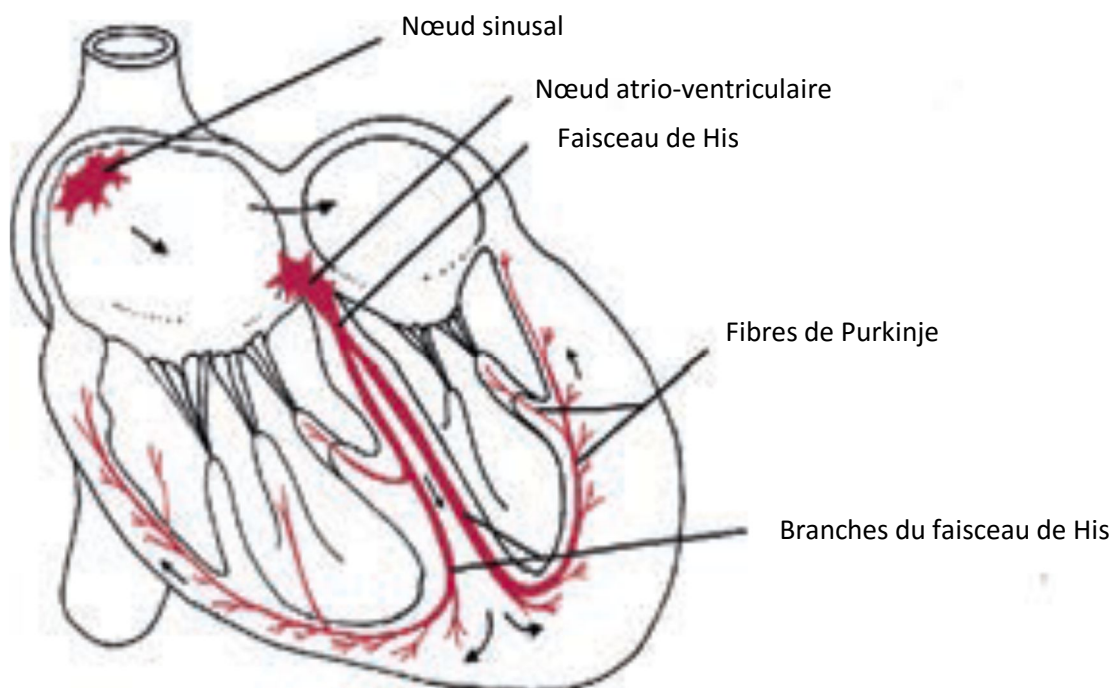


Figure 4 : Schéma du tissu nodal (d'après (Martin 2015))

L'activité électrique du cœur est cyclique, dépendante de la fréquence de dépolarisation du nœud sinusal, et régulière (l'influx est toujours dirigé de la même façon à travers le myocarde). L'ECG est la seule technique permettant de mesurer cette activité électrique du cœur.

b. Les ondes de l'ECG

L'électrocardiogramme permet donc de visualiser indirectement les différentes phases de la révolution cardiaque. Ainsi, la dépolarisation des oreillettes, puis du septum interventriculaire, puis des parois ventriculaires, puis de la base, et enfin la repolarisation des ventricules sont les phénomènes électriques myocardiques visibles sur un tracé ECG (*Annexe 1*). Ils correspondent chacun à une onde précise, appelées déflexions, et nommées par les lettres PQRST, utilisées pour la première fois par Einthoven en 1895 (Hurst 1998).

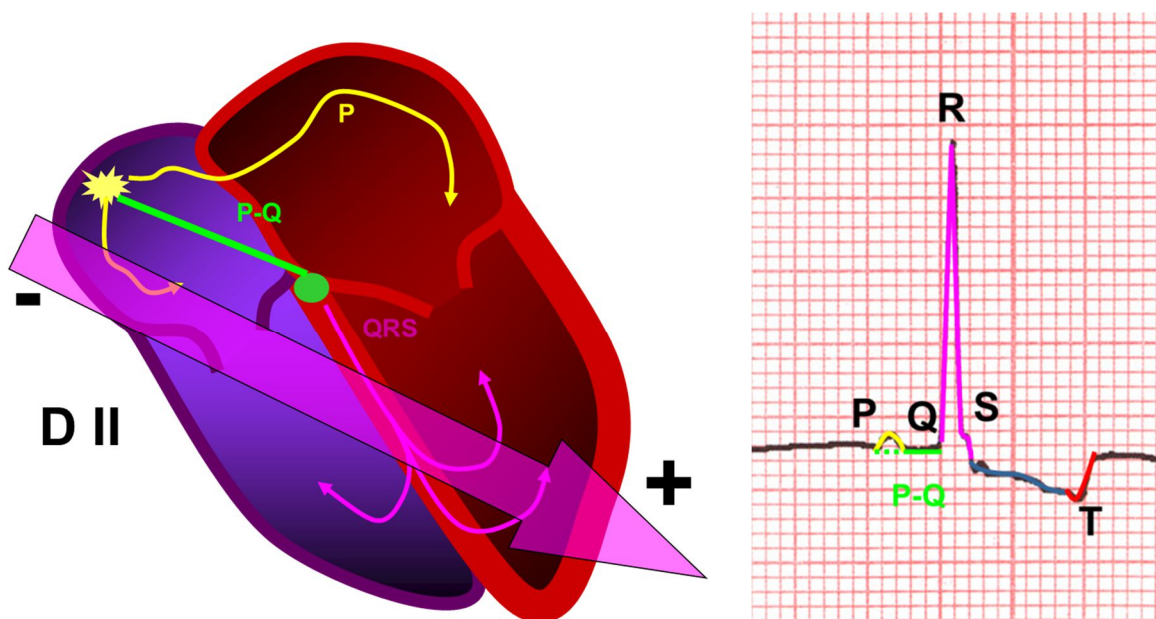


Figure 5 : Schéma illustrant la correspondance entre les ondes du tracé ECG et la dépolarisation myocardique

L'onde P correspond à la dépolarisation, donc la contraction, des oreillettes, c'est-à-dire à la progression du signal partant du nœud sinusal.

Lorsque ce signal atteint le nœud atrio-ventriculaire, l'onde de dépolarisation qui correspond à la contraction des ventricules forme le complexe QRS, qui est un complexe triphasique. En effet, le signal électrique emprunte le faisceau de His, il y a d'abord une dépolarisation du septum interventriculaire, qui forme l'onde Q, petite et légèrement négative en DII. La dépolarisation se déploie ensuite dans la plus grande partie de la masse ventriculaire, c'est l'onde R, généralement grande et positive en DII car suivant le grand axe cardiaque. Enfin, la dépolarisation atteint les cellules myocardiques les plus éloignées du point de départ du signal électrique, c'est la contraction de la base du cœur, correspondant à l'onde S.

La dernière onde visible est l'onde T, qui correspond à la repolarisation, donc la relaxation, des ventricules. A cause de retards à la repolarisation dans les endroits soumis à de fortes pressions intra-cavitaires (notamment à l'apex du cœur), cette onde n'est pas triphasique mais généralement monophasique (parfois biphasique).

On mesure également les intervalles entre les ondes P-Q et Q-T. Le segment PQ est un indicateur de la bonne communication entre l'étage atrial et l'étage ventriculaire. En effet, pour permettre une contraction organisée, d'abord atriale puis ventriculaire, il existe un léger retard à la conduction du signal électrique à l'intérieur du nœud atrio-ventriculaire. Le segment PQ représente donc le temps entre la sortie de l'onde de dépolarisation du nœud sinusal (début de P) et sa sortie du nœud atrio-ventriculaire (début de QRS). Le segment QT, quant à lui, représente la phase précoce de la repolarisation des ventricules, il est donc un reflet de la période réfractaire suite à la contraction des cellules myocardiques.

On appelle ligne de base la ligne isoélectrique du cœur. Elle correspond au tracé qui serait observé sur un ECG si le cœur n'avait aucune activité électrique, chez un individu au repos. Elle est généralement horizontale.

2. Particularités de l'ECG chez le chat

Le chat étant un animal stressé en conditions cliniques, sa fréquence cardiaque est généralement élevée (au-delà de 150 battements par minute (bpm), jusqu'à 260 dans certains cas), mais des chats de grand format et plutôt calmes peuvent avoir une fréquence cardiaque comprise entre 100 et 140 bpm. Du fait de ce stress, la ligne de base du tracé peut parfois être difficile à stabiliser (tremblements, ronronnement de stress).

Une autre grande particularité du chat est la faible amplitude des déflexions enregistrées au niveau du tracé. Cet hypovoltage, associé à la tachycardie et à l'irrégularité de certains tracés, peut rendre l'interprétation de l'ECG délicate en masquant certaines ondes, en particulier lors de troubles du rythme impliquant des irrégularités (Chetboul 2016).

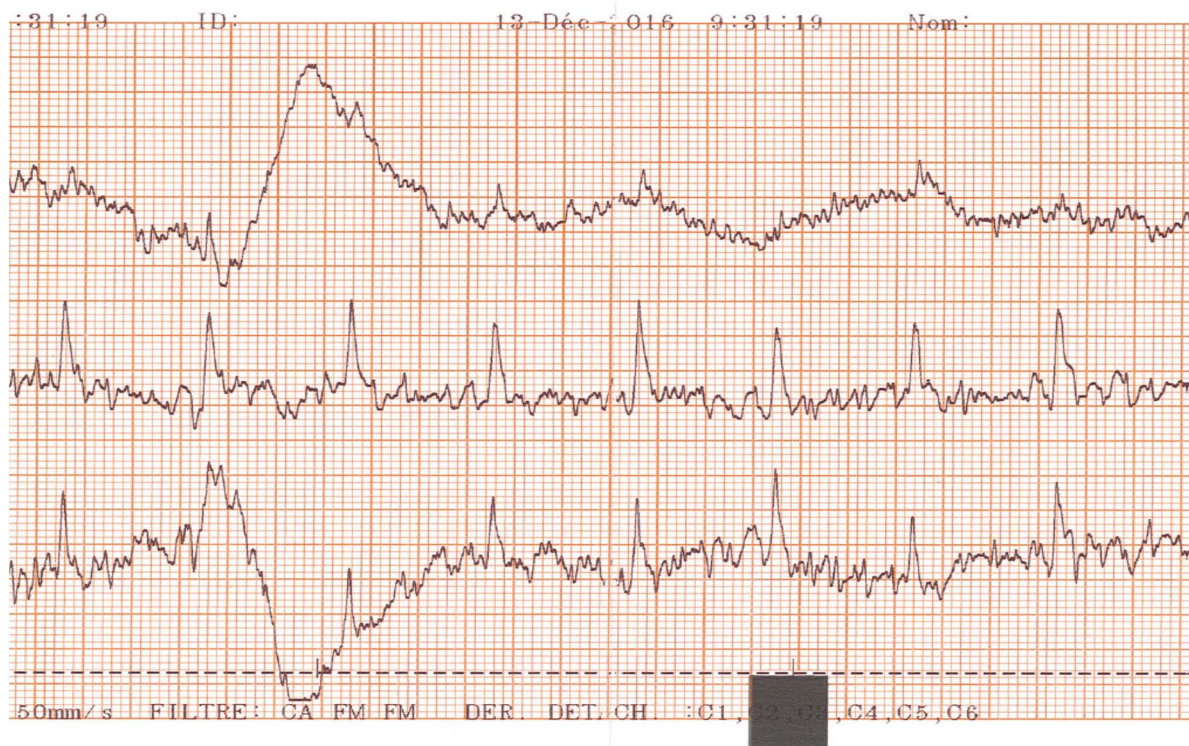


Figure 6 : Exemple de tracé ECG ininterprétable chez un chat.

3. Connaissances de l'ECG chez le chat

L'électrocardiographie étant une technique relativement ancienne en médecine vétérinaire, de nombreuses données sont déjà disponibles. Néanmoins, aucune étude n'a établi d'intervalles de référence des valeurs de l'ECG chez le chat d'après les recommandations statistiques actuelles.

Certaines études se sont penchées sur les valeurs d'amplitude et de durée des différentes ondes et segments du tracé ECG. Cependant, si ces dernières sont relativement nombreuses, le nombre de chats utilisés ne permet pas de définir de façon idéale des intervalles de référence (Friedrichs et al. 2012).

Ainsi, Robertson, en 1976, a mesuré les valeurs de l'ECG sur 92 chats, considérés sains et ayant un ECG normal. Cependant, les analyses statistiques propres à l'établissement d'intervalles de référence n'ont pas été utilisées, et les critères de sélection n'ayant pas été décrits correctement, ses valeurs n'ont jamais servi de référence (Robertson, Ewell 1976).

Par la suite, les études de Tilley et Gompf en 1977 et 1979, dont les valeurs sont, elles, largement utilisées comme référence (*Tableau 1*), prennent en compte des mesures effectuées sur respectivement 46 et 50 chats, ce qui se situe bien en-deçà du seuil statistique de 120 individus, recommandé pour les intervalles de référence (Tilley, Gompf 1977; Gompf, Tilley 1979).

Plus récemment, Ware et Christensen se sont intéressés à la durée du seul intervalle QT, en utilisant la technique du Holter (enregistrement d'un ECG sur 24h grâce à un dispositif portable). Cette technique permet de comparer un grand nombre d'intervalles, et est donc plus précise, mais ces mesures n'ont été réalisées que sur 20 animaux, échantillon insuffisant pour établir un intervalle de référence (Ware, Christensen 1999).

	Valeurs
Durée de P (s)	<0,04
Amplitude de P (mV)	<0,2
Durée de PR (s)	0,05-0,09
Durée de QRS (s)	<0,04
Amplitude de QRS (mV)	<0,9
Durée de QT (s)	0,12-0,18
Amplitude de T (mV)	<0,3
Axe électrique moyen du QRS (°)	0-160

Tableau 1 : Valeurs de référence des paramètres de l'ECG du chat sain généralement utilisés en médecine vétérinaire, établis par Tilley et Gompf en 1977 (Tilley, Gompf 1977).

D'autres études ont délibérément inclus des chats cardiopathes (Harvey et al. 2005; Schrope et al. 1995). Or, des intervalles de référence ne peuvent par définition qu'être établis sur des animaux sains.

Par ailleurs, certaines études ont pour but de comparer leurs résultats obtenus dans un territoire géographique donné, pour un âge donné, une race ou dans des conditions particulières, avec les données de la littérature. Les valeurs mesurées ne peuvent servir d'intervalles de référence, qui doivent être indépendants de ce type de variable pour être applicable (Rousselot 1980; Lourenço, Ferreira 2003; Ferasin, Amodio, Murray 2006; Hanås et al. 2009; Atmaca et al. 2014; Ahmed, Nashiruddullah, Konwar 2016).

Enfin, les conditions dans lesquelles ont été acquis les ECG ne sont pas forcément aisément reproductibles en consultation vétérinaire, comme par exemple l'acquisition d'ECG sous anesthésie générale, (Pereira et al. 2004; Rogers, Bishop 1971; Coulter, Calvert 1981). Les conditions de l'étude peuvent aussi être des

conditions stressantes, comme l'utilisation d'un filet de contention (Nara et al. 1986), non souhaitables pour le vétérinaire praticien, amené à revoir l'animal régulièrement.

L'importance clinique de l'ECG est la détection et la caractérisation des arythmies de l'animal, qu'elles soient pathologiques ou non. Il existe actuellement peu de données sur la prévalence des arythmies physiologiques dans la population féline. Quelques valeurs sont établies dans des études utilisant la technique du Holter, mais en raison du faible nombre d'animaux impliqués dans ces études, cette prévalence ne peut pas être appliquée à la population générale (Hanås et al. 2009; Ware 1999). On trouve aussi des avis d'experts en cardiologie des animaux de compagnie mentionnant la présence physiologique de certaines arythmies. Ainsi, les blocs de branche droits, les anomalies du segment ST et de l'onde T peuvent se retrouver sur un tracé ECG d'un chat parfaitement sain (Tilley 1992).

II. Intérêts et limites de l'ECG en médecine féline

Le cœur est au centre de la grande fonction vitale qu'est la circulation. Il peut être affecté par de nombreuses maladies, d'origine cardiaque ou non. L'ECG présente alors de nombreuses indications.

1. L'ECG et les maladies cardiaques

La fonction principale de l'ECG étant la visualisation du rythme cardiaque, il permet la mise en évidence mais aussi la caractérisation des arythmies.

La réalisation d'un ECG est indiquée en cas d'anomalies du rythme cardiaque à l'examen clinique, de commémoratifs de syncope, ou d'épisodes de faiblesse non expliqués par exemple (Doreste, Stern, Lahmers 2013; Wetmore, Kittleson, Heitman 1986). L'expression clinique des arythmies est très variable en fonction de leur type et de leur intensité. Leur importance peut être totalement bénigne voire considérée comme physiologique, mais elles peuvent parfois mettre la vie de l'animal en danger (Côté 2010; Ware 1999; Hanås et al. 2009).

L'ECG peut aussi être un examen de détection de certaines cardiopathies, même si l'échocardiographie doit être préférée pour cette indication. Ainsi, 20 à 30% des chats présentant une cardiomyopathie présentent également un bloc de branche du faisceau antérieur gauche, qui est une anomalie de conduction dans une partie du ventricule gauche (cf. I. 1. b.).

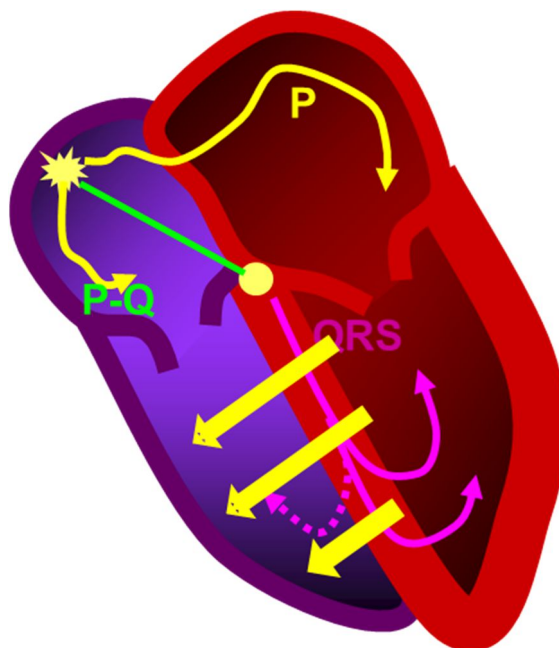


Figure 7 : Schéma illustrant un bloc de branche droit. La rupture de conduction dans le tissu nodal est représentée par la flèche rose en pointillés, tandis que les flèches jaunes épaisses représentent la conduction de cellule à cellule, plus lente et empruntant un trajet différent, conduisant au BBD.

D'autre part, 10 à 30% des chats myocardiopathes présentent à l'ECG des modifications morphologiques de certaines ondes, évocatrices d'élargissement de cavités, ou des anomalies de conduction. Cependant, ces anomalies peuvent n'être que transitoires, l'ECG standard effectué au moment de la consultation est alors un test diagnostique très peu sensible du fait de sa courte durée, un examen de type Holter sera plus indiqué (Ferasin 2009; Côté 2010).

Enfin, un tracé ECG présentant une alternance électrique ou une amplitude diminuée des complexes QRS peut permettre de suspecter une tamponnade (Tilley, Smith 2008).

2. L'ECG et les maladies extracardiaques

De nombreuses maladies extracardiaques peuvent avoir un effet sur l'activité cardiaque. Les troubles électrolytiques, en particulier, qu'ils soient primaires ou secondaires à une maladie systémique, sont souvent générateurs d'anomalies visibles sur le tracé ECG. En effet, ils entraînent des perturbations de l'équilibre ionique entre les espaces intra- et extracellulaire, à l'origine d'anomalies de dépolarisation ou repolarisation des cellules (Spalla et al. 2013; Coulter, Duncan, Sander 1975; Tag, Day 2008). Des arythmies modérées à marquées peuvent également être observées suite à des phénomènes néoplasiques, en particulier lors de masses spléniques (Côté 2010). Les atteintes des thyroïdes, généralement une hyperthyroïdie chez le chat, sont souvent génératrices d'anomalies de l'ECG (Keene, Peterson 1980; Tilley 1992). Enfin, des atteintes extracardiaques fortement stimulatrices du nerf vague peuvent être à l'origine d'une arythmie sinusale respiratoire très marquée. C'est par exemple le cas de certaines atteintes du tractus respiratoire ou digestif, mais cela peut aussi subvenir lors d'atteintes du système nerveux central (Tilley, Smith 2008; Garrod, Rush 1996).

