





# VARIABILITÉ DE L'ÉCHOCARDIOGRAPHIE CHEZ LE CHAT A L'E.N.V.T.

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement en 2009  
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**Alexia, Fabienne MULLER**

Née, le 17 novembre 1983 à SCHILTIGHEIM (Bas-Rhin)

---

Directeur de thèse : Madame le Docteur Armelle DIQUELOU

---

**JURY**

PRESIDENT :  
**M. Jean-Marie FAUVEL**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEUR :  
**Mme. Armelle DIQUELOU**  
**Mme. Isabelle RAYMOND**

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



**Ministère de l'Agriculture et de la Pêche  
ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

**Directeur** : M. A. MILON

**Directeurs honoraires** M. G. VAN HAVERBEKE.  
M. P. DESNOYERS

**Professeurs honoraires** :

M. L. FALIU	M. J. CHANTAL	M. BODIN ROZAT DE MENDRES NEGRE
M. C. LABIE	M. JF. GUELFY	
M. C. PAVAU	M. EECKHOUTTE	
M. F. LESCURE	M. D.GRIESS	
M. A. RICO	M. CABANIE	
M. A. CAZIEUX	M. DARRE	
Mme V. BURGAT	M. HENROTEAUX	

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

M. **BRAUN Jean-Pierre**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*  
M. **DORCHIES Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*  
M. **EUZEBY Jean**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*  
M. **TOUTAIN Pierre-Louis**, *Physiologie et Thérapeutique*

**PROFESSEURS 1° CLASSE**

M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*  
M. **CORPET Denis**, *Science de l'Aliment et Technologies dans les Industries agro-alimentaires*  
M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*  
M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*  
M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*  
M. **MARTINEAU Guy**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*  
M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*  
M. **REGNIER Alain**, *Physiopathologie oculaire*  
M. **SAUTET Jean**, *Anatomie*  
M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

**PROFESSEURS 2° CLASSE**

Mme **BENARD Geneviève**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*  
M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*  
M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*  
M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistique, Modélisation*  
M. **DUCOS Alain**, *Zootchnie*  
M. **DUCOS DE LAHITTE Jacques**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*  
Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*  
M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la Reproduction*  
M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*  
M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*  
M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*  
M. **SANS Pierre**, *Productions animales*  
Mme **TRUMEL Catherine**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*

**INGENIEUR DE RECHERCHE**

- M. **TAMZALI Youssef**, *Responsable Clinique Equine*  
M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine, Ophtalmologie*

**PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE**

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

**MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE**

- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

**MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)**

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*  
M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*  
Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*  
M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*  
M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*  
Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*  
Mlle **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*  
Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*  
M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*  
Mlle **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie*  
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*  
Mlle **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*  
M. **DOSSIN Olivier**, (DISPONIBILITE) *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*  
M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie du Bétail*  
M. **GUERIN Jean-Luc**, *Elevage et Santé avicoles et cunicoles*  
M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*  
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
Mlle **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique des animaux de rente*  
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*  
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*  
M **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants.*  
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*  
M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*  
M. **MONNEREAU Laurent**, *Anatomie, Embryologie*  
Mlle **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*  
Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*  
Mme **TROGELER-MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*  
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*  
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

**MAITRES DE CONFERENCES CONTRACTUEL**

- Mlle **BUCK-ROUCH**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie du bétail*  
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophtalmologie*  
M. **SEGUELA Jérôme**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
M **VERSET Michaël**, *Chirurgie des animaux de compagnie*

**ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS**

- Mlle **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*  
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*  
M. **GIN Thomas**, *Production et pathologie porcine*  
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*  
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*  
M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales*  
Mlle **TREVENNEC Karen**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*

## REMERCIEMENTS

A notre président de thèse,

**A Monsieur le Professeur Jean-Marie FAUVEL**

*Professeur Universitaire-Praticien Hospitalier à l'Université Paul Sabatier  
Cardiologie médicale et interventionnelle*

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse,  
Hommages respectueux

A notre jury de thèse,

**A Madame le Docteur Armelle DIQUELOU**

*Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*

Qui nous a fait l'honneur de nous confier ce travail et nous a guidé dans son élaboration,  
Pour sa patience et le temps précieux qu'elle nous a consacré,  
Sincère reconnaissance

**A Madame le Docteur Isabelle LETRON RAYMOND**

*Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Anatomie pathologique*

Qui a accepté de faire partie de notre jury de thèse,  
Sincères remerciements.





**A ma mère,**

Toujours là pour me rassurer et me donner la force de continuer. Tu as su apprendre à l’oiseau que je suis à voler de ses propres ailes, mais je sais que le nid sera toujours là pour m’accueillir.

**A mon père,**

Parfois sérieux, mais bien plus souvent le complice de nos moments de rire et de jeux. Tu m’as appris que le plus important c’est de faire ce que l’on aime, et tu as tout fait pour que je puisse réaliser mes rêves.

Merci à tous les deux pour votre présence, chacun à votre manière et pour l’amour que vous m’avez donné pendant toutes ces années. Sans vous je ne serais pas là aujourd’hui.

**A Robert,**

Pour tes précieux conseils, mais aussi pour ton courage dans la relecture de ce travail et la correction de mon orthographe faillible.

**A Nastassja,**

Ma petite sœur adorée, toujours présente, même à des centaines de kilomètres, pour papoter et m’encourager.

Toi aussi, tu connaîtras bientôt le dur labeur qu’est l’élaboration d’une thèse, saches que je serai toujours à tes côtés pour te soutenir.

**A mon grand-père,** parti trop tôt mais toujours présent dans mon cœur.

**A toute ma famille,**

**A David,**

Mon amour, merci pour ta patience et le réconfort que tu as su m’apporter durant les jours de découragements. Mais aussi pour tous ces moments de rire et de bonheur partagés, qu’ils durent encore longtemps.

**A Gaïa,**

Ma petite panthère, quand je te regarde je sais pourquoi je me lève chaque matin, j’espère que nous partagerons encore ensemble de nombreuses années de ronrons.

**A tous mes amis,**

Ceux de l’école vétérinaire qui par leur présence ont fait de ces années une période trop courte, mais pleine de merveilleux souvenirs.

Et à tous les autres, qui même à distance, ont su entretenir cette précieuse amitié.



# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	7
SOMMAIRE .....	11
ABRÉVIATIONS .....	15
LISTE DES ILLUSTRATIONS .....	17
INTRODUCTION .....	19
<b>PREMIERE PARTIE : DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>23</b>
<b>I. FACTEURS DE VARIATION DES