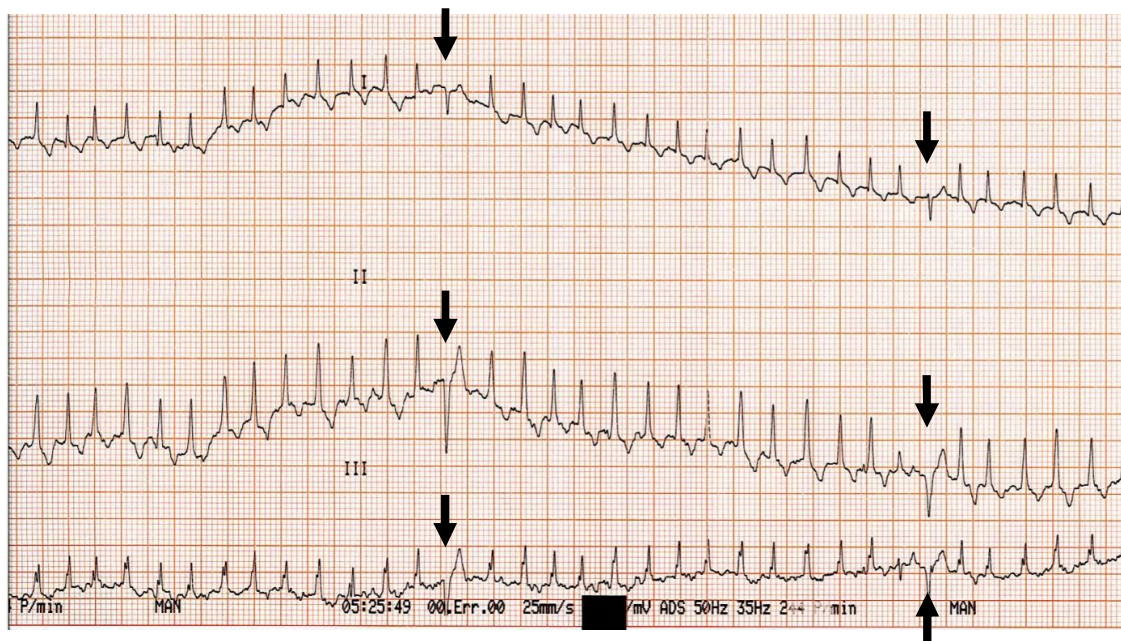


Figure 8 : Tracé ECG d'un chat hyperthyroïdien mettant en évidence des extrasystoles ventriculaires gauches (flèches)

3. L'ECG au cours du monitoring clinique

L'ECG trouve de nombreuses applications dans certaines disciplines comme l'anesthésie ou les soins intensifs, car il permet de pouvoir monitorer le rythme cardiaque à l'aide de moyens non invasifs. Ainsi, il est aujourd'hui recommandé de visualiser au moins une dérivation de tracé ECG lors de toute anesthésie gazeuse, a fortiori lorsqu'il existe un risque de stimulation cardiaque, directe ou par l'intermédiaire d'un nerf comme le nerf vague (Hall, Clarke, Trim 2001). De même, la surveillance de l'effet de certains produits toxiques, ou encore la mise en place de traitements d'urgence, nécessitent d'avoir au moins une dérivation de l'ECG (Ford, Mazzaferro 2012).

III. Construction d'un intervalle de référence

1. Pourquoi construire un intervalle de référence

La notion d'intervalle de référence a été introduite pour la première fois en médecine humaine en 1969 (Gräsbeck, Saris 1969). Les premières directives d'établissement de ces intervalles ont été établies en 1970, par l'IFCC-LM (*International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*). Elles ont ensuite été rapidement appliquées à la médecine vétérinaire par Lumsden et ses collègues (Friedrichs et al. 2011). Avec le concours du CLSI (*Clinical and Laboratory Standards Institute*), ces recommandations sont régulièrement revues, la dernière mise à jour datant de 2010 (Wayne 2010). L'ASVCP (*American Society for Veterinary Clinical Pathology*) a retranscrit ces directives internationales pour les adapter à la médecine vétérinaire, comme le relate Friedrichs en 2012 (Friedrichs et al. 2012).

Les études sur les valeurs de l'ECG du chat évoquées précédemment ont obtenu des intervalles à l'aide d'un nombre de chats restreint (jusqu'à 50 animaux pour Gompf et Tilley en 1979). Il existe deux catégories de valeurs :

- soit la population utilisée n'a pas fait l'objet d'une sélection rigoureuse, avec définition exhaustive de critères d'exclusion : ce sont alors des valeurs *normales* ou valeurs *usuelles*

- soit la population a été sélectionnée à l'aide de critères bien définis, en excluant les sujets présentant un risque d'anomalie, on parle alors de valeurs *de référence* (Vidal 2017; Friedrichs et al. 2012)

Ainsi, les valeurs normales ou usuelles peuvent entraîner un biais lors de leur utilisation en tant qu'intervalle, par une probabilité importante d'inclusion d'animaux non sains. On leur préfère donc, selon les recommandations internationales en vigueur, l'utilisation d'intervalles *de référence*, établis à l'aide des valeurs de référence.

Cependant, du fait du processus de sélection statistique, la population de départ doit être suffisamment nombreuse, afin d'éviter la production de valeurs aberrantes, appelées « *outliers* ». Ce nombre est fixé à plus de 120 individus. L'intervalle de référence est généralement constitué par 95% des valeurs mesurées.

Pour définir cet intervalle de référence, il faut d'abord définir un ensemble de notions.

Les individus de référence, sont les individus pouvant être sélectionnés selon les critères définis par l'étude. L'ensemble des individus de référence constitue la population de référence.

Un groupe échantillon de référence est sélectionné parmi la population de référence. Il doit être représentatif, aussi bien au niveau des critères d'inclusion et d'exclusion définis par l'étude. La taille de l'échantillon doit permettre l'application des tests statistiques.

La valeur de référence est la valeur mesurée ou observée, unique, d'un individu de référence. L'ensemble des valeurs de référence forment la distribution de référence. On définit alors des limites de référence, qui constituent les bornes de l'intervalle de référence. L'intervalle de référence contient généralement 95% des valeurs centrales. Cela signifie que 5% des individus considérés en bonne santé ont des valeurs qui ne sont pas dans l'intervalle de référence (Geffré et al. 2009).

2. Enquête préliminaire

L'intervalle de référence devant être établi selon des critères précis, il faut préalablement définir ces critères, qui rassemblent tout ce qui peut être à l'origine d'une variation du paramètre que l'on cherche à mesurer. La recherche de cette variabilité, dans la littérature scientifique, se doit d'être la plus complète possible, afin de limiter des interférences avec l'établissement des intervalles de référence. Ces facteurs de variations peuvent être inhérents à l'animal, comme par exemple l'âge ou le stade physiologique, mais ils peuvent aussi être imputables à la méthode utilisée, comme dans notre cas l'acquisition d'un ECG sous anesthésie (Friedrichs et al. 2012).

3. Sélection des individus de référence

Selon la définition de l'IFCC-LM/CLSI, un intervalle de référence doit être établi à l'aide de valeurs mesurées sur des individus en bonne santé. Or l'état de bonne santé est une notion complexe, qui implique la validité de nombreuses conditions.

Suite à l'enquête préliminaire, les conditions liées à la variabilité de la valeur mesurée étant connues, elles permettent de pratiquer un échantillonnage de la population totale. Cet échantillonnage peut se faire de façon directe ou indirecte.

La technique d'échantillonnage directe, recommandée actuellement, est liée à l'étude. Elle permet une sélection dite *a priori* si les critères d'inclusion et d'exclusion ont été définis avant sélection des individus de référence, ou une sélection *a posteriori* si ces critères sont définis après avoir effectué les mesures de l'étude. La sélection dite *a posteriori* est utilisée lorsque l'enquête préliminaire ne permet pas de définir des critères efficaces, alors créés au cours de l'étude. Cette sélection *a posteriori* implique d'avoir un très grand nombre d'individus, afin de pouvoir appliquer un tri efficace en gardant suffisamment de valeurs pour établir l'intervalle de référence.

La technique d'échantillonnage indirecte utilise des données déjà collectées, issues d'une base de données, comme un laboratoire ou un hôpital. Des précautions particulières doivent être prises pour éviter d'inclure des individus ne répondant pas

aux critères de la bonne santé. Cette technique n'est pas recommandée par le comité IFCC-LM/CLSI, qui estime qu'elle est trop imprécise (Henny 2011).

Les critères d'exclusion permettent de s'assurer au maximum de la bonne santé des individus. Ils doivent donc être définis de façon exhaustive, suite à l'enquête préliminaire. Cependant, ils ne doivent pas être trop stricts, sous peine de sélectionner une frange de population non représentative de la population générale en bonne santé.

Les critères d'inclusion, eux, permettront ensuite de classer la population en sous-groupes. Ils permettent d'effectuer des tests statistiques supplémentaires dans le but de construire des intervalles de référence plus précis (Geffré et al. 2009). Les critères d'inclusion les plus couramment utilisés en médecine vétérinaire sont par exemple l'âge, la race, le sexe, l'origine géographique (Friedrichs et al. 2012).

Selon les dernières recommandations, l'idéal est d'avoir un nombre minimum de 120 individus. Cela implique que s'il existe un risque d'élimination lors du prélèvement (si un des critères d'exclusion n'intervient qu'au cours de la phase analytique par exemple), le nombre d'individus devra être supérieur à ce seuil. Si cette quantité est trop difficile à atteindre, comme en faune sauvage notamment, les recommandations sont d'avoir un nombre d'individus le plus important possible, tout en sachant que l'intervalle de confiance diminuera d'autant que le nombre d'animaux est faible (Geffré et al. 2009; Friedrichs et al. 2012).

4. Procédure pré-analytique

La préparation des animaux sélectionnés, leur manipulation, ainsi que la collecte des mesures sont des étapes qui doivent faire l'objet d'une standardisation. En effet, les facteurs pré-analytiques peuvent potentiellement être à l'origine de variations de la valeur mesurée. On définit donc, en fonction de l'enquête préliminaire, une procédure permettant de limiter ces facteurs de variations intra et interindividuelles.

Ces facteurs de variation forment ce que l'on appelle l'erreur analytique. Elle se compose de l'erreur aléatoire, ou coefficient de variation ou imprécision, et de l'erreur systématique ou biais, aussi appelée inexactitude. L'erreur aléatoire renvoie à la

variation entre des mesures répétées sur un même échantillon par un même opérateur, elle représente la répétabilité de la mesure. L'erreur systématique, elle, est la différence entre la mesure et la vraie valeur de l'échantillon considéré. La vraie valeur est généralement établie à l'aide d'une méthode de référence appelée « *gold-standard* ».

Une dernière notion importante pour l'établissement d'intervalles de référence est celle de la reproductibilité, c'est-à-dire qu'avec la même méthode, et sur le même échantillon, un opérateur différent avec un équipement différent doit retrouver la même valeur mesurée (Ducauze, Baillet-Guffroy, Bui s.d.).

5. Acquisition des données

Pour obtenir la valeur la plus fiable possible, la procédure indiquant les conditions de mesures et leur enregistrement doit être stricte, et explicite. En effet, en raison des possibles changements de manipulateur, l'acquisition des données doit être standardisée pour optimiser la reproductibilité et réduire l'erreur non due aux variations intra et interindividuelles. Il faut de plus établir des critères de rejet d'échantillons, afin de pouvoir contrôler la qualité des données au fur et à mesure de leur collecte, et si besoin, de reprendre une mesure (Friedrichs et al. 2012).

6. Analyse statistique

a. Visualisation graphique

La première étape de l'analyse statistique est la visualisation graphique des données recueillies. Cette étape permet une bonne visualisation de la distribution des données, ainsi qu'une mise en évidence facilitée des valeurs aberrantes. Les représentations graphiques les plus utilisées sont les histogrammes, mais d'autres

formes comme les boîtes à moustaches ou les graphiques de points peuvent être employées (Geffré et al. 2009) (Figure 2).

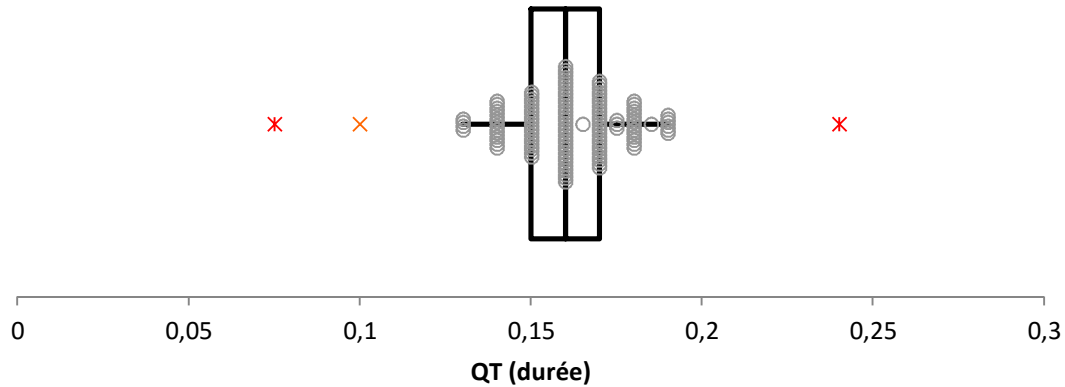


Figure 9 : Boîte à moustaches de la répartition des valeurs correspondant à la durée du segment QT. Les valeurs aberrantes sont représentées par les étoiles rouges, la croix orange représente une valeur suspecte.

b. Identification et élimination des valeurs aberrantes

Les valeurs aberrantes, appelées « *outliers* », sont des valeurs erronées, qui s'éloignent significativement des valeurs de référence « vraies ». Elles sont issues d'individus non sains inclus par erreur dans l'étude, ou d'individus non représentatifs de la population de référence. Elles peuvent aussi être dues à des erreurs de procédure, lors des étapes pré-analytique, analytique ou post-analytique. La difficulté dans la rencontre de ces *outliers* est qu'ils ne doivent pas intervenir dans le calcul statistique de l'intervalle de référence, car à moins d'avoir un groupe d'individus extrêmement important, l'estimation des limites de l'intervalle dépend en grande partie des valeurs extrêmes, dont font partie ces *outliers*. Il faut donc pouvoir les identifier et les éliminer, ce qui peut être réalisé visuellement à l'aide d'un histogramme par exemple. Cependant, leur élimination doit être raisonnée, car ils peuvent appartenir à la distribution normale de la population de référence. Afin de faciliter leur détection, il existe des tests statistiques, en complément de la visualisation graphique (Solberg 2005; Horn et al. 2001; Dixon 1953).

Deux tests statistiques sont particulièrement utilisés aujourd'hui, et recommandés par l'IFCC-LM/CLSI.

Le plus ancien est la méthode de Dixon. Elle peut être utilisée quel que soit le type de distribution des données. Cette méthode favorise la rétention des données et non leur élimination. Ce test est défini par le critère de rejet suivant : $D/R > 0,3$, avec D la valeur absolue de la distance entre la valeur considérée, et la valeur suivante la plus proche, et R la valeur absolue de la distance entre les deux valeurs extrêmes de la population. Une valeur pour laquelle cette inégalité est respectée est classée comme valeur aberrante. Toutes les valeurs plus extrêmes que celle-ci seront considérées comme aberrantes, et éliminées. Par itérations successives, ce test permet de réduire l'intervalle aux strictes valeurs de référence. Le critère de rejet peut être adapté à l'étude à l'aide de tables, qui dépendent du nombre anticipé d'*outliers*, du nombre de valeurs de référence utilisé, et de l'intervalle de confiance voulu. Cependant, cette méthode est limitée dans la détection de séries de valeurs aberrantes si ces valeurs sont proches entre elles (Geffré et al. 2009; Dixon 1953).

L'autre méthode classiquement utilisée est l'algorithme de Horn, fondé sur les travaux de Tukey. Il faut cette fois que la distribution des données s'apparente à une loi de distribution gaussienne (aussi appelée distribution normale), que ce soit avant ou après transformation. Cette approche permet d'identifier directement plusieurs *outliers* à la fois, et favorise l'élimination plutôt que la conservation. Ce test utilise les 25^{èmes} et les 75^{èmes} percentiles, respectivement Q_1 et Q_3 pour définir l'intervalle interquartile IQR, défini comme $IQR = Q_3 - Q_1$. Toute valeur excédant les bornes $[Q_1 - 1,5 \times IQR ; Q_3 + 1,5 \times IQR]$ est alors considérée comme aberrante, et éliminée du traitement statistique des données. Cette méthode est plus sensible et plus spécifique que la méthode de Dixon, mais sa faiblesse est de dépendre de la distribution gaussienne, qui est rarement parfaite, avec transformation ou non, et peut entraîner des erreurs lors de la formation des intervalles (Solberg 2005; Horn et al. 2001).

Pour l'établissement d'intervalles de référence, il est important de noter le nombre de valeurs éliminées du calcul statistique, et la raison de leur élimination (Geffré et al. 2009).

c. Détermination de la distribution des valeurs de référence

Les méthodes statistiques utilisées peuvent dépendre du type de distribution des valeurs collectées. La distribution peut être gaussienne (c'est-à-dire qu'elle suit une loi normale), ou non gaussienne. La détermination du type de distribution se fait d'une part par examen visuel de l'histogramme, et d'autre part à l'aide d'un test statistique de validité d'ajustement, comme le test d'Anderson-Darling par exemple. Si la distribution n'est pas gaussienne mais que la méthode statistique l'impose, une transformation peut être effectuée, à l'aide de fonctions appropriées, comme la fonction logarithmique ou la méthode de transformation de Box-Cox (Geffré et al. 2009).

d. Méthodes statistiques de détermination d'un intervalle de référence

Pour établir un intervalle de référence, trois procédures statistiques sont recommandées par l'IFCC-LM/CLSI. La méthode la plus couramment utilisée pour cette utilisation est la méthode dite paramétrique. Cependant, cette méthode repose sur l'utilisation d'une distribution gaussienne. Si la normalité n'est pas obtenue, même avec une transformation, l'établissement de l'intervalle de référence passe par la méthode dite robuste. La distribution des valeurs doit quand même être symétrique pour pouvoir prétendre à l'utilisation de cette méthode.

Dans les autres cas de figures, la méthode dite non-paramétrique pourra être choisie si l'étude comporte plus de 120 valeurs. Cette valeur seuil est nécessaire pour obtenir un intervalle de confiance de 90%.

Taille de l'échantillon	Distribution (d'origine ou transformée)	Méthode statistique
≥ 120	Gaussienne ou non	Non paramétrique avec un IC de 90%
$40 \leq x < 120$	Gaussienne	Paramétrique ou robuste avec un IC de 90%
	Non gaussienne	Non paramétrique ou robuste* avec un IC de 90%
$20 \leq x < 40$	Gaussienne	Paramétrique avec un IC de 90%
	Non gaussienne	Robuste avec un IC de 90%
$10 \leq x < 20$	Non applicable	Ne pas calculer d'intervalle de référence
< 10	Non applicable	Ne pas calculer de valeurs de référence

Tableau 2 : Procédures statistiques d'établissement d'intervalles de référence en fonction de la taille de l'échantillon et de la distribution (Friedrichs et al. 2012). IC : intervalle de confiance, * : doit être préféré

Suite à l'application d'une de ces méthodes, on obtient un intervalle contenant 95% des valeurs centrales du groupe échantillon de référence, normalement représentatif de la population de référence (cf. III. 1.). Les bornes inférieure et supérieure de cet intervalle sont définies respectivement par le 2,5^{ème} centième et le 97,5^{ème} centième des valeurs de groupe échantillon de référence (Geffré et al. 2009).

e. Détermination de l'intervalle de confiance

L'intervalle de référence étant calculé sur un groupe échantillon de la population de référence, il forme seulement une estimation, aussi précise soit-elle, des vraies valeurs de la population de référence prise dans son ensemble. L'intervalle de confiance est l'intervalle contenant, avec une certaine probabilité, la valeur choisie dans la population de référence, ici les bornes limites de l'intervalle de référence. Plus le nombre de valeurs mesurées est grand, plus cet intervalle de confiance est

important. C'est donc un paramètre indicateur de la précision de l'estimation effectuée. D'après les recommandations en vigueur, l'intervalle de confiance ne doit pas excéder 20% de la taille totale de l'échantillon recueilli, auquel cas des valeurs supplémentaires devront être introduites dans l'étude (Wayne 2010).

Ces recommandations concernant l'établissement de valeurs de référence ont initialement été appliquées pour des mesures de biologie médicale. Mais, ce raisonnement permet d'apporter de la rigueur à toute mesure physiologique, et introduit notamment la notion d'intervalle de confiance.

Dans cette étude, il nous a paru intéressant d'établir les intervalles de référence des valeurs de l'ECG chez le chat en suivant ce protocole rigoureux.

Partie 2 : Étude expérimentale

I. Protocole expérimental

Nous avons décidé dans cette étude de réaliser un échantillonnage de type direct (lié strictement à l'étude), avec une sélection *a priori*.

Le protocole défini ci-après a reçu l'approbation du Comité d'Ethique de l'E.N.V.T. (n° SA_2016-013).

1. Définition de la population de référence

Suivant les recommandations les plus récentes de l'IFCC-LM/CLSI pour calculer un intervalle de référence, la population de référence a été définie par la population de chats domestiques (*Felis sylvestris catus*) adultes en bonne santé. Afin d'obtenir un traitement statistique satisfaisant, l'échantillonnage de cette population de référence doit concerner au moins 120 individus.

2. Critères de sélection

Les animaux sélectionnés dans cette étude sont des chats emmenés à l'ENVT pour une consultation et appartenant à des particuliers. Les critères de sélection utilisés pour déterminer le groupe échantillon de référence ont été établis *a priori*.

a. Critères d'inclusion

Pour être inclus dans l'étude, les individus doivent être :

- de l'espèce *Felis sylvestris catus*
- adultes (animaux âgés de 1 à 10 ans)
- avec un historique médical sans antécédent ayant une possible répercussion cardiovasculaire, incluant notamment :
 - absence de précédente détection de souffle cardiaque
 - absence d'antécédents de toux ou de maladie respiratoire

- absence d'augmentation de la pression artérielle systémique
- absence d'antécédent d'augmentation de la pression intraoculaire
- absence d'antécédent de maladie systémique chronique (notamment de troubles digestifs pouvant être un signe d'hyperthyroïdie)
- avec un examen clinique sans anomalie (examen général, examen des muqueuses, fréquences cardiaque et respiratoire)
- n'ayant pas reçu de traitement systémique depuis plus de sept jours
- venant pour une consultation dans un des services des cliniques de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse (E.N.V.T.) suivants :
 - médecine préventive (vaccination, suivi de nutrition),
 - reproduction (consultation pré-stérilisation ou suivi de reproduction),
 - dermatologie (suivi d'affections cutanées parasitaires peu évoluées),
 - ophtalmologie (suivi d'affections oculaires sans répercussions systémiques),
 - chirurgie (suivi post-opératoire à long terme de fractures du squelette appendiculaire).
- supportant la mise en place des pinces à ECG sans besoin de contention

b. Critères d'exclusion

Sont exclus de l'étude, les animaux suivants :

- âgés de moins d'un an ou de plus de dix ans
- présentant ou ayant présenté un ou des épisodes de toux
- présentant ou ayant présenté une polyurie-polydipsie
- les femelles gravides ou suspectes d'être gravides
- ayant reçu un traitement systémique depuis moins de sept jours
- présentant une anomalie à l'examen clinique ou d'après l'anamnèse
- ne supportant pas les pinces à ECG, stressés de façon excessive, ou agressifs

Les ECG effectués sont exclus de l'effectif lorsqu'ils présentent une des caractéristiques suivantes :

- tracé de qualité insuffisante (variation de la ligne de base trop importante)
- présence d'arythmies à la lecture de l'ECG

3. Étapes préliminaires à l'acquisition de l'ECG

Les propriétaires sont contactés par téléphone, la veille de leur consultation, afin d'obtenir un premier accord oral.

Avant la consultation, l'animal est amené dans une salle. Afin de limiter le stress du chat, cette salle est isolée, et utilisée exclusivement pour la manipulation de chats. Seuls sont présents le propriétaire de l'animal, l'animal, et le manipulateur. Un questionnaire permettant d'exclure les animaux susceptibles d'être malade est rempli par le propriétaire (*Annexe 4*). Un examen clinique est alors réalisé par le manipulateur. Les variables relevées pour l'étude sont l'âge, la race, le sexe, le poids, le score corporel, la fréquence cardiaque, et la fréquence respiratoire. Sont aussi examinés la couleur des muqueuses et le temps de recoloration capillaire (TRC). Si aucune anomalie n'est présente lors de ces premières étapes, le propriétaire est invité à remplir une déclaration de consentement éclairé (*Annexe 5*) autorisant le manipulateur à recueillir les données du chat et à les utiliser dans le cadre de cette étude.

4. Acquisition de l'ECG

L'acquisition des ECG a été réalisée avec l'électrocardiographe Cardimax FX-7202 (Fukuda Denshi®). Les électrodes utilisées sont des pinces crocodiles qui ont été spécialement limées et recourbées pour l'étude afin d'être le plus atraumatique possible, et testées sur un chat témoin jusqu'à absence de réaction.



Figure 10 : Pinces utilisées pour l'acquisition de l'ECG

Pour l'acquisition de l'ECG proprement dite, l'animal est mis sur une table en décubitus sternal. Il n'est en contact avec aucun objet métallique, et isolé de la table par un tapis épais en matière plastique imperméable. Aucune contention, ni chimique, ni physique, n'est utilisée. Les pinces sont positionnées en partie caudale de l'articulation huméro-radio-ulnaire pour les pinces des membres thoraciques, et en partie dorso-crâniale de l'articulation fémoro-tibio-patellaire pour les pinces des membres pelviens. La tonte étant stressante pour de nombreux chats, le contact entre les électrodes et la peau est simplement réalisé par aspersion d'alcool sur les zones concernées.

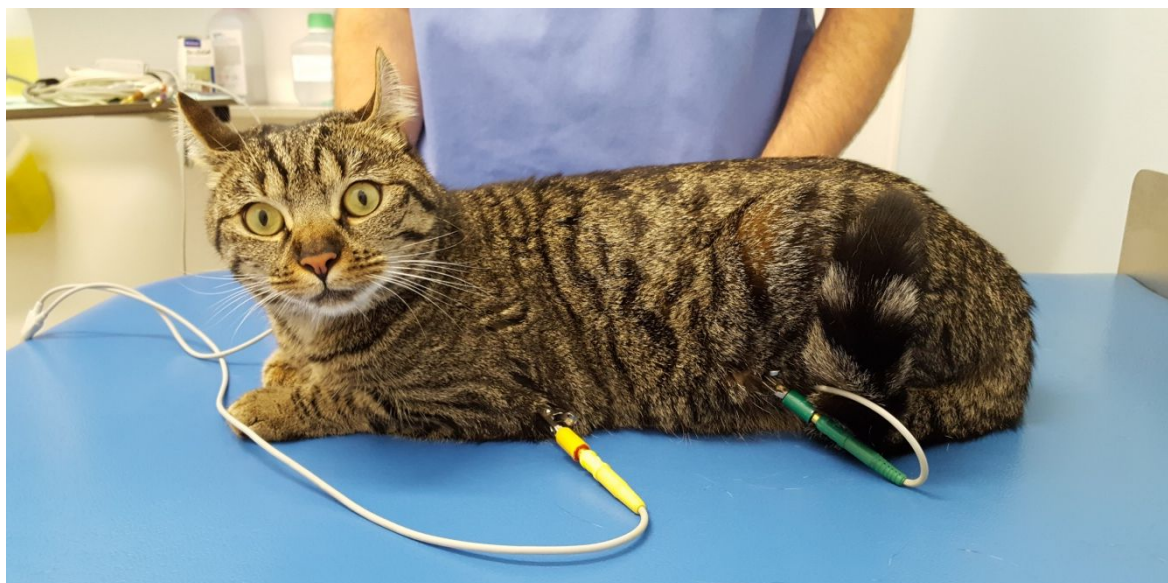


Figure 11 : Position de l'animal sur la table

Pour pouvoir être interprété correctement, le tracé ECG doit comporter six dérivations définies (DI, DII, DIII, aVL, aVR, aVF). L'amplitude du tracé doit être réglée sur 20mm/mV. Le temps d'enregistrement minimum est de 15 secondes de tracé à une vitesse de défilement de 25mm/s, et de 4 secondes à 50mm/s. Lors du tracé, tous les filtres de l'électrocardiographe sont en place.

Lors de cette étape, si le stress de l'animal est trop important, ou que les pinces ne sont pas supportées, la procédure est arrêtée et le chat est exclu de l'étude.

Chaque ECG est alors identifié à l'aide du numéro de dossier de l'animal, et joint au dossier de l'animal dans l'étude. Ce dossier comprend l'ECG, une fiche d'interprétation du tracé, une copie de la déclaration de consentement éclairé, les renseignements issus de l'examen clinique, et le questionnaire rempli par le propriétaire.

5. Traitement des données

Chaque ECG est examiné suivant une procédure précise. Ils sont d'abord analysés par un premier lecteur inexpérimenté. Se pose d'abord la question de l'interprétabilité du tracé, puis de l'éventuelle identification d'une arythmie. Les tracés de mauvaise qualité ou présentant une arythmie sont exclus.

La fréquence cardiaque est relevée en multipliant par dix le nombre de complexes observés sur 15cm de tracé à 25mm/s. Puis, à l'aide d'un compas à pointes sèches, les mesures des différentes valeurs du tracé ECG sont effectuées. Chaque valeur est vérifiée sur cinq révolutions cardiaques différentes. Dans le cas de valeurs divergentes, une moyenne est calculée.

Les valeurs mesurées sont :

- onde P : amplitude, durée
- segment P-Q : durée du début de P au début de Q
- complexe QRS : amplitude de R, durée du début de Q à la fin de S
- segment QT : durée du début de Q à la fin de T
- onde T : amplitude

L'axe électrique moyen du QRS de l'animal est ensuite calculé par la méthode dite de triangulation. Pour ce calcul, l'amplitude nette (arithmétique) du complexe QRS est mesurée sur deux dérivation, généralement les dérivation DI et DIII, à l'aide du compas à pointes sèches. Les deux amplitudes obtenues sont reportées, à l'échelle, sur le système de dérivation hexaxial de Bailey. Les droites perpendiculaires aux dérivation passant par les amplitudes se coupent en un troisième point. La ligne partant du centre du cercle et passant par ce troisième point représente la direction de l'axe électrique moyen, alors relevé à l'aide d'un rapporteur (Martin 2015).

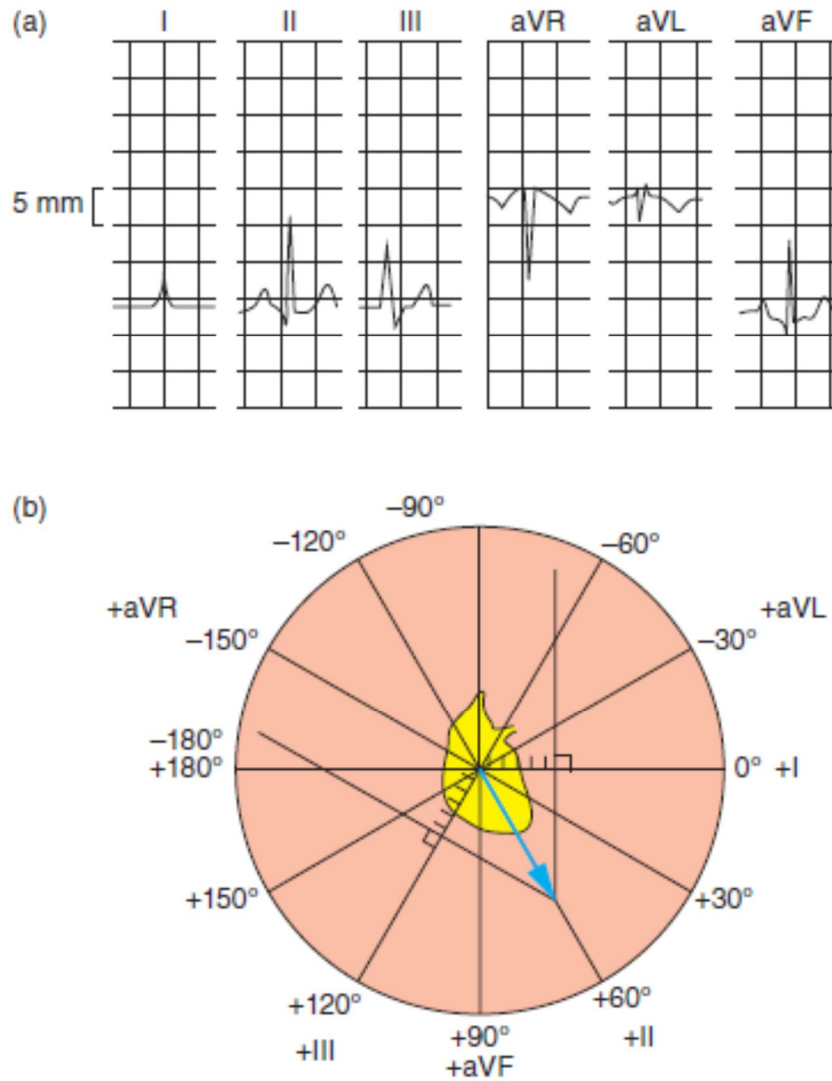


Figure 12 : Illustration de l'estimation de l'axe électrique moyen du QRS par la méthode de triangulation (d'après (Martin 2015))

Tous les tracés sont relus par un lecteur expérimenté, avec vérification des mesures effectuées.

6. Stockage des données

Les mesures effectuées sont d'abord notées sur la feuille d'interprétation de l'ECG correspondant, les deux étant identifiés au nom de l'animal grâce à son numéro de dossier. Toutes les valeurs sont ensuite consignées dans un tableur Excel®, appelé « Résultats ECG chats ».

7. Traitement statistique

Le traitement des données enregistrées dans le tableur Excel® est réalisé à l'aide du logiciel Reference Value Advisor. Ce logiciel permet de calculer, pour une série de données, les bornes de l'intervalle de référence avec un intervalle de confiance à 90%. Pour arriver à ces valeurs, le logiciel utilise les trois méthodes décrites pour l'obtention d'un intervalle de référence. La méthode paramétrique (après test d'Anderson-Darling pour vérifier la normalité de la distribution) et la méthode robuste sont traitées d'abord sans transformation de la population puis avec une transformation de Box-Cox. Enfin, dans le cas où la taille de l'échantillon est suffisamment importante comme c'est le cas dans notre étude, le logiciel réalise une méthode non-paramétrique. En plus des bornes de l'intervalle de référence, la moyenne, la médiane, et l'écart-type sont calculés pour chaque paramètre. Cet outil permet par ailleurs l'identification des valeurs aberrantes, par utilisation du test de Dixon-Reed et de l'algorithme de Horn (Geffré et al. 2011). En plus des identifications statistiques de la normalité de la distribution et des valeurs aberrantes, Reference Value Advisor construit des graphiques (histogrammes et graphiques de points), permettant la visualisation de ces éléments (*Annexe 6*).

II. Résultats

1. *Durée de recueil des tracés ECG*

Les tracés ECG ont été récoltés sur 10 semaines réparties entre Novembre 2016 et Mai 2017, par un unique manipulateur.

2. *Description de la population de référence*

Après visualisation du planning de rendez-vous des cliniques de l'E.N.V.T., 136 particuliers propriétaires de chats ont été contactés. Une annonce à la communauté de l'E.N.V.T. a également été diffusée par mail.

41% des particuliers contactés (n=56) ont accepté de faire partie de l'étude. Parmi ces chats, 2% (n=1) présentaient un souffle cardiaque de grade II / VI, et 5% (n=3) n'ont pas supporté la mise en place des électrodes. Le total des animaux de particuliers externes à l'E.N.V.T. inclus dans l'étude est donc de 52.

96 étudiants et personnels de l'E.N.V.T. ont proposé l'inclusion de leur animal dans l'étude. Parmi eux, 4% (n=4) possédaient 2 chats candidats potentiels, et 1% (n=1) possédait 3 chats candidats potentiels. Après examen clinique, 5% (n=5) des chats présentaient un souffle cardiaque de grade I à III / VI. 2% (n=2) n'ont pas supporté la mise en place des électrodes. Le total des animaux des étudiants et personnels de l'E.N.V.T. inclus dans l'étude est donc de 95.

Suite au recueil de l'ECG, 4% des chats (n=4) ont été revus en consultation dans les 15 jours. Les conclusions des consultations en question étaient : abattement sévère et anorexie d'origine inconnue (n=1), maladie inflammatoire chronique de l'intestin (n=1), gestation en cours (n=1), tumeur de la conjonctive (n=1). Ces tracés ont donc été exclus de l'étude par précaution.

Sur les 143 tracés restants, 2,8% (n=4) étaient considérés de mauvaise qualité (ligne de base trop irrégulière). 9,8% (n=14) présentaient des arythmies. Le calcul des intervalles de référence a donc été réalisé sur la base des 125 tracés recueillis sans aucune anomalie.

Le groupe échantillon de référence est donc constitué de 48,8% de femelles (n=61), dont 95% sont stérilisées (n=58), et de 51,2% de mâles (n=64), dont 89% sont castrés (n=57).

Les races représentées étaient en grande majorité des chats de type européen (88%, n=110). Les chats de race étaient des Maine Coon (4%, n=5), des Persans (1,6%, n=2), un Chartreux (0,8%, n=1), un Siamois (0,8%, n=1), et un Exotic Shorthair (0,8%, n=1). 5,6% de l'effectif était constitué par des chats croisés : européen croisé Maine Coon (n=2), européen croisé Siamois (n=2), européen croisé Chartreux (n=2), européen croisé Persan (n=1).

Lors de l'acquisition de l'ECG, la répartition des âges allait de 12,3 à 121,4 mois (soit de 1 à 10,1 ans), avec une médiane à 42 mois (soit 3,5 ans). Cette médiane nettement déséquilibrée en faveur des plus jeunes illustre bien l'hétérogénéité des différentes classes d'âges, avec presque $\frac{3}{4}$ de l'effectif ayant moins de 5 ans (*Figure 2*).

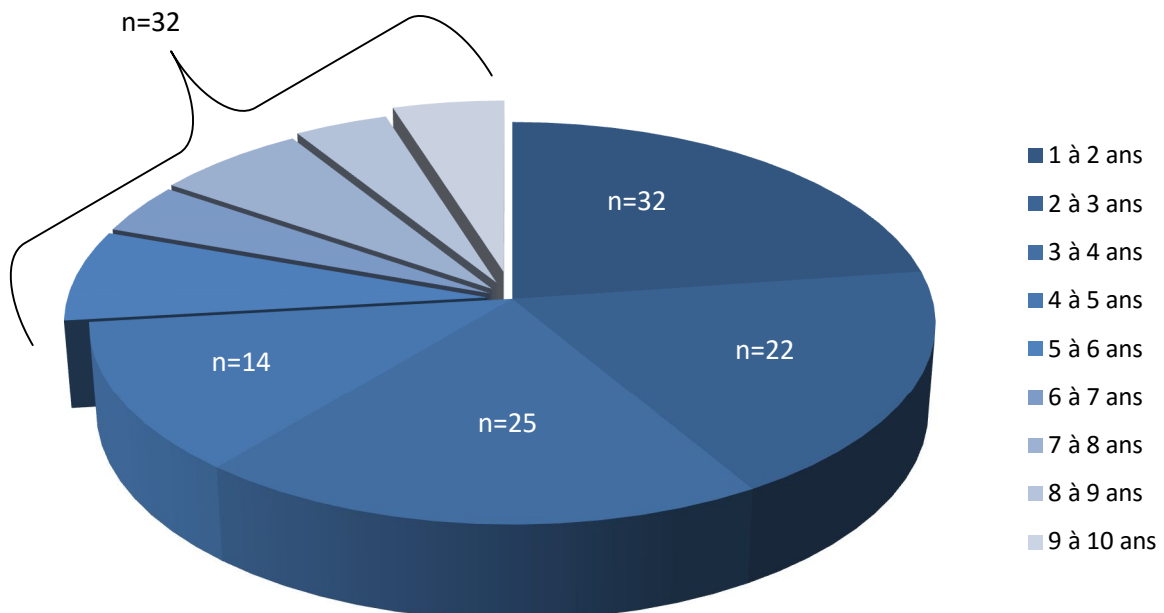


Figure 13 : Diagramme de répartition des âges en années

Les motifs de consultation étaient peu variés. Une grande partie des étudiants et personnels volontaires de l'E.N.V.T. se sont déplacés spécifiquement pour l'électrocardiographie, et ont donc été regroupés dans la catégorie appelée « Thèse » (n=71). Les autres chats ont majoritairement été recrutés en médecine préventive, pour des rappels vaccinaux annuels (n=32) et pour primovaccination (n=9). A plus petite échelle, les services de reproduction, d'ophtalmologie, de dermatologie et de chirurgie ont permis l'inclusion dans l'étude de 14 animaux. Les motifs de consultation de ces services étaient : consultation pré-stérilisation (n=4), suivi de conjonctivite à 1 mois (n=1), suivi de greffe cornéenne à 1 mois (n=3), suivi de plaie à 1 mois (n=1), suivi de fracture à 1 mois (n=2), dépistage de teigne sur animaux sains (n=2), nettoyage du conduit auditif (n=1) (*Annexe 7*).

Afin de respecter l'anonymat des propriétaires ayant participé à l'étude, chaque animal s'est vu attribuer un code pour la publication des résultats. Les animaux ayant un ECG normal sont notés N1 à N125, ceux présentant une arythmie sont notés A1 à A14 (*Annexe 7*).

3. Synthèse des résultats

a. Poids et score corporel

Les chats inclus dans l'étude pesaient entre 2,5 et 8,9 kilogrammes, tous pesés sur la même balance. La médiane se situe à 4,7 kilogrammes. Le score corporel, apprécié à l'aide de l'échelle du BCS (Body Condition Score), va de 3 à 9, pour une médiane de 6. Selon cette classification, 1,6% des chats étaient trop maigres (n=2, BCS = 3), et 50,4% des chats étaient en surpoids (n=63, BCS ≥ 6). Parmi ces chats en surpoids, 11,1% (n=7) présentaient un BCS supérieur ou égal à 8, considéré comme seuil pour la définition de l'obésité (WSAVA Global Nutrition Committee 2013). Les poids sont consignés en annexe (*Annexe 8*).

b. Fréquences cardiaque et respiratoire à l'examen clinique

Les fréquences cardiaques relevées à l'auscultation (FCA) s'échelonnaient entre 100 bpm et plus de 240 bpm. Au-delà de cette valeur, la fréquence est difficile à obtenir du fait de la rapidité des battements cardiaques et donc généralement imprécise. Les chats concernés ont donc une fréquence cardiaque notée FC > 240 bpm (n=3). La médiane de la fréquence cardiaque enregistrée lors de l'auscultation est 184 bpm, pour une moyenne située à 182,3 bpm.

Concernant les fréquences respiratoires (FR), elles s'étalaient sur une gamme allant de 24 à 84 mouvements respiratoires par minute (mpm). La médiane est située à 48 mpm, avec une moyenne à 49,3 mpm. Dans cette étude, 88% des chats sont considérés comme polypnéiques (n=110), c'est-à-dire effectuant plus de 34 mpm. Cette augmentation est compatible avec un état de stress fréquemment associé à la consultation chez un vétérinaire. L'auscultation de la totalité des champs pulmonaires était normale pour tous les chats inclus dans l'étude.

Les valeurs des intervalles de référence calculées par le logiciel Reference Value Advisor, à l'aide de la méthode non-paramétrique, sont résumées dans le tableau ci-dessous (*Tableau 3*).

	Minimum	Maximum
FCA	128	240
IC 90%	[100 ; 136]	[236 ; 240]
FR	28	79,7
IC 90%	[24 ; 32]	[72 ; 84]

Tableau 3 : Intervalles de référence et intervalles de confiance à 90% des fréquences cardiaque et respiratoire à l'examen clinique. FCA : fréquence cardiaque à l'auscultation, IC : intervalle de confiance, FR : fréquence respiratoire

c. Fréquence cardiaque à l'ECG

A l'aide de la méthode définie précédemment (cf. Partie 2. I. 4.), le tracé a permis de définir une fréquence cardiaque calculée (FCC). Celle-ci varie de 100 à 260 bpm, avec une médiane à 180 bpm pour une moyenne à 181,3 bpm, et un écart-type de 29 bpm. L'effectif étant suffisamment important, le logiciel Reference Value Advisor a calculé l'intervalle de référence par la méthode non-paramétrique, ce qui permet de s'affranchir de la distribution des valeurs du groupe échantillon. Les bornes obtenues, ainsi que les intervalles de confiance à 90% associés, sont consignés dans le tableau ci-après (*Tableau 4*).

	Minimum	Maximum
FCC	130	257
IC 90%	[100 ; 140]	[230 ; 260]

Tableau 4 : Intervalles de référence et intervalles de confiance à 90% de la fréquence cardiaque calculée à partir du tracé ECG. FCC : fréquence cardiaque calculée, IC : intervalle de confiance.

d. Valeurs d'amplitude et de durée de l'ECG

Un examen visuel des histogrammes et courbes de distribution des valeurs permet, en plus des tests de Dixon et Tukey, d'identifier les valeurs aberrantes. Ces valeurs aberrantes sont conservées dans le traitement statistique, en accord avec les recommandations actuelles, qui conseillent de favoriser la rétention des données plus que leur élimination.

Le tableau suivant (*Tableau 5*) présente les minimum, maximum, moyenne, médiane et écart-type des valeurs du tracé ECG, mesurées en dérivation DII. Les valeurs de durée sont exprimées en secondes (notées s), et les valeurs d'amplitude sont exprimées en millivolts (notées mV). L'ensemble des valeurs relevées au cours de l'étude sont consignées en annexe 9.

	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Médiane</i>	<i>Ecart-type</i>
Durée P (s)	0,02	0,06	0,036	0,04	0,006
Amplitude P (mV)	0,05	0,18	0,091	0,1	0,025
Durée PQ (s)	0,03	0,09	0,07	0,07	0,011
Durée QRS (s)	0,02	0,06	0,041	0,04	0,007
Amplitude QRS (mV)	-0,3	0,75	0,249	0,25	0,183
Durée QT (s)	0,075	0,24	0,161	0,16	0,018
Amplitude T (mV)	-0,12	0,35	0,143	0,15	0,076

Tableau 5 : Paramètres statistiques des valeurs d'amplitude et de durée des ondes de l'ECG.

e. Intervalles de référence calculés

Comme précédemment, les intervalles de référence des différentes valeurs mesurées sur le tracé peuvent être obtenus par l'intermédiaire de la méthode non-paramétrique, grâce à la taille suffisante de l'échantillon. Le logiciel Reference Value Advisor permet d'obtenir, à partir d'une liste de valeurs du tableur Excel®, les bornes inférieure et supérieure de l'intervalle de référence, pour la variable considérée, ainsi que leurs intervalles de confiance à 90% respectifs.

Les valeurs ainsi obtenues sont détaillées dans le tableau suivant (*Tableau 6*). Les unités de mesure sont les mêmes que précédemment (cf. Partie 2. II. 6.).

	Nombre d'individus	Intervalle de référence	Intervalle de confiance de la borne inférieure	Intervalle de confiance de la borne supérieure
<i>Durée P (s)</i>	125	[0,02 ; 0,05]	[0,02 ; 0,03]	[0,045 ; 0,06]
<i>Amplitude P (mV)</i>	125	[0,05 ; 0,15]	[0,05 ; 0,05]	[0,12 ; 0,18]
<i>Durée PQ (s)</i>	125	[0,05 ; 0,09]	[0,03 ; 0,055]	[0,09 ; 0,09]
<i>Durée QRS (s)</i>	125	[0,025 ; 0,05]	[0,02 ; 0,03]	[0,05 ; 0,06]
<i>Amplitude QRS (mV)</i>	125	[-0,25 ; 0,59]	[-0,3 ; -0,15]	[0,5 ; 0,75]
<i>Durée QT (s)</i>	125	[0,13 ; 0,19]	[0,075 ; 0,14]	[0,19 ; 0,24]
<i>Amplitude T (mV)</i>	125	[0,05 ; 0,3]	[-0,12 ; 0,05]	[0,30 ; 0,35]

Tableau 6 : Intervalles de référence et intervalles de confiance à 90% des valeurs d'amplitude et de durée des ondes de l'ECG.

f. Axe électrique moyen du QRS

Par triangulation sur les dérivations DI et DIII, l'axe électrique moyen du QRS a été mesuré pour chaque animal, et reporté dans une liste du tableur Excel®, avec comme unité de mesure le degré (noté °). Les valeurs obtenues sont traitées de la même façon que précédemment par le logiciel Reference Value Advisor.

Les axes électriques obtenus variaient entre -175° et 180°, pour une médiane à 60°. L'intervalle de référence calculé, ainsi que les intervalles de confiance à 90% associés, sont reportés dans le tableau ci-après (*Tableau 7*). La visualisation graphique de ces intervalles de référence est présentée sur un système hexaxial de Bailey (*Figure 13*).

	Minimum	Maximum
Axe électrique moyen (°)	-118,5	180
IC 90%	[-175 ; -30]	[166 ; 180]

Tableau 7 : Intervalles de référence et intervalles de confiance à 90% de l'axe électrique moyen du QRS. IC : intervalle de confiance.

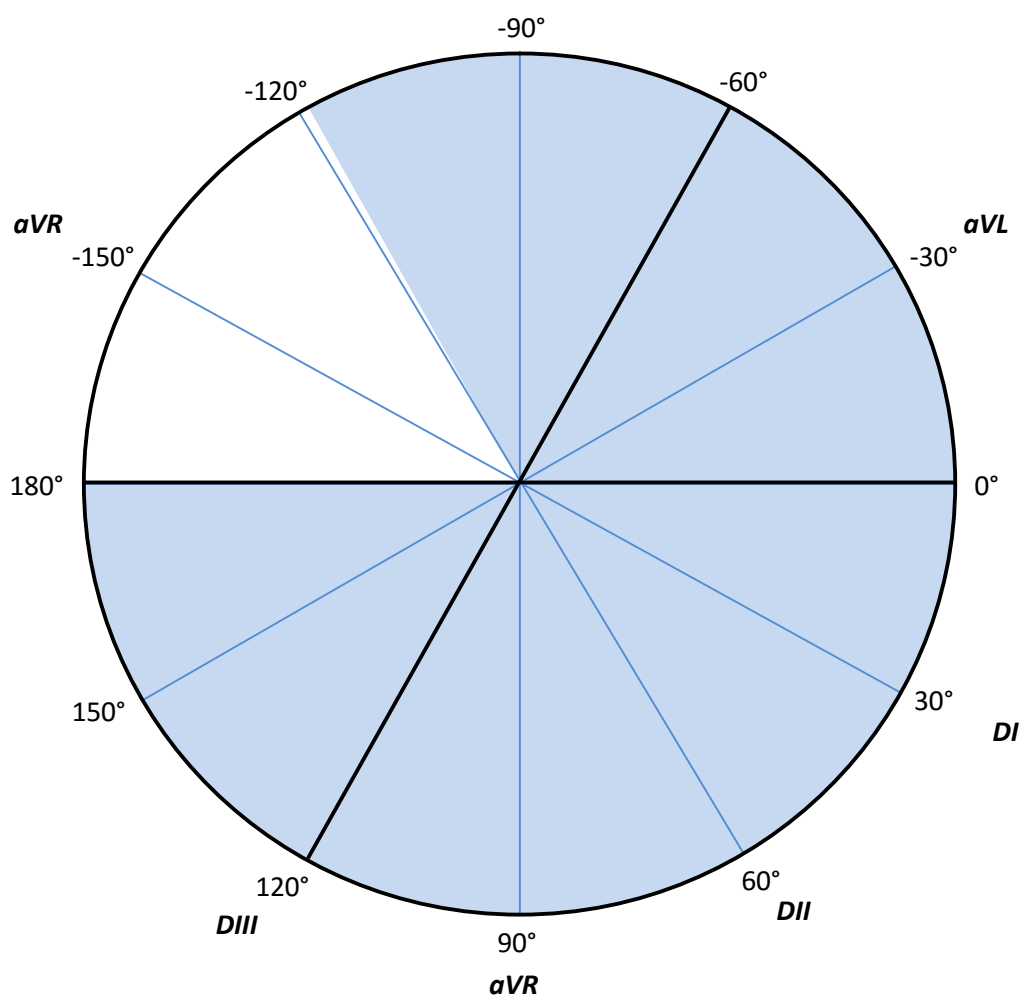


Figure 14 : Visualisation de l'intervalle de référence de l'axe électrique moyen du QRS sur un système hexaxial de Bailey. Les angles inclus dans l'intervalle de référence sont illustrés par la partie remplie en bleu.

4. Effets de l'âge, du poids et du sexe sur les paramètres de l'ECG

Afin d'étudier d'éventuels effets des paramètres individuels sur le tracé ECG, des tests statistiques supplémentaires ont été effectués. Les paramètres individuels analysés sont l'âge, le sexe, le poids, et le score corporel, chacun de ces paramètres étant croisé, à l'aide d'un test de Khi-deux, avec chaque valeur recueillie de l'ECG.

D'après les tests réalisés, seul le score corporel a une influence sur un paramètre de l'ECG, qui est la durée du segment PQ. Les animaux ayant une durée du segment PQ supérieure à 0,075 secondes sont plutôt des chats qui présentent un BCS élevé (supérieur à 6).

L'âge, le sexe et le poids ne sont pas liés significativement à des variations de paramètres de l'ECG, et aucun lien entre le score corporel et les paramètres autres que la durée du segment PQ n'a été mis en évidence. Les valeurs obtenues sont consignées dans l'annexe 10.

5. Description des troubles du rythme des chats exclus de l'étude

Sur les 147 ECG réalisés, 14 ont été exclus du calcul des intervalles de référence pour anomalie de rythme. Ces anomalies étaient toutes des blocs de branches, c'est-à-dire une anomalie de la conduction de l'onde électrique. Ces 14 ECG se répartissaient en six blocs de branche droits (BBD), deux blocs de branche gauches (BBG), et six blocs fasciculaires antérieurs gauches (BFaG).

Des échocardiographies ont été réalisées sur les animaux présentant des blocs de branche sur le tracé ECG, à l'exception de deux animaux qui n'ont pu être présentés une deuxième fois en consultation. Un chat, avec un BFaG à l'ECG, était atteint d'une cardiomyopathie restrictive, avec une discrète insuffisance mitrale associée. Pour les autres animaux, ces examens n'ont pas permis de mettre en évidence d'anomalie anatomique ou fonctionnelle majeure de la révolution cardiaque.

III. Discussion

1. *Biais de sélection et représentativité du groupe échantillon de référence*

Les critères de sélection relativement stricts fixés au début du protocole ont entraîné l'inclusion d'un groupe échantillon de référence assez bien suivie médicalement. C'est donc un groupe de chats qui sont pour la plupart vaccinés et stérilisés, avec un score corporel plutôt élevé, ce que met en évidence la médiane du BCS qui est à 6/9. Ce biais de sélection est aussi un biais voulu pour cette étude, car la majorité des animaux vus par les vétérinaires praticiens sont des animaux correspondant à ces critères, notamment ceux pour lesquels des explorations cardiaques sont réalisées.

De par la définition stricte des critères d'exclusion, un deuxième biais peut être présent, c'est celui de l'âge. En effet, dans cette étude, presque 75% des animaux ont moins de 5 ans, ce qui est assez peu en comparaison de l'espérance de vie féline estimée aujourd'hui entre 15 et 20 ans. Ce biais est expliqué par l'exclusion de tout animal ayant présenté une anomalie respiratoire ou une affection systémique. Les animaux plus âgés ayant plus de risques d'avoir développé un de ces deux critères, ils sont donc en minorité dans notre échantillon.

Cependant, pour les caractères qui ne sont pas dépendants des critères de sélection, notre échantillon s'est avéré assez homogène. Ainsi, la répartition des sexes correspond à ce qui est retrouvé dans la population générale (48,8% de femelles pour 51,2% de mâles). Concernant les races, le groupe échantillon est aussi assez représentatif de la population féline française, où les races « pures » restent peu représentées (7,2% dans cette étude, contre 5% dans la population totale (FACCO / TNS SOFRES 2015)).

2. Discussion sur le protocole d'acquisition de l'ECG

Afin de limiter au maximum le stress de l'animal, qui est un aspect majeur de la consultation vétérinaire féline, le choix d'obtenir le tracé de l'ECG en décubitus sternal s'est imposé. Le décubitus latéral, bien que généralement choisi par convention, entraîne une contention du chat, ce qui n'était ici pas souhaitable pour acquérir un si grand nombre de valeurs. Une étude, menée par Gompf et Tilley en 1979, a cependant montré qu'il existe des différences entre les deux positions d'acquisition du tracé, avec notamment, pour le décubitus sternal, une augmentation de l'amplitude de l'onde P, une discrète augmentation de l'amplitude du complexe QRS, et une augmentation de la variabilité de l'axe électrique moyen du QRS (Gompf, Tilley 1979). Une autre étude, menée par Harvey, met en évidence que seule la moyenne des amplitudes de l'onde R est atténuée en position sternale (Harvey et al. 2005). Cependant, les limites statistiques de ces études, notamment quant au nombre d'animaux inclus (respectivement 46 et 41), n'imposent pas le décubitus latéral dans l'établissement de valeurs de référence.

Afin d'atténuer les difficultés de lecture imputables aux trémulations de la ligne de base, le tracé ECG a été conduit avec tous les filtres de l'électrocardiographe en place. Les filtres concernés (passe-haut pour les basses fréquences, passe-bas pour les hautes fréquences, et alternatif pour les interférences liées au courant électrique) peuvent modifier l'ECG, notamment en atténuant l'amplitude de l'onde R (Schrope et al. 1995). Ce risque a été pris en compte et il a paru préférable d'augmenter les chances d'inclusion des tracés dans l'étude en diminuant la probabilité d'obtenir des lignes de base de mauvaise qualité. De même, la présence des filtres a permis l'obtention plus rapide d'un tracé interprétable, ce qui a fortement contribué à la limitation du stress des animaux. Enfin, l'utilisation des filtres correspond aux conditions d'obtention des tracés ECG en pratique vétérinaire courante chez le chat.

3. Discussion des résultats

a. Intervalles de confiance à 90% et intervalles de référence

Pour l'ensemble des paramètres calculés, les intervalles de confiance à 90% sont trop larges selon les recommandations internationales. En effet, l'intervalle de confiance dépasse 20% de la largeur de l'intervalle de référence. Afin de réduire la taille de l'intervalle de confiance à 90%, il est conseillé d'ajouter des valeurs dans le groupe échantillon de référence (Friedrichs et al. 2012). Cependant, dans cette étude, cette option n'aurait pas permis l'amélioration de l'intervalle de confiance à 90%, pour la simple raison que la lecture de l'ECG n'est pas automatisée, l'œil ne peut discerner un tel degré de précision. En effet, il faudrait par exemple pour la durée de l'onde P que la largeur de l'intervalle de confiance n'excède pas 0,006s, ce qui correspond à 0,03cm à 50mm/s. Ceci est dû au fait que les recommandations internationales ont été développées initialement pour la biologie médicale, domaine où la précision analytique peut être aussi élevée.

b. Variabilité de l'axe électrique moyen du QRS

Comme Gompf et Tilley l'avaient évoqué dans leur papier de 1979, l'axe électrique moyen du QRS est plus variable lorsque le tracé est enregistré en position sternale (Gompf, Tilley 1979). Nous avons retrouvé ici cette variabilité très importante, avec un intervalle de référence très large, et des intervalles de confiance à 90% associés très importants également. L'intervalle défini par Tilley et Gompf s'étend de 0° à 160° avec des animaux en décubitus latéral, de nombreux chats présentent une déviation de l'axe électrique moyen du QRS sans cardiopathie associée. Cette variabilité est constatée par de nombreux experts en cardiologie vétérinaire (Tilley 1992; Robertson, Ewell 1976; Rogers, Bishop 1971; Tilley, Gompf 1977; Gompf, Tilley 1979; Coulter, Calvert 1981), mais n'a jamais été chiffrée à l'aide d'une procédure suivant les recommandations statistiques actuelles. Une explication de cette variabilité importante serait que le processus d'activation ventriculaire, c'est-à-dire la manière dont se dépolarise l'étage cardiaque ventriculaire, est différent pour chaque individu (Hamlin, Smith 1965). L'autre possibilité serait que le décubitus

sternal aurait une influence sur la variabilité de l'axe cardiaque (Côté 2010; Gompf, Tilley 1979).

c. Effets de l'âge, du poids et du sexe sur les paramètres de l'ECG

La comparaison des paramètres de l'ECG par classes d'âge, de poids, de sexe et de BCS n'a pas mis en évidence de lien significatif entre ces différentes populations, à l'exception d'une tendance : les animaux ayant un segment PQ long (compris entre 0,075 et 0,09 secondes) sont plutôt des animaux avec un BCS élevé (BCS > 6). Cependant, cette durée dépend de la fréquence cardiaque, qui est plus élevée chez la population avec un BCS inférieur ou égal à 5 (moyenne = 189bpm) que chez les animaux avec un BCS supérieur ou égal à 6 (moyenne = 175bpm).

Une mesure complémentaire intéressante à réaliser aurait été la mesure de la pression artérielle systolique, concomitamment à l'ECG. En effet, l'obésité est connue pour être un facteur prédisposant à l'hypertension artérielle chez l'Homme et chez le chien. Le surpoids plus ou moins important joue peut-être le même rôle chez le chat, auquel cas des modifications cardiaques en réponse à l'hypertension peuvent se mettre en place, et entraîner ainsi des modifications de l'ECG (Henik, Brown 2008). L'établissement de ces intervalles de référence pourra permettre de faire une étude sur l'ECG chez les chats hypertendus.

4. Comparaison avec les données de la littérature

Les données de la littérature les plus utilisées en électrocardiographie féline sont celles qui ont été établies par Tilley et Gompf en 1977 (Tilley, Gompf 1977). Ces valeurs sont comparées avec les données obtenues dans notre étude dans le tableau suivant (*Tableau 8*).

	Intervalle de référence de l'étude	Valeurs usuelles (Tilley, Gompf 1977)
<i>Durée P (s)</i>	0,02 - 0,05	<0,04
<i>Amplitude P (mV)</i>	0,05 - 0,15	<0,2
<i>Durée PQ (s)</i>	0,05 - 0,09	0,05-0,09
<i>Durée QRS (s)</i>	0,025 - 0,05	<0,04
<i>Amplitude QRS (mV)</i>	-0,25 - 0,59	<0,9
<i>Durée QT (s)</i>	0,13 - 0,19	0,12-0,18
<i>Amplitude T (mV)</i>	0,05 - 0,3	<0,3mV

Tableau 8 : Comparaison des intervalles de référence calculés dans cette étude avec les valeurs généralement utilisées pour l'ECG en médecine féline, déterminées d'après l'étude de Tilley et Gompf (Tilley, Gompf 1977).

Grâce à la taille importante de notre groupe échantillon, les valeurs calculées sont plus précises (présence des deux bornes de délimitation de l'intervalle et pas seulement d'une borne maximale). Les durées et amplitudes des ondes du tracé ECG diffèrent des valeurs de Tilley et Gompf, mis à part la durée du segment PQ qui est identique aux valeurs précédemment établies. Si la majorité des valeurs ne sont que légèrement différentes, on peut observer que la borne maximale de l'amplitude de l'onde QRS est très inférieure dans notre étude. Cette différence peut être expliquée par la présence des filtres sur l'électrocardiographe, et par la position sternale de l'animal (Harvey et al. 2005; Schrope et al. 1995; Gompf, Tilley 1979).

5. Prévalence des arythmies

Dans la littérature scientifique, aucune étude n'a exploré la prévalence des blocs de branche chez le chat sain. Les seules études explorant des arythmies sont celles de Hanås et Ware, qui révèlent des extrasystoles ventriculaires fréquentes, même chez le chat sain. Cependant, le faible nombre d'animaux utilisé pour ces travaux (respectivement 23 et 20), et l'emploi de la technique du Holter, ne permettent pas l'extrapolation de ces résultats à une population générale dont l'ECG est enregistré sur une courte période (Hanås et al. 2009; Ware 1999).

Dans notre étude, seuls des blocs de branche ont pu être mis en évidence. Ces anomalies de conduction ont été retrouvées chez 9,8% des animaux (n=14), dont six blocs de branche droits (BBD), deux blocs de branche gauches (BBG), et six blocs fasciculaires antérieurs gauches (BFaG). Des exemples sont consignés en annexes 2 et 3.

Les critères de reconnaissance des blocs de branche étaient ceux de Tilley (Tilley 1992) :

- BBD : QRS \geq 0.06 s, QRS positif en aVR, onde S profonde en DI, DII, DIII et aVF
- BBG : QRS \geq 0.06 s, QRS positif en DI, DII, DIII et aVF, QRS négatif en aVR
- BFaG : QRS \geq 0.04 s mais $<$ 0.06s, aspect « petit q-grand R » en DI et aVL, onde S profonde en DII, DIII et aVF, supérieure à R

Les chats concernés ne présentaient aucune anomalie à l'auscultation cardiaque, et pour 12 animaux sur 14, une échocardiographie a été réalisée. Pour 11 chats, cet examen n'a permis de mettre en évidence aucune anomalie anatomique ou fonctionnelle, mis à part une très légère inversion du rapport E/A du flux transmitral pour deux chats. Cette très légère inversion est difficile à relier à une anomalie en particulier, car elle dépend de très nombreux facteurs, notamment de la relaxation et de la compliance myocardique, mais aussi de la pression atriale gauche, et des systoles atriale et ventriculaire du cœur gauche (Gallay 2005). Pour un animal présentant un BFaG, une cardiomyopathie restrictive (CMR), avec insuffisance

mitrale discrète, a été diagnostiquée lors de l'échocardiographie, ici encore sans aucune répercussion clinique pour ce chat. Mis à part pour ce dernier animal, les blocs de branche rencontrés dans cette étude sont donc majoritairement considérés comme physiologiques.

Cependant, afin de ne pas fausser les résultats obtenus dans le cas où ils seraient révélateurs d'une cardiopathie très débutante, ils n'ont pas été inclus dans le calcul des intervalles de référence ici. Afin d'avoir une idée plus précise de la signification de ces anomalies de conduction, des échocardiographies régulières pourront permettre la détection d'éventuelles modifications anatomo-fonctionnelles annoncées par ces blocs de branche, ou confirmer le caractère physiologique de ces arythmies.

6. Perspectives

Cette étude complète les connaissances de la médecine vétérinaire en électrocardiographie féline. Elle soulève également de nombreuses interrogations. Dans cette étude, la grande majorité des animaux étant stérilisée, on peut se demander si la stérilisation influence les paramètres de l'ECG. D'autres travaux pourront, sur la base du même protocole, comparer ces intervalles de référence avec les valeurs chez des races félines prédisposées à des cardiopathies.

Enfin, pour mieux comprendre la signification des anomalies de conduction rencontrées, il pourrait être intéressant d'explorer la prévalence à plus grande échelle de ces anomalies, de contrôler par échocardiographie toute déviation axiale du cœur, entraînée par un bloc de branche ou non, et de pouvoir suivre ces animaux sur un plus long terme.

Conclusion

L'électrocardiographie est un examen qui conserve toute sa place en cardiologie vétérinaire, complémentaire à l'imagerie. Accessible à tous les praticiens, c'est un outil amené à se développer en médecine féline en accord avec les modifications de la population féline française : des chats toujours plus nombreux, vivant plus vieux, mieux médicalisés, et appartenant (pour une partie d'entre eux) à des races prédisposées à certaines cardiopathies.

Dans cette étude, nous avons établi les intervalles de référence des valeurs de l'électrocardiogramme chez le chat sain, à partir d'une population de 125 individus. Le protocole intégral, incluant les étapes pré-analytique, analytique et post-analytique, a été défini en accord avec les normes actuelles d'établissement d'intervalles de référence *de novo*.

Afin de limiter au maximum le stress de l'animal, et de permettre à tout praticien généraliste de réaliser un ECG en consultation, la méthode d'acquisition a été modifiée par rapport à la technique couramment utilisée, qui elle est plus adaptée au comportement docile du chien. Les intervalles de référence calculés ici sont donc légèrement différents des valeurs habituellement utilisées jusqu'alors chez le chat.

Cette étude a permis de mettre en évidence une prévalence assez importante de blocs de branche. L'échocardiographie réalisée dans un second temps a confirmé pour la majorité de ces arythmies le caractère physiologique. Elles pourront faire l'objet d'une exploration à long terme plus poussée chez les individus concernés.

Cette étude n'a pas montré de lien significatif entre les paramètres de l'ECG et l'âge, le poids, le BCS, ou le sexe de l'animal. L'effet de certains paramètres, comme la pression artérielle, sur les valeurs de l'ECG peut être une piste intéressante à développer pour des études à venir.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussignée, Armelle DIQUELOU, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **DUBES Antoine** intitulée « **Etablissement des intervalles de référence des valeurs de l'ECG chez le chat sain.** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.



Fait à Toulouse, le 2 juin 2017
Docteur Armelle DIQUELOU
Enseignant chercheur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :
La Directrice de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Isabelle CHMITELIN

Vu :
Le Président du jury :
Professeur Philippe MAURY

Pr Philippe MAURY

Praticien Hospitalier - Professeur des Universités
N° RPPS : 10002911393
Fédération de cardiologie
Unité 63 - Département Rythmologie
CHU TOULOUSE - Hôpital RANGUEIL
Tél. 05 61 32 34 70

Vu et autorisation de l'impression :
Président de l'Université
Paul Sabatier
Monsieur Jean-Pierre VINEL

Le Président de l'Université Paul Sabatier
par délégation,
La Vice-Présidente de la CFVU



Régine ANDRIEU-OBRECHT



Conformément à l'Arrêté du 20 avril 2007, article 6, la soutenance de la thèse ne peut être autorisée qu'après validation de l'année d'approfondissement.

Bibliographie

AHMED, JA, NASHIRUDDULLAH, N et KONWAR, D, 2016. The Surface Electrocardiogram in Unanesthetized Adult Domestic Cats (*Felis catus*). *Journal of Animal Research*. 2016. Vol. 6, n° 5, pp. 809. DOI 10.5958/2277-940X.2016.00102.9.

ATMACA, N, SIMSEK, O, ARIKAN, S et KABAKCI, R, 2014. Evaluation of Some Electrocardiographic Parameters of Kitten and Adult Angora Cats. *Research Journal for Veterinary Practitioners*. 2014. Vol. 2, n° 6, pp. 113-116. DOI 10.14737/journal.rjvp/2014/2.6.113.116.

CHETBOUL, V, 2016. Reconnaître et prendre en charge les principaux troubles du rythme chez le chat. In : *Cardiologie féline pour le généraliste*. Toulouse : AFVAC. 4 novembre 2016. pp. 31.

CÔTÉ, E, 2010. Chapter 235 - Electrocardiography and Cardiac Arrhythmias. In : ETTINGER, SJ et FELDMAN, *Textbook of Veterinary Internal Medicine*. 7th ed. St-Louis : Saunders Elsevier. pp. 213-268.

COULTER, D. B., DUNCAN, R. J. et SANDER, P. D., 1975. Effects of asphyxia and potassium on canine and feline electrocardiograms. *Canadian Journal of Comparative Medicine*. 1975. Vol. 39, n° 4, pp. 442.

COULTER, DB et CALVERT, CA, 1981. Orientation and orientation of vectorcardiographic QRS loops from normal cats. *American Journal of Veterinary Research*. février 1981. Vol. 42, n° 2, pp. 282-289.

CUNNINGHAM, James G. et KLEIN, Bradley G. (éd.), 2013. *Cunningham's textbook of veterinary physiology*. 5th ed. St. Louis, Mo : Elsevier/Saunders. ISBN 978-1-4377-2361-8. OCLC: 830973777

DIXON, W. J., 1953. Processing Data for Outliers. *Biometrics*. mars 1953. Vol. 9, n° 1, pp. 74. DOI 10.2307/3001634.

DORESTE, YR, STERN, JA et LAHMERS, SM, 2013. ECG of the Month. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2013. Vol. 242, n° 7, pp. 926–928.

DUCAUZE, C, BAILLET-GUFFROY, A et BUI, TX, s.d. Choix et validation d'une méthode d'analyse. *Agrosparitech édition, Paris, Agrosparitech*. s.d. pp. 31.

FACCO / TNS SOFRES, 2015. *Communiqué de presse*. mai 2015.

FERASIN, L, AMODIO, A et MURRAY, JK, 2006. Validation of 2 Techniques for Electrocardiographic Recording in Dogs and Cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. juillet 2006. Vol. 20, n° 4, pp. 873-876. DOI 10.1111/j.1939-1676.2006.tb01800.x.

FERASIN, Luca, 2009. Feline Myocardial Disease: 1: Classification, Pathophysiology and Clinical Presentation. 2: Diagnosis, prognosis and clinical management. *Journal*

of *Feline Medicine and Surgery*. janvier 2009. Vol. 11, n° 1, pp. 3-13-194. DOI 10.1016/j.jfms.2008.11.008.

FORD, RB et MAZZAFERRO, E, 2012. *Kirk and Bistner's Handbook of Veterinary Procedures and Emergency Treatment*. 9th ed. St-Louis : Elsevier Saunders.

FRIEDRICHS, K, BARNHART, KF, BLANCO, J, FREEMAN, KP, HARR, KE, SZLADOVITS, B et WALTON, RM, 2011. *Guidelines for the Determination of Reference Intervals in Veterinary Species and other related topics: SCOPE*. octobre 2011. ASVCP Quality Assurance and Laboratory Standards Committee.

FRIEDRICHS, KR, HARR, KE, FREEMAN, KP, SZLADOVITS, B, WALTON, RM, BARNHART, KF et BLANCO-CHAVEZ, J, 2012. ASVCP reference interval guidelines: determination of de novo reference intervals in veterinary species and other related topics. *Veterinary Clinical Pathology*. décembre 2012. Vol. 41, n° 4, pp. 441-453. DOI 10.1111/vcp.12006.

GALLAY, J, 2005. *Les dysfonctionnements diastoliques du chien et du chat*. Lyon : ENVL.

GARROD, L et RUSH, JE, 1996. ECG of Month. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. juillet 1996. Vol. 209, n° 1.

GEFFRÉ, A, CONCORDET, D, BRAUN, JP et TRUMEL, C, 2011. Reference Value Advisor: a new freeware set of macroinstructions to calculate reference intervals with Microsoft Excel: Reference Value Advisor. *Veterinary Clinical Pathology*. mars 2011. Vol. 40, n° 1, pp. 107-112. DOI 10.1111/j.1939-165X.2011.00287.x.

GEFFRÉ, A, FRIEDRICHS, K, HARR, KE, CONCORDET, D, TRUMEL, C et BRAUN, JP, 2009. Reference values: a review. *Veterinary Clinical Pathology*. septembre 2009. Vol. 38, n° 3, pp. 288-298. DOI 10.1111/j.1939-165X.2009.00179.x.

GOMPF, RE et TILLEY, LP, 1979. Comparison of lateral and sternal recumbent positions for electrocardiography of the cat. *American Journal of Veterinary Research*. octobre 1979. Vol. 40, n° 10, pp. 1483-1486.

GRÄSBECK, R et SARIS, NE, 1969. Establishment and use of normal values. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. 1969. Vol. 26, pp. 62-63.

HALL, LW, CLARKE, KW et TRIM, CM, 2001. Chapter 2 - Patient monitoring and clinical measurement. In : *Veterinary Anaesthesia*. 10th ed. Oxford : W.B. Saunders. pp. 29-59. ISBN 978-0-7020-2035-3.

HAMLIN, Robert L. et SMITH, C. Roger, 1965. Categorization of common domestic mammals based upon their ventricular activation process. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1965. Vol. 127, n° 1, pp. 195-203.

HANÅS, S, TIDHOLM, A, EGENVALL, A et HOLST, BS, 2009. Twenty-four hour Holter monitoring of unsedated healthy cats in the home environment. *Journal of Veterinary Cardiology*. juin 2009. Vol. 11, n° 1, pp. 17-22. DOI 10.1016/j.jvc.2008.10.003.

- HARVEY, AM, FAENA, M, DARKE, PGG et FERASIN, L, 2005. Effect of Body Position on Feline Electrocardiographic Recordings. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2005. Vol. 19, pp. 533-536.
- HENIK, RA et BROWN, SA, 2008. Chapitre 14 - Systemic hypertension. In : TILLEY, LP, SMITH, FWK Jr, OYAMA, MA et SLEEPER, MM, *Manual of Canine and Feline Cardiology*. 4th ed. St-Louis : Saunders Elsevier. pp. 277-286.
- HENNY, J, 2011. Établissement et validation des intervalles de référence.pdf. *Annales de Biologie Clinique*. avril 2011. Vol. 69, n° 2, pp. 229-237.
- HORN, Paul S., FENG, Lan, LI, Yanmei et PESCE, Amadeo J., 2001. Effect of outliers and nonhealthy individuals on reference interval estimation. *Clinical Chemistry*. 2001. Vol. 47, n° 12, pp. 2137–2145.
- HURST, JW, 1998. Naming of the waves in the ECG, with a brief account of their genesis. *Circulation*. 1998. Vol. 98, n° 18, pp. 1937–1942.
- KEENE, BW et PETERSON, MF, 1980. ECG of the month. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. mai 1980. Vol. 176, n° 8, pp. 712-714.
- LOOF, 2016. *Tableau des pedigrees par race et par année* [en ligne]. 2016. [Consulté le 30 mars 2016]. Disponible à l'adresse : <http://www.loof.asso.fr/stats/recap.php>
- LOURENÇO, ML et FERREIRA, H, 2003. Electrocardiographic evolution in cats from birth to 30 days of age. *Canadian Veterinary Journal*. novembre 2003. Vol. 44, n° 11, pp. 914-917.
- MARTIN, M, 2015. *Small Animal ECGs: An introductory guide*. 3rd ed. Oxford : JohnWiley & Sons. ISBN 978-1-118-40973-2.
- NARA, Y., MOROHOSHI, Y., IKEDA, N., NAKAYAMA, S. et NAKANO, T., 1986. The electrocardiogram of unanesthetized cats fixed in a net. *Jikken Dobutsu*. janvier 1986. Vol. 35, pp. 21-28.
- PEREIRA, GG, LARSSON, MH, YAMAKI, FL, SOARES, EC, YAMATO, RJ, NETO, ML, FROES, TR et BASTOS, LV, 2004. Effects of propofol on the electrocardiogram and systolic blood pressure of healthy cats pre-medicated with acepromazine. *Veterinary anaesthesia and analgesia*. 2004. Vol. 31, n° 3, pp. 235–238.
- ROBERTSON, BT et EWELL, WM, 1976. Normal Values for the Electrocardiogram in the Cat. *Feline Practice*. mars 1976. Vol. 6, pp. 20-22.
- ROGERS, WA et BISHOP, SP, 1971. Electrocardiographic Parameters of the Normal Domestic Cat: a comparison of standard limb leads and an orthogonal system. *Journal of Electrocardiology*. 1971. Vol. 4, n° 4, pp. 315-321.
- ROUSSELOT, JF, 1980. L'électrocardiogramme normal du chat. *Recueil de Médecine Vétérinaire*. 1980. Vol. 156, n° 6, pp. 439-442.

SCHROPE, DP, FOX, PR, HAHN, AW, BOND, B et ROSENTHAL, S, 1995. Effects of electrocardiograph frequency filters on P-QRS-T amplitudes of the feline electrocardiogram. *American Journal of Veterinary Research*. novembre 1995. Vol. 56, pp. 1534-1540.

SOLBERG, H. E., 2005. Detection of Outliers in Reference Distributions: Performance of Horn's Algorithm. *Clinical Chemistry*. 1 décembre 2005. Vol. 51, n° 12, pp. 2326-2332. DOI 10.1373/clinchem.2005.058339.

SPALLA, I, SPINELLI, D, LUCATINI, C, MEMMI, S, MAGNONI, R, BRAMBILLA, P, RISCAZZI, G et LOCATELLI, C, 2013. ECG of the Month. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2013. Vol. 244, n° 1, pp. 45-47.

TAG, TL et DAY, TK, 2008. Electrocardiographic assessment of hyperkalemia in dogs and cats. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*. février 2008. Vol. 18, n° 1, pp. 61-67. DOI 10.1111/j.1476-4431.2007.00268.x.

TILLEY, LP et GOMPF, RE, 1977. Feline Electrocardiography. *Veterinary Clinics of North America - Small Animals*. mai 1977. Vol. 7, n° 2, pp. 257-272.

TILLEY, LP et SMITH, FWK Jr, 2008. Chapter 3 - Electrocardiography. In : TILLEY, LP, SMITH, FWK Jr, OYAMA, MA et SLEEPER, MM, *Manual of Canine and Feline Cardiology*. 4th ed. St-Louis : Saunders Elsevier. pp. 49-77.

TILLEY, LP, 1992. *Essentials of Canine and Feline Electrocardiography: Interpretation and Treatment*. Third Edition. St-Louis : Lea & Febiger.

VIDAL, 2017. *Analyses de biologie médicale : valeurs usuelles* [en ligne]. 2017. [Consulté le 2 avril 2017]. Disponible à l'adresse : <https://www.vidal.fr/infos-pratiques/id10442.htm>

WARE, WA et CHRISTENSEN, WF, 1999. Duration of the QT interval in healthy cats. *American Journal of Veterinary Research*. 1999. Vol. 60, n° 11, pp. 1426-1429.

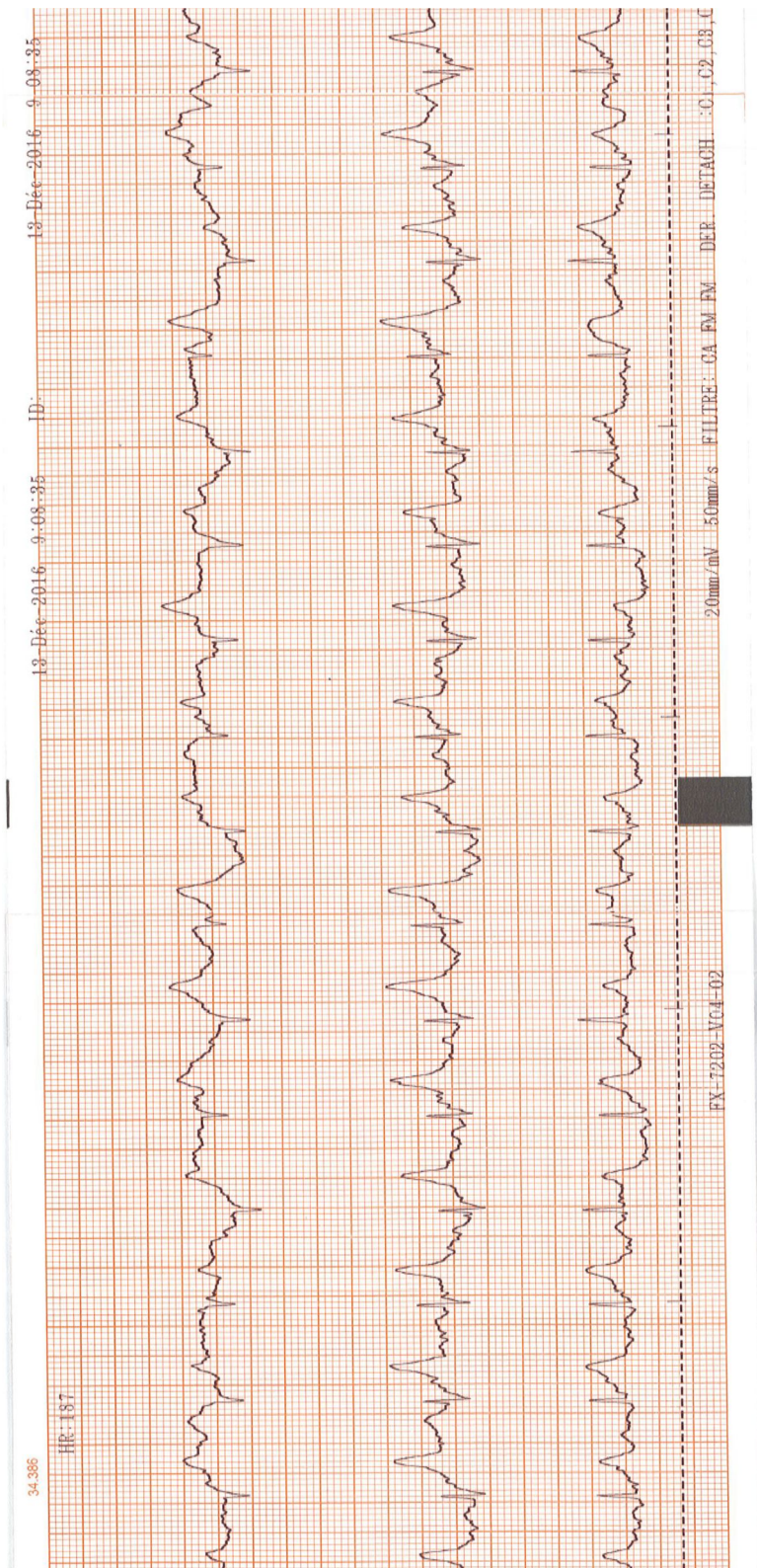
WARE, WA, 1999. Twenty-Four-Hour Ambulatory Electrocardiography in Normal Cats. *Journal of veterinary internal medicine*. 1999. Vol. 13, n° 3, pp. 175-180.

WAYNE, PA, 2010. *Defining, Establishing and Verifying Reference Intervals in the Clinical Laboratory; Approved Guideline - Third Edition. (corrected version) CLSI Document EP28-A3c*. octobre 2010. Clinical and Laboratory Standards Institute.

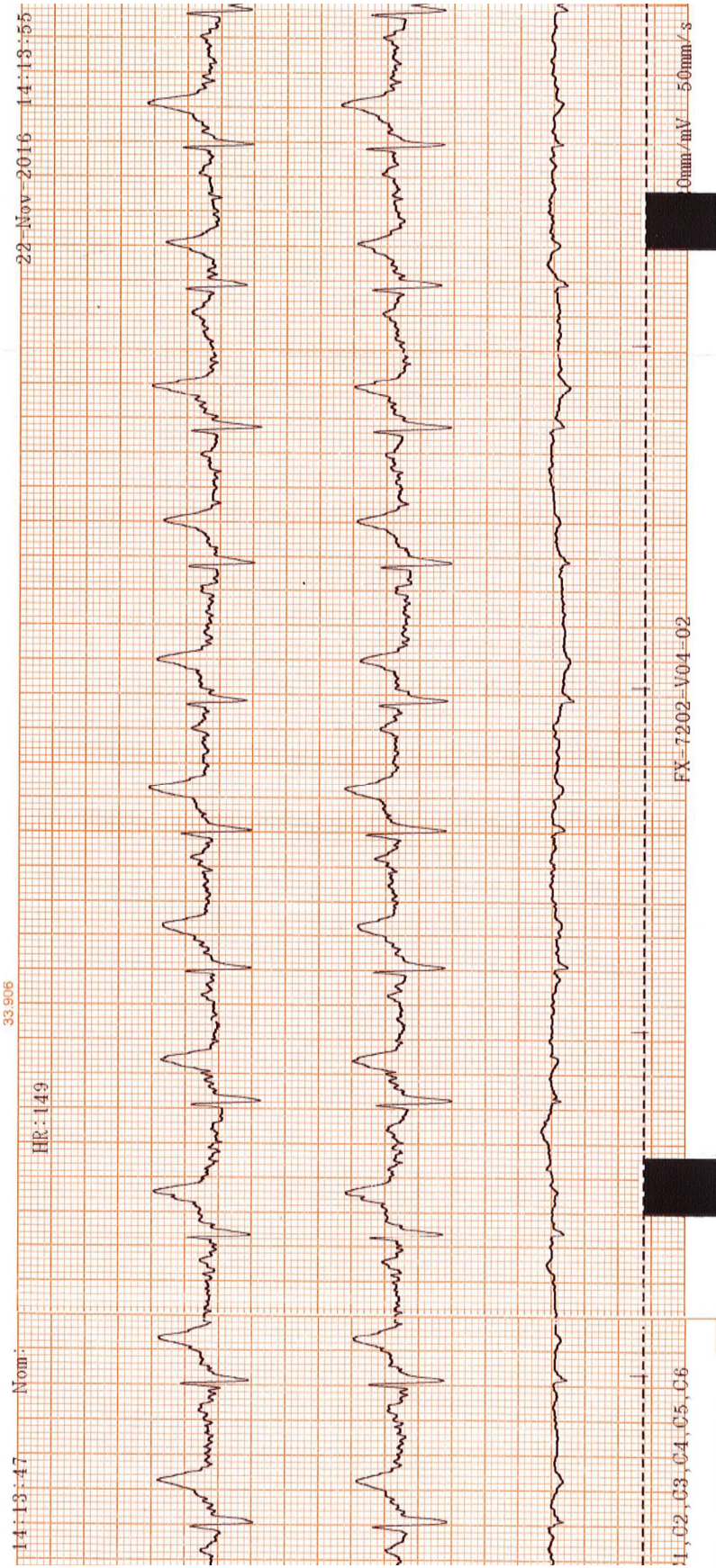
WETMORE, LA, KITTLESON, MD et HEITMAN, EG, 1986. ECG of the Month: AV Block in a Cat. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1986. Vol. 188, n° 12, pp. 1394-1395.

WSAVA GLOBAL NUTRITION COMMITTEE, 2013. Body condition score chart in cats. [en ligne]. 2013. [Consulté le 25 avril 2017]. Disponible à l'adresse : <https://www.wsava.org/sites/default/files/Body%20condition%20score%20chart%20cats.pdf>

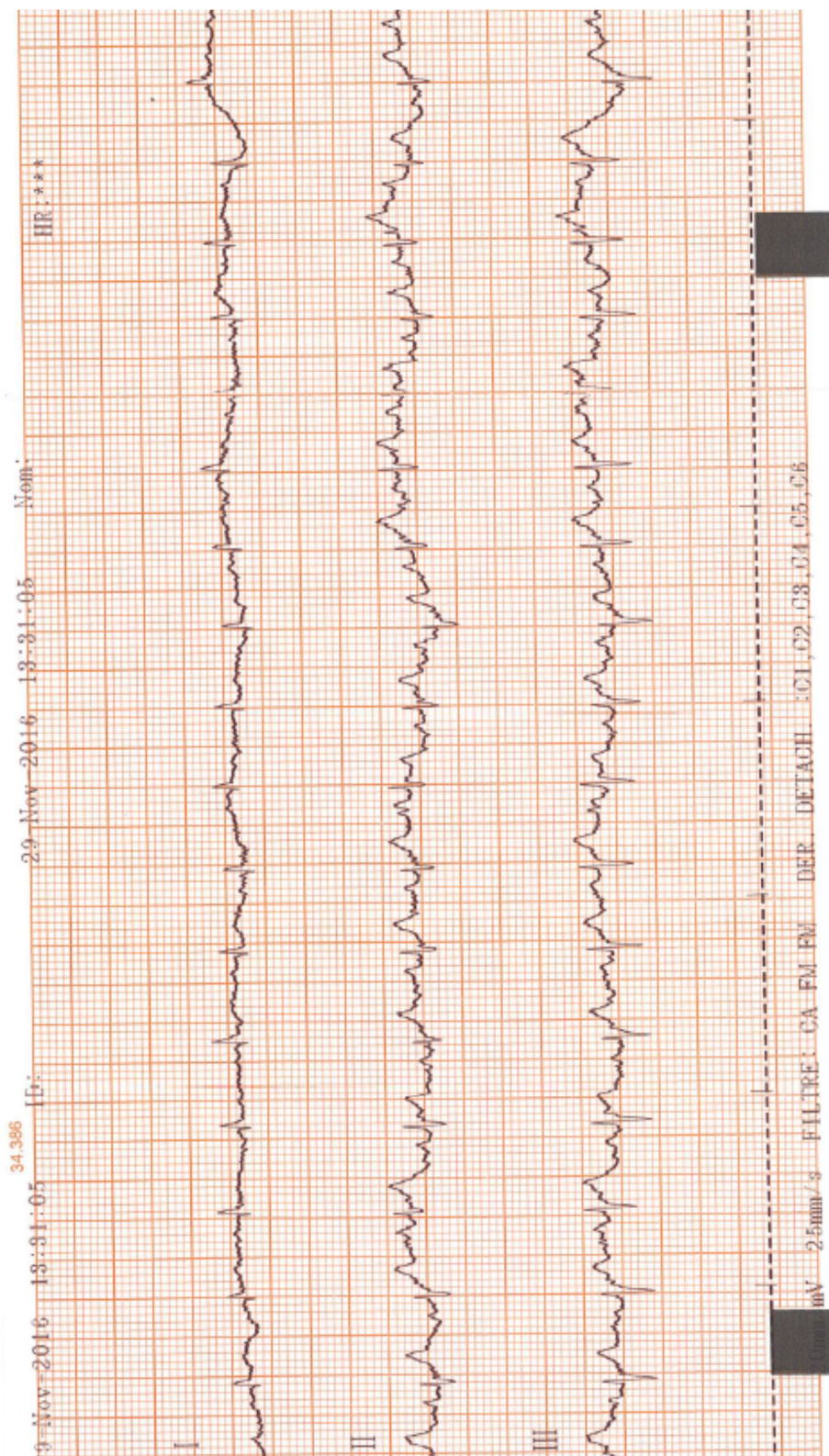
Annexe 1 : Exemple de tracé ECG sans anomalies

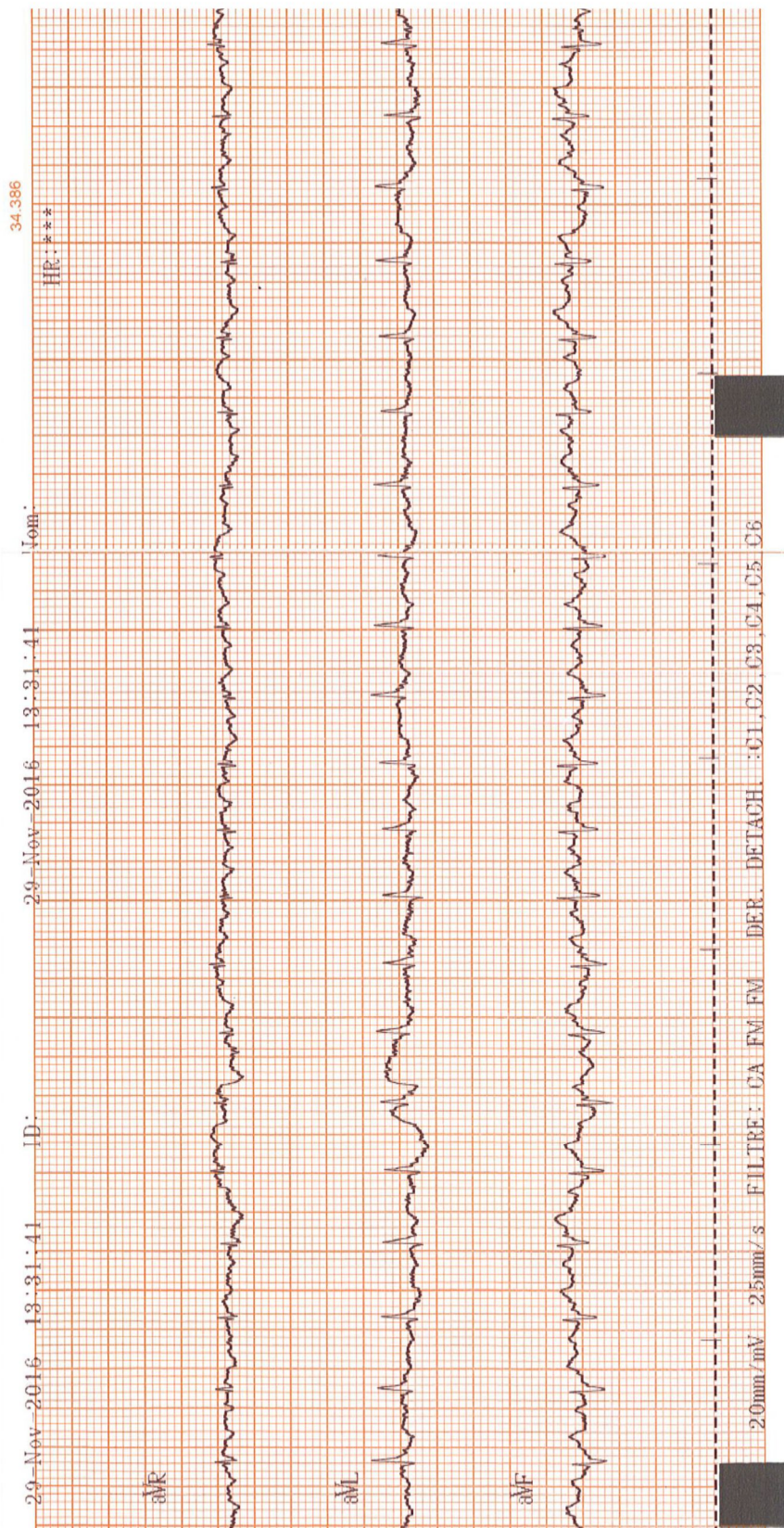


Annexe 2 : Exemple de tracé ECG présentant un BBG



Annexe 3 : Exemple de tracé ECG présentant un BFaG





Annexe 4 : Questionnaire



Etiquette Clovis ou identification de l'animal

QUESTIONNAIRE

Avez-vous eu l'impression que votre chat boit / urine en quantités plus importantes qu'avant ?

- Oui
- Non

Avez-vous déjà entendu votre chat tousser ?

- Oui
- Non

Est-ce que votre chat paraît parfois essoufflé ou a tendance à être rapidement fatigué ?

- Oui
- Non

Annexe 5 : Déclaration de consentement éclairé



Etiquette Clovis ou identification de l'animal

DÉCLARATION DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

L'électrocardiogramme (ECG) est la seule méthode permettant de vérifier la normalité du rythme cardiaque, par l'analyse de l'activité électrique du cœur. Cet examen nécessite de placer 4 électrodes non traumatiques sur les membres de l'animal vigile.

Je, soussigné _____, autorise l'ENV de Toulouse à réaliser un ECG sur mon animal _____. J'accepte l'utilisation des données recueillies, et leur exploitation dans le cadre de la thèse d'exercice vétérinaire « Etablissement des intervalles de référence des valeurs de l'ECG chez le chat sain ». Dans le cadre de cette étude, l'intégralité du coût de l'ECG (réalisation et lecture) sera pris en charge par l'ENV de Toulouse.

Je déclare que mon animal possède actuellement l'apparence de la bonne santé.

Je déclare avoir correctement rempli le questionnaire concernant mon animal.

Si une anomalie est constatée au cours de la procédure ou de l'exploitation des résultats recueillis, vous en serez personnellement informé. Les résultats recueillis au cours de cette étude seront publiés dans une thèse d'exercice vétérinaire, mais aucune de vos données personnelles ne sera utilisée ni publiée.

Je déclare avoir pu poser toutes les questions au Docteur _____ concernant l'ensemble de la procédure.

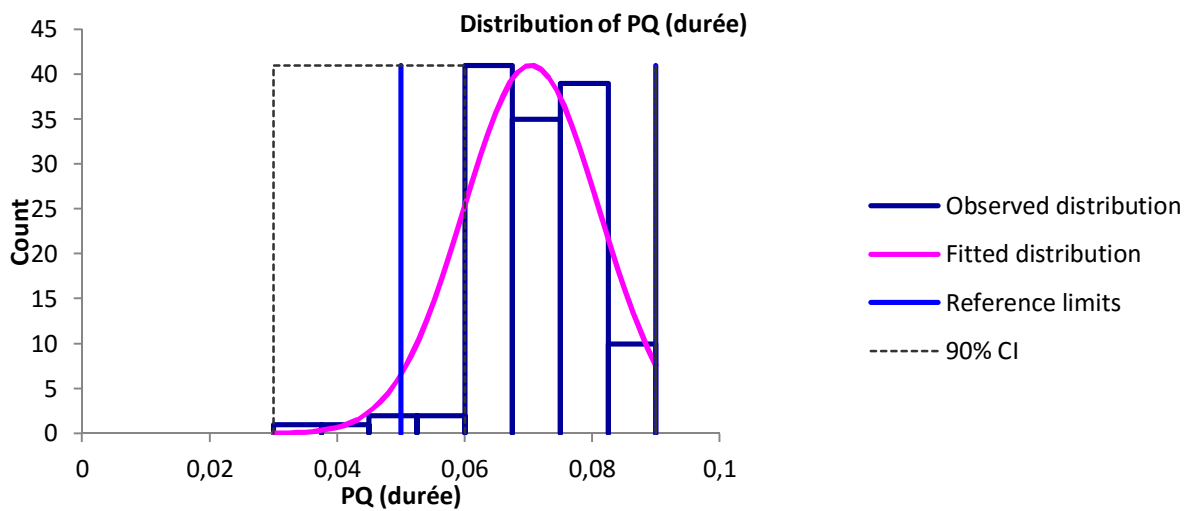
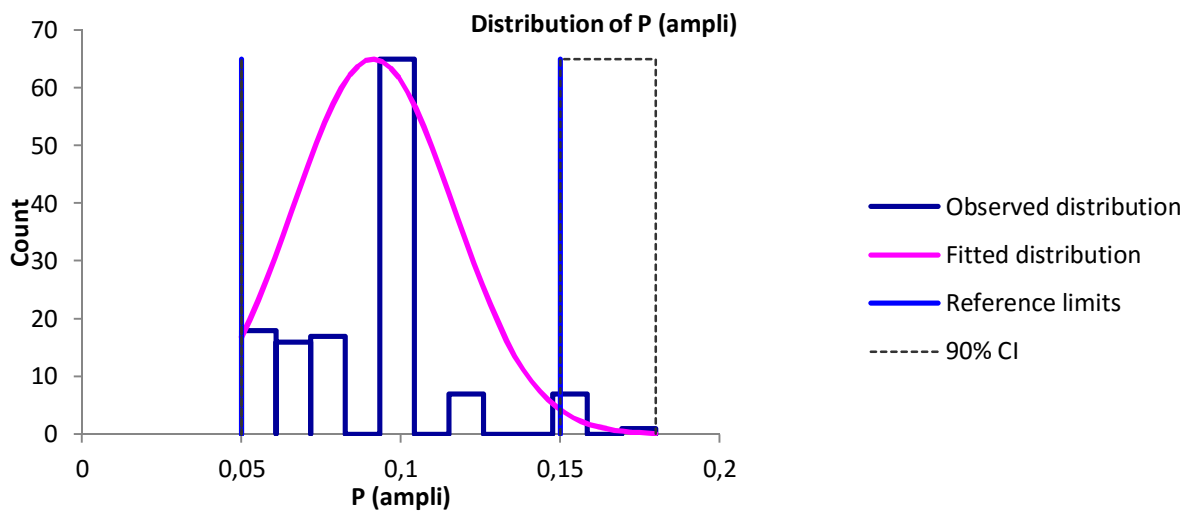
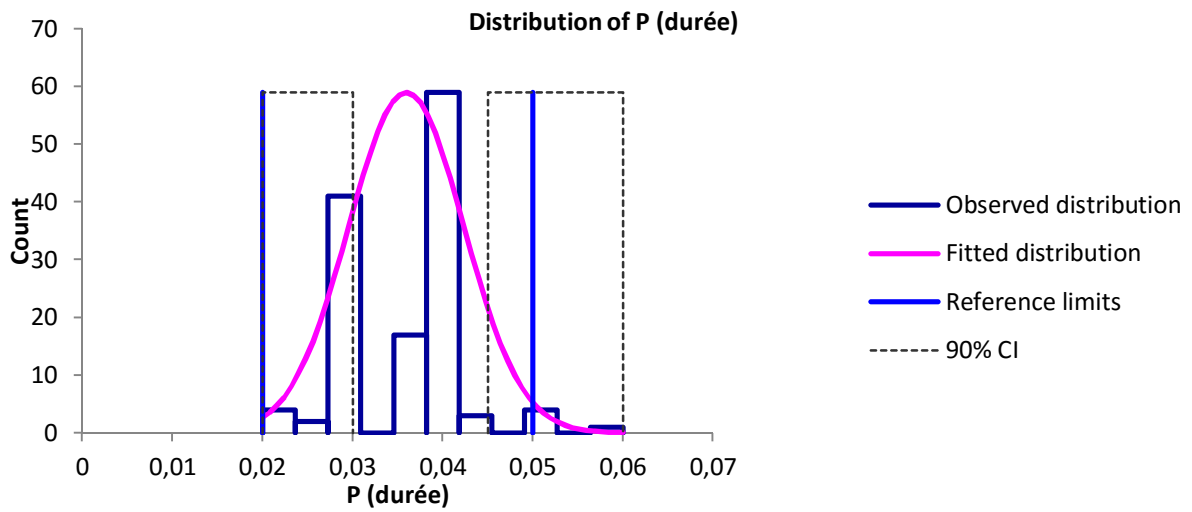
Signature :

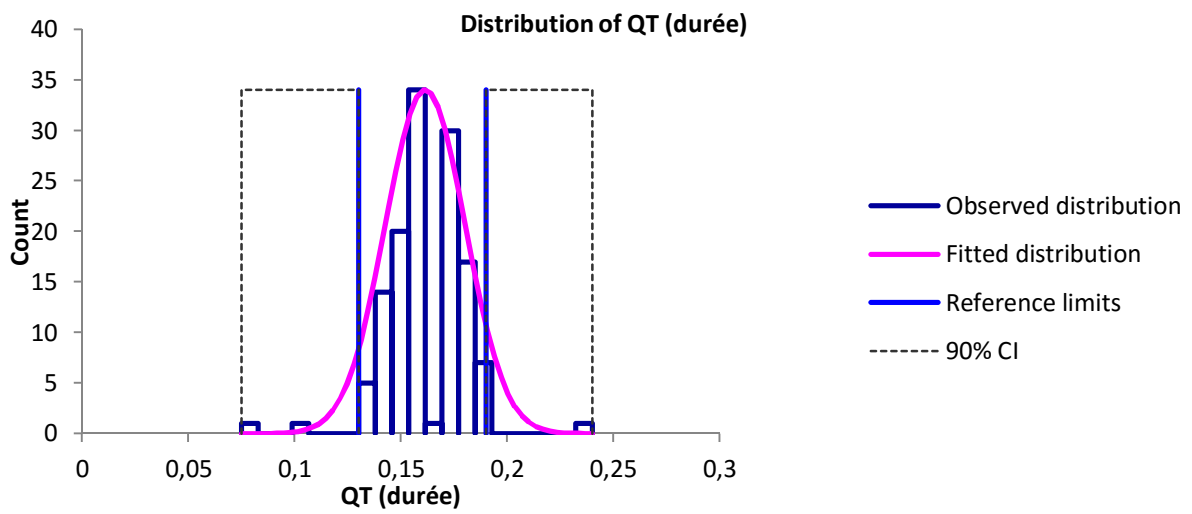
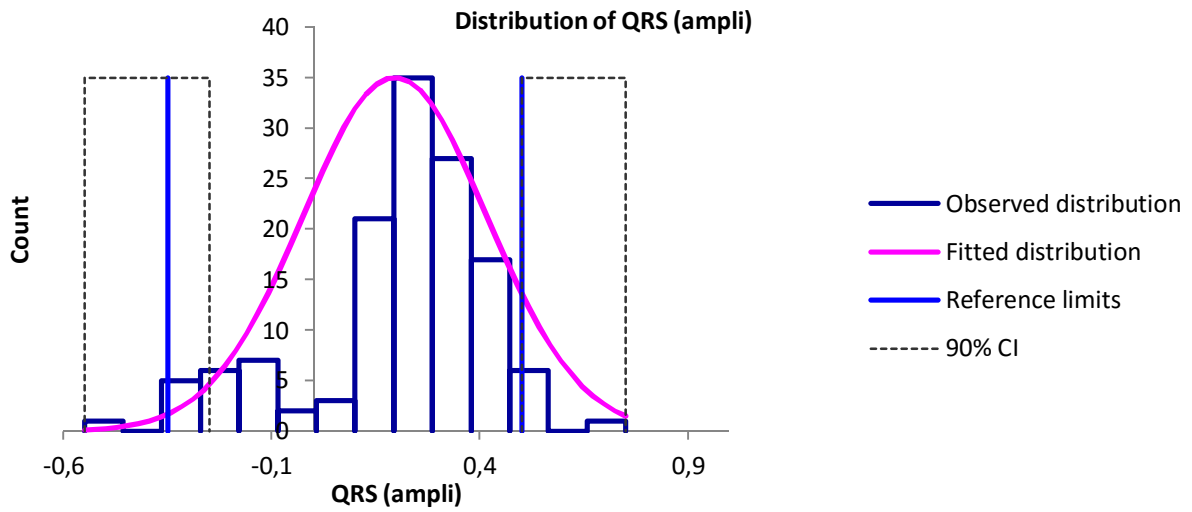
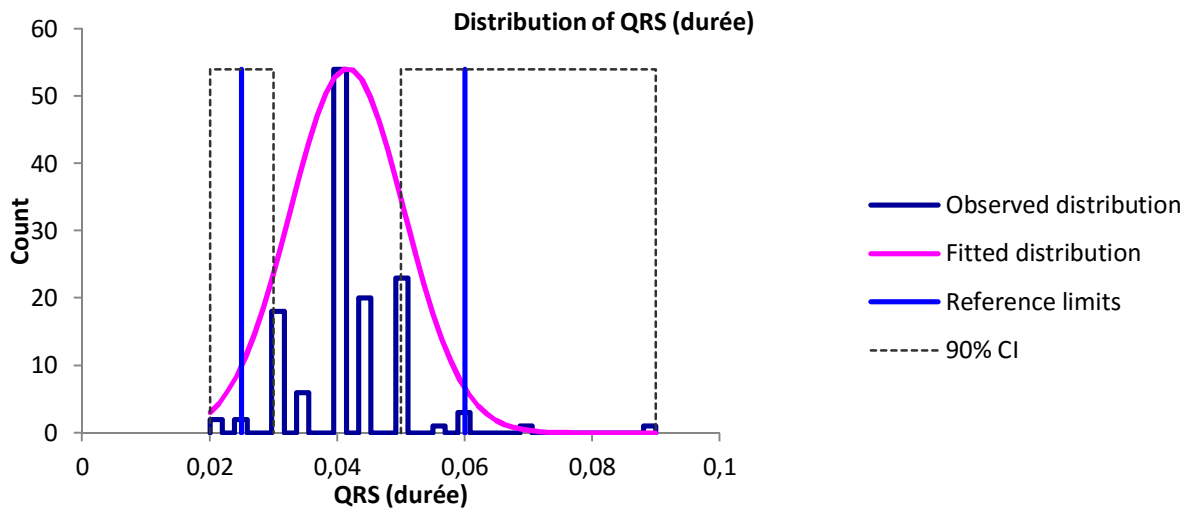
Fait à

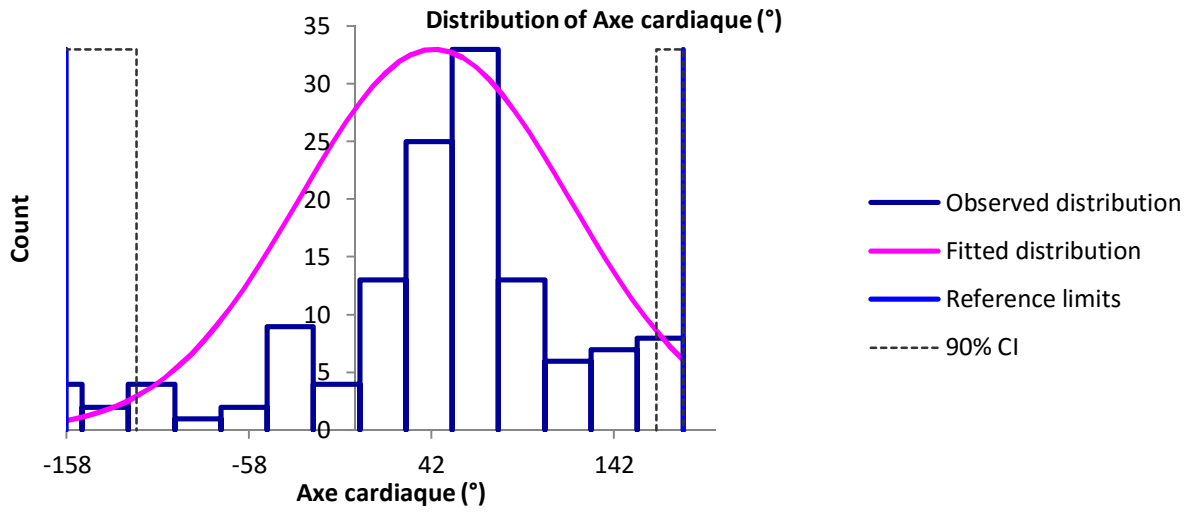
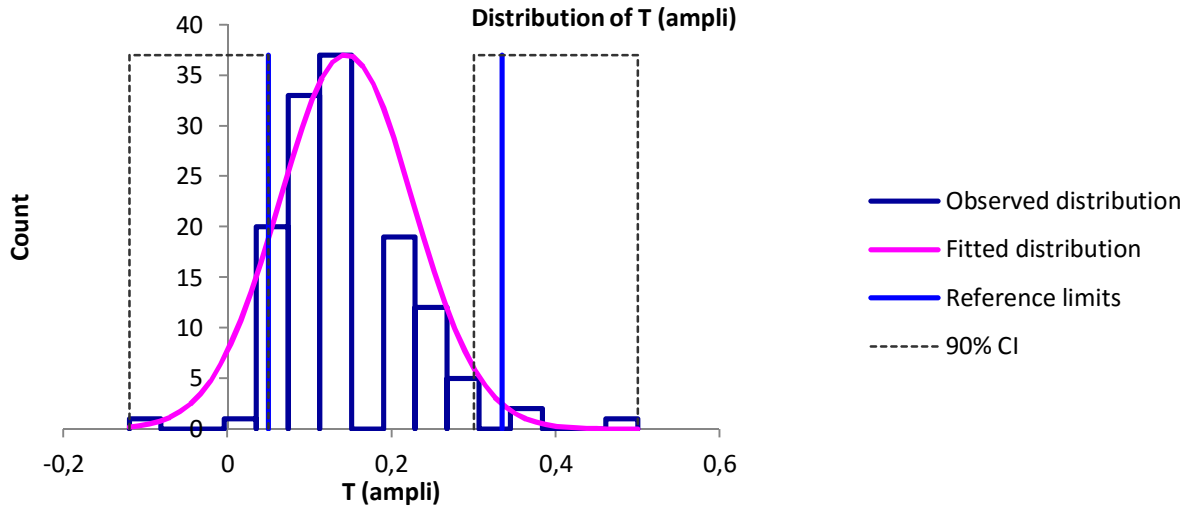
Le

En double exemplaire

Annexe 6 : Histogrammes de répartition des différents paramètres mesurés







Annexe 7 : Sexe, race, âge et motif de consultation des individus

N° ECG	Age (mois)	Sexe	Race	Motif
N1	35,27	FS	Européen	Thèse
N2	14,69	MS	Européen	Thèse
N3	68,01	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N4	29,49	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N5	43,49	FS	Européen	Thèse
N6	95,00	MS	Européen	Thèse
N7	68,11	MS	Européen	Ophtalmo (suivi greffe cornéenne)
N8	56,02	FS	Européen	Thèse
N9	99,01	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N10	28,21	MS	Européen	Dermato générale (oreilles sales)
N11	21,53	M	Européen	Repro (pré-stérilisation)
N12	19,40	MS	Européen	Thèse
N13	89,58	FS	Européen	Thèse
N14	80,57	MS	Européen	Thèse
N15	80,57	MS	Européen	Thèse
N16	19,56	FS	Européen	Thèse
N17	18,05	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N18	110,22	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N19	28,80	FS	Européen	Thèse
N20	40,80	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N21	57,82	MS	Européen	Préventive (primovaccination)
N22	63,84	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N23	54,50	FS	Européen	Thèse
N24	21,56	FS	Européen	Thèse
N25	31,33	FS	Européen	Thèse
N26	17,82	FS	Européen	Thèse
N27	43,33	MS	Européen	Thèse
N28	104,44	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N29	44,44	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N30	29,32	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N31	89,48	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N32	18,97	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N33	18,34	MS	Européen	Thèse
N34	39,48	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N35	64,83	MS	Européen	Thèse
N36	61,80	MS	Européen	Thèse
N37	25,71	M	Maine Coon	Ophtalmo (suivi greffe cornéenne)
N38	91,32	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N39	17,85	MS	Européen	Thèse

N40	14,76	MS	Européen	Thèse
N41	51,84	MS	Européen	Thèse
N42	53,85	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N43	18,28	M	Siamois	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N44	16,24	FS	Européen	Thèse
N45	14,79	MS	Croisé Persan	Thèse
N46	16,40	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N47	40,30	FS	Européen	Thèse
N48	14,79	MS	Européen	Thèse
N49	59,20	FS	Européen	Thèse
N50	44,84	MS	Européen	Thèse
N51	94,84	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N52	31,99	FS	Européen	Thèse
N53	28,80	FS	Européen	Thèse
N54	54,73	MS	Européen	Thèse
N55	31,72	FS	Européen	Thèse
N56	43,95	FS	Croisé Chartreux	Thèse
N57	43,69	FS	Européen	Thèse
N58	17,72	MS	Croisé Siamois	Thèse
N59	42,04	F	Européen	Repro (pré-stérilisation)
N60	39,61	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N61	28,60	MS	Croisé Maine Coon	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N62	39,91	FS	Européen	Préventive (primovaccination)
N63	19,92	F	Européen	Repro (pré-stérilisation)
N64	45,33	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N65	29,09	MS	Européen	Thèse
N66	57,66	MS	Européen	Thèse
N67	33,10	F	Exotic Shorthair	Dermato générale (dépistage teigne)
N68	21,10	M	Persan	Dermato générale (dépistage teigne)
N69	81,16	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N70	29,98	FS	Chartreux	Thèse
N71	109,11	M	Européen	Repro (pré-stérilisation)
N72	19,82	MS	Croisé Maine Coon	Thèse
N73	17,03	MS	Européen	Préventive (primovaccination)
N74	40,40	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N75	56,02	FS	Européen	Thèse
N76	19,76	FS	Maine Coon	Thèse
N77	32,05	FS	Européen	Thèse
N78	121,04	MS	Européen	Thèse
N79	33,46	MS	Européen	Chirurgie (suivi fracture à 2 mois)
N80	66,40	FS	Européen	Thèse
N81	72,35	MS	Maine Coon	Thèse
N82	90,93	MS	Européen	Préventive (primovaccination)

N83	68,24	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N84	79,32	MS	Européen	Thèse
N85	115,84	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N86	53,88	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N87	25,21	FS	Européen	Thèse
N88	38,63	FS	Maine Coon	Chirurgie (suivi fracture à 2 mois)
N89	65,35	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N90	49,11	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N91	13,21	FS	Européen	Préventive (primovaccination)
N92	27,25	FS	Européen	Préventive (primovaccination)
N93	97,34	FS	Européen	Thèse
N94	56,34	MS	Européen	Thèse
N95	93,43	MS	Européen	Préventive (primovaccination)
N96	44,35	M	Européen	Thèse
N97	91,39	FS	Européen	Thèse
N98	42,60	FS	Européen	Préventive (primovaccination)
N99	33,93	FS	Européen	Thèse
N100	42,18	MS	Persan	Thèse
N101	43,49	FS	Européen	Préventive (primovaccination)
N102	42,37	M	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N103	42,47	FS	Européen	Ophtalmo (suivi conjonctivite à 1 mois)
N104	45,63	FS	Européen	Thèse
N105	55,62	FS	Européen	Thèse
N106	99,51	FS	Européen	Thèse
N107	31,53	MS	Croisé Siamois	Thèse
N108	19,56	MS	Européen	Thèse
N109	18,28	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N110	34,35	FS	Européen	Thèse
N111	65,12	FS	Européen	Thèse
N112	20,05	MS	Européen	Thèse
N113	46,68	FS	Européen	Chirurgie (suivi plaie)
N114	38,69	FS	Européen	Thèse
N115	17,19	MS	Européen	Thèse
N116	51,84	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N117	116,67	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
N118	14,00	MS	Européen	Thèse
N119	25,35	MS	Européen	Thèse
N120	13,31	MS	Européen	Thèse
N121	12,36	FS	Européen	Thèse
N122	43,52	MS	Européen	Thèse
N123	79,52	MS	Européen	Thèse
N124	13,15	MS	Européen	Thèse
N125	12,49	FS	Européen	Thèse

A1	31,00	FS	Européen	Thèse
A2	32,54	FS	Européen	Thèse
A3	27,55	FS	Européen	Thèse
A4	37,77	F	Maine Coon	Préventive (rappel vaccinal annuel)
A5	15,02	F	Européen	Thèse
A6	13,97	MS	Croisé Maine Coon	Préventive (rappel vaccinal annuel)
A7	40,37	MS	Européen	Thèse
A8	56,67	MS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)
A9	114,96	MS	Croisé Chartreux	Thèse
A10	16,80	FS	Européen	Thèse
A11	24,49	MS	Maine Coon	Thèse
A12	106,87	MS	Européen	Ophtalmo (suivi suture cornéenne)
A13	30,64	FS	Européen	Thèse
A14	54,60	FS	Européen	Préventive (rappel vaccinal annuel)

Annexe 8 : Poids, score corporel, fréquences cardiaque et respiratoire à l'examen clinique des individus

N° ECG	Poids	BCS	FCA	FR
N1	4,3	5	184	48
N2	4	5	184	44
N3	6,1	6	164	48
N4	5,2	5	204	50
N5	4,1	5	154	34
N6	6,33	8	180	44
N7	4,8	5	216	32
N8	3,4	6	192	36
N9	4,89	7	186	44
N10	4,2	5	220	28
N11	5,24	5	220	64
N12	5,2	5	184	36
N13	4,2	5	240	60
N14	5,1	6	164	36
N15	6	7	192	48
N16	4,5	5	164	44
N17	4,96	5	220	40
N18	7,9	9	200	64
N19	4,6	4	236	44
N20	4,7	5	204	68
N21	6,95	7	180	68
N22	5,7	7	180	40
N23	4,7	7	164	40
N24	4,3	5	148	36
N25	3,6	4	208	52
N26	3,1	5	212	36
N27	4,1	5	156	32
N28	4,4	6	140	48
N29	4,74	5	180	64
N30	5,04	6	200	64
N31	5,9	7	180	34
N32	4,6	6	160	26
N33	4,5	6	184	44
N34	5,1	5	220	48
N35	8,9	9	180	28
N36	5	6	164	40
N37	7,5	6	180	40
N38	5,69	6	176	64
N39	4,5	6	160	44
N40	4,2	5	164	32

N41	5,8	7	184	64
N42	4,4	6	160	64
N43	6,68	6	136	52
N44	4,4	5	208	72
N45	4,8	6	168	44
N46	5,7	6	152	32
N47	4,5	5	208	64
N48	4,5	5	172	60
N49	4,8	6	168	68
N50	6	8	196	44
N51	5,9	5	200	60
N52	6,64	7	208	44
N53	3,6	5	196	36
N54	4,8	5	204	36
N55	4	5	180	40
N56	3,25	5	200	40
N57	6,6	8	192	60
N58	4,3	5	240	60
N59	3	3	200	54
N60	4,4	5	180	80
N61	4,56	5	148	68
N62	4,85	6	168	60
N63	3,8	5	232	72
N64	2,5	4	184	44
N65	5,23	6	164	48
N66	5,5	7	164	64
N67	2,8	5	240	44
N68	5,6	7	204	36
N69	4,7	7	186	44
N70	5,5	7	208	64
N71	6,1	7	204	78
N72	6,7	6	176	40
N73	5,4	7	128	60
N74	4	5	156	72
N75	3,33	5	240	48
N76	4,2	6	200	56
N77	4,6	6	192	48
N78	4,5	5	164	36
N79	4,9	5	198	72
N80	4	7	220	48
N81	8	4	184	64

N82	7,66	8	180	36
N83	4,8	6	180	70
N84	6	6	144	28
N85	5,1	6	200	68
N86	5,9	6	220	42
N87	5	7	184	64
N88	4	3	200	40
N89	4,3	7	128	40
N90	4,2	5	172	80
N91	3,9	4	240	52
N92	4,3	5	180	64
N93	4,8	7	176	56
N94	7	6	148	40
N95	5,5	5	152	44
N96	5,5	6	124	36
N97	3,4	5	172	72
N98	4	5	188	52
N99	3,1	5	204	40
N100	3,5	5	208	54
N101	5,3	6	240	60
N102	4,9	6	192	64
N103	4,3	7	184	44
N104	4,5	5	204	48
N105	4,3	6	180	40
N106	6,05	9	160	48
N107	5,6	7	164	48
N108	4,9	5	140	36
N109	3,6	5	132	32
N110	3,56	6	164	28
N111	3,5	5	136	44

N112	4,08	5	140	24
N113	5,24	7	200	48
N114	2,5	4	200	44
N115	3,6	5	184	48
N116	4,6	6	164	84
N117	4	6	100	60
N118	4,1	5	160	48
N119	4,1	5	184	40
N120	4,2	5	164	48
N121	4,6	6	200	40
N122	6	7	230	48
N123	5	5	200	44
N124	5,1	6	200	32
N125	4,1	5	160	52
A1	3,3	5	140	48
A2	5,4	9	180	36
A3	3,4	5	224	60
A4	4,8	5	180	80
A5	3,5	6	192	36
A6	4,8	5	172	48
A7	5,6	6	200	44
A8	4,66	5	200	60
A9	4,9	5	196	44
A10	4,2	5	180	60
A11	7,95	6	152	64
A12	6,64	6	168	48
A13	4,02	5	196	64
A14	4,75	6	200	60

Annexe 9 : Valeurs des paramètres de l'ECG des individus

N° ECG	FCC	Durée de P	Ampli de P	Durée de PQ	Durée de QRS	Ampli de QRS	Durée de QT	Ampli de T	Axe card.
N1	200	0,04	0,1	0,06	0,035	-0,25	0,15	0,2	-175
N2	180	0,03	0,1	0,06	0,04	0,45	0,16	0,2	42
N3	160	0,025	0,07	0,055	0,04	0,45	0,18	0,15	15
N4	180	0,045	0,05	0,06	0,03	0,15	0,15	0,15	54
N5	150	0,02	0,07	0,08	0,045	0,45	0,175	0,15	81
N6	170	0,025	0,05	0,07	0,04	0,2	0,17	0,08	22
N7	190	0,02	0,08	0,07	0,04	0,1	0,14	0,15	-30
N8	190	0,03	0,1	0,07	0,04	0,3	0,14	0,15	45
N9	190	0,03	0,1	0,06	0,04	0,4	0,14	0,05	90
N10	200	0,03	0,08	0,065	0,04	0,25	0,16	0,35	160
N11	230	0,035	0,08	0,06	0,045	0,25	0,13	0,05	49
N12	180	0,04	0,1	0,065	0,04	0,3	0,16	0,15	30
N13	240	0,035	0,12	0,06	0,04	0,75	0,15	0,05	64
N14	170	0,04	0,1	0,06	0,04	0,4	0,18	0,15	18
N15	180	0,04	0,15	0,08	0,035	-0,2	0,17	0,2	180
N16	170	0,03	0,1	0,07	0,03	0,3	0,175	0,3	15
N17	200	0,04	0,1	0,06	0,035	0,35	0,14	0,15	140
N18	180	0,03	0,08	0,09	0,03	0,2	0,14	0,08	40
N19	210	0,06	0,07	0,07	0,05	0,2	0,16	0,1	115
N20	260	0,03	0,1	0,04	0,04	0,2	0,15	0,25	165
N21	190	0,03	0,08	0,08	0,04	0,3	0,17	0,05	30
N22	180	0,035	0,05	0,05	0,04	0,2	0,16	0,15	170
N23	150	0,03	0,05	0,08	0,045	0,35	0,17	0,05	70
N24	150	0,04	0,1	0,09	0,045	0,3	0,17	0,12	60
N25	210	0,03	0,1	0,08	0,04	0,2	0,14	0,1	10
N26	200	0,03	0,05	0,06	0,04	0,12	0,17	0,05	110
N27	170	0,04	0,1	0,08	0,04	0,5	0,18	0,25	40
N28	210	0,04	0,1	0,07	0,04	0,25	0,14	0,1	115
N29	220	0,035	0,1	0,08	0,04	0,3	0,14	0,15	50
N30	190	0,035	0,18	0,07	0,045	0,35	0,165	0,2	45
N31	210	0,03	0,07	0,07	0,04	0,2	0,15	0,05	0
N32	150	0,04	0,15	0,07	0,045	0,55	0,17	0,15	68
N33	160	0,04	0,05	0,09	0,05	0,1	0,18	0,1	110
N34	230	0,035	0,1	0,07	0,045	0,3	0,16	0,15	75
N35	160	0,04	0,05	0,08	0,04	0,2	0,17	0,1	0
N36	150	0,03	0,07	0,08	0,04	0,15	0,18	0,1	30
N37	170	0,04	0,1	0,08	0,045	0,3	0,18	0,2	38
N38	160	0,02	0,05	0,08	0,03	0,4	0,16	0,15	60
N39	150	0,04	0,1	0,07	0,03	0,2	0,17	0,25	75
N40	160	0,04	0,08	0,08	0,045	0,35	0,17	0,1	30
N41	140	0,03	0,1	0,08	0,04	0,25	0,17	0,08	65

N42	150	0,04	0,1	0,09	0,04	0,25	0,17	0,2	15
N43	130	0,04	0,1	0,07	0,02	0,2	0,18	0,05	-10
N44	200	0,035	0,1	0,07	0,045	0,45	0,17	0,08	45
N45	180	0,03	0,08	0,06	0,04	0,15	0,16	0,1	30
N46	190	0,04	0,08	0,06	0,045	0,45	0,17	0,3	55
N47	210	0,04	0,07	0,08	0,03	0,15	0,13	0,05	15
N48	160	0,03	0,1	0,09	0,04	-0,15	0,175	0,25	150
N49	170	0,04	0,1	0,08	0,025	0,1	0,15	0,15	105
N50	230	0,035	0,1	0,06	0,04	0,25	0,14	0,08	60
N51	190	0,03	0,05	0,06	0,05	0,3	0,15	0,08	75
N52	200	0,04	0,1	0,065	0,055	0,45	0,16	0,1	35
N53	150	0,04	0,06	0,07	0,04	0,2	0,17	0,1	-15
N54	160	0,03	0,05	0,07	0,04	-0,15	0,16	0,2	150
N55	170	0,04	0,1	0,03	0,04	0,45	0,185	0,1	80
N56	170	0,04	0,08	0,075	0,04	0,15	0,14	0,12	130
N57	180	0,045	0,1	0,08	0,04	0,15	0,14	0,15	40
N58	210	0,05	0,1	0,06	0,03	0,35	0,17	0,2	60
N59	190	0,03	0,1	0,06	0,05	0,15	0,16	0,15	30
N60	190	0,04	0,05	0,07	0,05	0,3	0,16	0,07	60
N61	180	0,04	0,1	0,08	0,05	0,4	0,16	0,2	68
N62	180	0,03	0,1	0,05	0,035	0,25	0,16	0,15	15
N63	240	0,04	0,1	0,06	0,05	0,3	0,15	0,2	100
N64	200	0,04	0,05	0,07	0,03	0,1	0,15	0,1	150
N65	140	0,035	0,1	0,08	0,05	0,5	0,17	0,12	68
N66	160	0,03	0,12	0,08	0,05	0,3	0,16	0,15	81
N67	260	0,03	0,08	0,08	0,045	0,35	0,15	0,1	83
N68	200	0,04	0,12	0,065	0,03	0,2	0,15	0,12	75
N69	150	0,035	0,15	0,07	0,04	0,3	0,16	0,1	60
N70	230	0,04	0,05	0,07	0,035	0,1	0,13	0,1	166
N71	200	0,04	0,1	0,06	0,05	0,1	0,16	0,1	150
N72	170	0,04	0,07	0,06	0,05	0,4	0,17	0,1	100
N73	150	0,035	0,07	0,06	0,04	0,2	0,17	0,05	19
N74	180	0,03	0,1	0,08	0,045	0,3	0,14	0,15	90
N75	220	0,03	0,1	0,06	0,05	0,2	0,14	0,1	19
N76	210	0,03	0,1	0,06	0,04	-0,1	0,17	0,3	-120
N77	200	0,03	0,05	0,065	0,04	-0,25	0,16	0,12	-110
N78	190	0,035	0,1	0,06	0,05	0,4	0,16	0,12	83
N79	210	0,05	0,1	0,07	0,06	0,3	0,16	0,15	49
N80	220	0,04	0,07	0,06	0,03	0,15	0,16	0,15	71
N81	200	0,04	0,1	0,06	0,045	0,2	0,17	0,07	47
N82	190	0,04	0,08	0,08	0,045	0,2	0,15	0,05	43
N83	210	0,03	0,08	0,07	0,05	0,35	0,14	0,1	9
N84	130	0,03	0,1	0,08	0,045	0,25	0,18	0,08	39
N85	170	0,035	0,05	0,09	0,05	0,17	0,16	0,08	30
N86	160	0,04	0,07	0,07	0,05	0,25	0,17	0,25	90

N87	180	0,035	0,08	0,055	0,03	0,07	0,15	0,15	-30
N88	190	0,03	0,07	0,06	0,04	0,3	0,18	0,05	20
N89	190	0,035	0,12	0,06	0,04	0,5	0,16	0,1	90
N90	150	0,04	0,12	0,07	0,045	0,25	0,15	0,15	60
N91	170	0,04	0,1	0,07	0,05	0,5	0,18	0,15	64
N92	170	0,035	0,1	0,08	0,05	-0,25	0,18	0,2	-150
N93	180	0,05	0,1	0,07	0,05	0,45	0,16	0,3	65
N94	140	0,04	0,08	0,07	0,04	0,12	0,15	0,05	90
N95	190	0,04	0,1	0,07	0,05	0,45	0,16	0,12	42
N96	130	0,04	0,1	0,09	0,045	0,5	0,15	0,07	40
N97	180	0,04	0,15	0,06	0,03	0,35	0,17	0,2	120
N98	170	0,03	0,08	0,075	0,04	0,1	0,16	0,1	-30
N99	210	0,04	0,1	0,06	0,045	0,35	0,16	0,25	74
N100	200	0,04	0,1	0,08	0,03	-0,05	0,16	0,15	-30
N101	260	0,04	0,1	0,06	0,03	0,05	0,15	0,25	180
N102	200	0,04	0,05	0,08	0,04	0,25	0,13	0,02	60
N103	190	0,03	0,05	0,06	0,04	-0,12	0,15	0,15	180
N104	190	0,04	0,15	0,085	0,03	0,2	0,17	0,2	60
N105	160	0,03	0,1	0,07	0,04	0,4	0,16	0,05	60
N106	160	0,03	0,07	0,08	0,04	0,45	0,15	0,2	57
N107	170	0,03	0,1	0,08	0,03	0,3	0,19	0,25	60
N108	130	0,03	0,07	0,07	0,04	0,35	0,19	0,2	60
N109	140	0,04	0,1	0,065	0,03	0,25	0,19	0,25	65
N110	150	0,04	0,12	0,08	0,04	-0,3	0,19	0,2	180
N111	130	0,03	0,1	0,08	0,04	0,05	0,19	0,1	-30
N112	150	0,03	0,1	0,065	0,04	0,2	0,19	0,15	130
N113	220	0,04	0,12	0,08	0,04	0,15	0,16	0,05	10
N114	190	0,05	0,1	0,06	0,025	0,2	0,075	0,05	90
N115	190	0,02	0,1	0,06	0,02	0,25	0,16	0,2	45
N116	160	0,04	0,1	0,08	0,04	0,1	0,16	-0,12	-30
N117	100	0,04	0,08	0,09	0,04	0,25	0,24	0,25	76
N118	170	0,04	0,1	0,075	0,04	0,3	0,18	0,12	78
N119	170	0,04	0,1	0,08	0,045	0,3	0,15	0,15	180
N120	160	0,03	0,07	0,08	0,04	0,35	0,16	0,25	39
N121	190	0,04	0,1	0,05	0,03	0,25	0,16	0,3	163
N122	210	0,04	0,12	0,07	0,04	0,6	0,16	0,2	100
N123	170	0,04	0,1	0,07	0,04	0,4	0,19	0,25	-9
N124	180	0,04	0,12	0,07	0,04	0,25	0,14	0,15	30
N125	150	0,045	0,1	0,07	0,05	0,75	0,18	0,35	72
A1	140	0,03	0,15	0,075	0,09	-0,55	0,19	0,5	-162
A2	160	0,03	0,07	0,06	0,06	-0,2	0,18	0,25	-76
A3	230	0,04	0,07	0,06	0,05	-0,3	0,13	0,1	-175
A4	150	0,04	0,1	0,07	0,05	-0,35	0,18	0,35	-110
A5	180	0,04	0,15	0,08	0,03	-0,35	0,17	0,2	-129

A6	160	0,03	0,08	0,08	0,07	-0,35	0,17	0,3	-140
A7	210	0,045	0,07	0,07	0,05	0,2	0,15	0,15	75
A8	190	0,04	0,1	0,07	0,06	0,2	0,16	0,2	76
A9	200	0,04	0,1	0,07	0,035	0,15	0,18	0,15	-30
A10	190	0,04	0,1	0,07	0,04	-0,15	0,1	0,05	-110
A11	160	0,04	0,1	0,09	0,04	-0,15	0,18	0,1	-30
A12	180	0,04	0,1	0,08	0,04	-0,15	0,18	0,15	-60
A13	190	0,03	0,1	0,07	0,045	-0,2	0,16	0,1	-49
A14	190	0,035	0,1	0,08	0,04	-0,07	0,17	0,25	-30

Annexe 10 : Résultats des tests de Khi-deux effectués classés par paramètre de l'ECG

- Effets des paramètres sur l'amplitude de l'onde P :

1/ Age

Khi2=2,72 ddl=6 p=0,845 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 6) V de Cramer=0,161

Age (mois) / Amplitude de P (mV)	de >0,05 à 0,08	de >0,08 à 0,12	de >0,12 à 0,18	Total
de >13,21 à 24	7	17	1	25
de >24 à 60	13	38	2	53
de >60 à 84	5	5	2	12
de >84 à 121,04	5	9	1	15
Total	30	69	6	105

2/ Sexe

Khi2=0,762 ddl=2 p=0,689 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 2)

Sexe / Amplitude de P (mV)	de >0,05 à 0,08	de >0,08 à 0,12	de >0,12 à 0,18	Total
Femelles	13	36	4	53
Mâles	17	34	2	53
Total	30	70	6	106

3/ Poids

Khi2=1,78 ddl=6 p=0,938 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 6) V de Cramer=0,13

Poids (kg) / Amplitude de P (mV)	de >0,05 à 0,08	de >0,08 à 0,12	de >0,12 à 0,18	Total
de >2,5 à 3,6	3	10	1	14
de >3,6 à 4,7	9	28	3	40
de >4,7 à 6,5	13	24	2	39
de >6,5 à 8,9	5	7		12
Total	30	69	6	105

4/ BCS

Khi2=1,22 ddl=2 p=0,549 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 2)

BCS / Amplitude de P (mV)	de >0,05 à 0,08	de >0,08 à 0,12	de >0,12 à 0,18	Total
3 à 5	13	38	2	53
6 à 9	17	32	4	53
Total	30	70	6	106

- Effets des paramètres sur la durée de l'onde P :

1/ Age

Khi²=1,60 ddl=8 p=0,99 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 7) V de Cramer=0,114

Age (mois) / Durée de l'onde P (s)	de >0 à 0,038	de >0,038 à 0,06	Total
de >13,21 à 24	12	15	27
de >24 à 60	30	32	62
de >60 à 84	9	5	14
de >84 à 121,04	10	9	19
Total	61	62	123

2/ Sexe

Khi²=0,204 ddl=4 p=0,993 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 5) V de Cramer=0,041

Sexe / Durée de l'onde P (s)	de >0 à 0,038	de >0,038 à 0,06	Total
Femelles	32	30	62
Mâles	29	32	61
Total	61	62	123

3/ Poids

Khi²=9,08 ddl=8 p=0,335 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 7) V de Cramer=0,272

Poids (kg) / Durée de l'onde P (s)	de >0 à 0,038	de >0,038 à 0,06	Total
de >2,5 à 3,6	8	7	15
de >3,6 à 4,7	22	23	45
de >4,7 à 6,5	29	19	48
de >6,5 à 8,9	2	11	13
Total	61	62	123

4/ BCS

Khi²=0,009 ddl=4 p=0,999 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 5) V de Cramer=0,008

BCS / Durée de l'onde P (s)	de >0 à 0,038	de >0,038 à 0,06	Total
3 à 5	29	30	59
6 à 9	32	32	64
Total	61	62	123

- Effets des paramètres sur la durée du segment PQ :

1/ Age

Khi2=9,51 ddl=6 p=0,146 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 2) V de Cramer=0,28

Age (mois) / Durée du segment PQ (s)	de >0,03 à 0,06	de >0,06 à 0,075	de >0,075 à 0,09	Total
de >13,21 à 24	12	11	4	27
de >24 à 60	13	20	28	61
de >60 à 84	6	3	5	14
de >84 à 121,04	6	6	7	19
Total	37	40	44	121

2/ Sexe

Khi2=0,610 ddl=2 p=0,742 (Peu significatif)

Sexe / Durée du segment PQ (s)	de >0,03 à 0,06	de >0,06 à 0,075	de >0,075 à 0,09	Total
Femelles	19	22	20	61
Mâles	18	19	24	61
Total	37	41	44	122

3/ Poids

Khi2=3,50 ddl=6 p=0,745 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 4) V de Cramer=0,171

Poids (kg) / Durée du segment PQ (s)	de >0,03 à 0,06	de >0,06 à 0,075	de >0,075 à 0,09	Total
de >2,5 à 3,6	6	4	5	15
de >3,6 à 4,7	12	17	15	44
de >4,7 à 6,5	16	16	16	48
de >6,5 à 8,9	2	3	8	13
Total	36	40	44	120

4/ BCS

Khi2=5,02 ddl=2 **p=0,079 (Assez significatif)**

BCS / Durée du segment PQ (s)	de >0,03 à 0,06	de >0,06 à 0,075	de >0,075 à 0,09	Total
3 à 5	20	23	15	58
6 à 9	17	18	29	64
Total	37	41	44	122

- Effets des paramètres sur l'amplitude du complexe QRS :

1/ Age

Khi²=1,91 ddl=6 p=0,927 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 4) V de Cramer=0,126

Age (mois) / Amplitude du QRS (mV)	de >-0,3 à 0,05	de >0,05 à 0,2	de >0,2 à 0,75	Total
de >13,21 à 24	3	8	16	27
de >24 à 60	10	20	31	61
de >60 à 84	2	6	6	14
de >84 à 121,04	1	7	11	19
Total	16	41	64	121

2/ Sexe

Khi²=1,16 ddl=2 p=0,565 (Peu significatif)

Sexe / Amplitude du QRS (mV)	de >-0,3 à 0,05	de >0,05 à 0,2	de >0,2 à 0,75	Total
Femelles	10	20	31	61
Mâles	6	21	34	61
Total	16	41	65	122

3/ Poids

Khi²=2,24 ddl=2 p=0,327 (Peu significatif)

Poids (kg) / Amplitude du QRS (mV)	de >-0,3 à 0,05	de >0,05 à 0,2	de >0,2 à 0,75	Total
de >2,5 à 4,7	10	16	33	59
de >4,7 à 8,9	6	23	32	61
Total	16	39	65	120

4/ BCS

Khi²=0,495 ddl=2 p=0,784 (Peu significatif)

BCS / Amplitude du QRS (mV)	de >-0,3 à 0,05	de >0,05 à 0,2	de >0,2 à 0,75	Total
3 à 5	8	18	33	59
6 à 9	8	23	32	63
Total	16	41	65	122

- Effets des paramètres sur la durée du complexe QRS :

1/ Age

Khi2=3,39 ddl=6 p=0,76 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 5) V de Cramer=0,168

Age (mois) / Durée du QRS (s)	de 0,02 à 0,035	de 0,035 à 0,045	de 0,045 à 0,06	Total
de >13,21 à 24	6	16	3	25
de >24 à 60	13	38	11	62
de >60 à 84	2	11	1	14
de >84 à 121,04	4	9	6	19
Total	25	74	21	120

2/ Sexe

Khi2=2,10 ddl=2 p=0,35 (Peu significatif)

Sexe / Durée du QRS (s)	de 0,02 à 0,035	de 0,035 à 0,045	de 0,045 à 0,06	Total
Femelles	16	35	11	62
Mâles	9	39	11	59
Total	25	74	22	121

3/ Poids

Khi2=2,63 ddl=6 p=0,855 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 4) V de Cramer=0,149

Poids (kg) / Durée du QRS (s)	de 0,02 à 0,035	de 0,035 à 0,045	de 0,045 à 0,06	Total
de >2,5 à 3,6	3	9	2	14
de >3,6 à 4,7	7	30	8	45
de >4,7 à 6,5	12	26	10	48
de >6,5 à 8,9	1	9	2	12
Total	23	74	22	119

4/ BCS

Khi2=0,882 ddl=2 p=0,649 (Peu significatif)

BCS / Durée du QRS (s)	de 0,02 à 0,035	de 0,035 à 0,045	de 0,045 à 0,06	Total
3 à 5	13	33	12	58
6 à 9	12	41	10	63
Total	25	74	22	121

- Effets des paramètres sur la durée du segment QT :

1/ Age

Khi2=6,49 ddl=6 p=0,37 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 3) V de Cramer=0,232

Age (mois) / Durée du QT (s)	de 0,075 à 0,15	de >0,15 à 0,17	de >0,17 à 0,24	Total
de >13,21 à 24	5	15	7	27
de >24 à 60	23	29	9	61
de >60 à 84	2	7	5	14
de >84 à 121,04	8	8	3	19
Total	38	59	24	121

2/ Sexe

Khi2=2,84 ddl=2 p=0,241 (Peu significatif)

Sexe / Durée du QT (s)	de 0,075 à 0,15	de >0,15 à 0,17	de >0,17 à 0,24	Total
Femelles	23	28	10	61
Mâles	15	31	15	61
Total	38	59	25	122

3/ Poids

Khi2=3,65 ddl=6 p=0,726 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 4) V de Cramer=0,174

Poids (kg) / Durée du QT (s)	de 0,075 à 0,15	de >0,15 à 0,17	de >0,17 à 0,24	Total
de >2,5 à 3,6	5	7	3	15
de >3,6 à 4,7	10	24	11	45
de >4,7 à 6,5	18	23	7	48
de >6,5 à 8,9	4	5	4	13
Total	37	59	25	121

4/ BCS

Khi2=0,577 ddl=2 p=0,754 (Peu significatif)

BCS / Durée du QT (s)	de 0,075 à 0,15	de >0,15 à 0,17	de >0,17 à 0,24	Total
3 à 5	19	26	13	58
6 à 9	19	33	12	64
Total	38	59	25	122

- Effets des paramètres sur l'amplitude de l'onde T :

1/ Age

Khi2=9,80 ddl=6 p=0,132 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 3) V de Cramer=0,285

Age (mois) / Amplitude de T (mV)	de -0,12 à 0,09	de >0,09 à 0,18	de >0,18 à 0,35	Total
de >13,21 à 24	6	10	11	27
de >24 à 60	13	31	17	61
de >60 à 84	2	11	1	14
de >84 à 121,04	8	7	4	19
Total	29	59	33	121

2/ Sexe

Khi2=0,607 ddl=2 p=0,743 (Peu significatif)

Sexe / Amplitude de T (mV)	de -0,12 à 0,09	de >0,09 à 0,18	de >0,18 à 0,35	Total
Femelles	13	32	16	61
Mâles	16	28	17	61
Total	29	60	33	122

3/ Poids

Khi2=7,41 ddl=6 p=0,284 (Peu fiable. Valeurs théoriques inférieures à 5 : 4) V de Cramer=0,249

Poids (kg) / Amplitude de T (mV)	de -0,12 à 0,09	de >0,09 à 0,18	de >0,18 à 0,35	Total
de >2,5 à 3,6	1	9	5	15
de >3,6 à 4,7	8	20	16	44
de >4,7 à 6,5	13	24	11	48
de >6,5 à 8,9	6	6	1	13
Total	28	59	33	120

4/ BCS

Khi2=1,83 ddl=2 p=0,402 (Peu significatif)

BCS / Amplitude de T (mV)	de -0,12 à 0,09	de >0,09 à 0,18	de >0,18 à 0,35	Total
3 à 5	11	30	18	59
6 à 9	18	30	15	63
Total	29	60	33	122

Nom : DUBÈS

Prénom : Antoine

Titre : Établissement des intervalles de référence des valeurs de l'ECG chez le chat sain

Résumé :

La cardiologie féline est une discipline en constante progression, et fait appel à différents examens complémentaires. Parmi ceux-ci, l'électrocardiogramme (ECG) reste le seul moyen d'explorer les anomalies du rythme. Les intervalles de référence (IR) disponibles à ce jour chez le chat présentent des limites à leur utilisation en pratique : une faible représentativité statistique, sans intervalles de confiance, et/ou des méthodes d'acquisition de l'ECG contraignantes pour l'animal, comme la position en décubitus latéral ou l'anesthésie.

Notre étude a permis, conformément aux recommandations internationales, l'établissement des IR des valeurs de l'ECG obtenus sur 147 chats sains, d'après leur examen clinique et leurs anamnèse-commémoratifs, et après consentement éclairé du propriétaire. Pour limiter leur stress, les ECG ont été acquis en décubitus sternal, sans aucune contention ni sédation.

Les IR obtenus dans cette étude par la méthode non paramétrique, applicable sur des données quel que soit leur type de distribution, diffèrent légèrement de ceux de Tilley et Gompf (1976). Le poids, le sexe et l'âge n'ont aucune influence sur les valeurs de l'ECG. D'autre part, l'analyse des tracés a mis en évidence une forte prévalence (10%) d'anomalies de conduction chez des chats asymptomatiques (bloc de branche droit et gauche, bloc fasciculaire antérieur gauche).

Mots-clés : cardiologie, ECG, électrocardiogramme, chat, adulte, sain, intervalles de référence, méthode non paramétrique, décubitus sternal.

Abstract:

Feline cardiology is a developing field, using different kind of complementary examinations among which electrocardiogram (EKG) is the only one able to explore the cardiac rhythm. Reference intervals or usual values available within the veterinary literature have some limitations: low statistical validation, no confidence interval determination, acquisition methods not easily reproduced in practice as lateral decubitus or general anesthesia.

We determined reference intervals (RI) of EKG, as prescribed in international recommendations, using non parametric method, by obtaining EKG in 147 healthy cats, as defined by clinical examination and commemoratives, after owner informed consent. To lower the cats' stress, EKG were performed in sternal recumbency without any contention nor sedation.

The RI determined in this study are slightly different from the one defined by Tilley and Gompf in 1976. Body weight, gender and age have no effect on EKG values.

Moreover, conduction abnormalities (right and left bundle branch block, left fascicular anterior block) were observed about 10% of the cats without any clinical nor echocardiographic abnormalities.

Key words: cardiology, EKG, electrocardiogram, cat, adult, healthy, reference intervals, non-parametric methods, sternal recumbency.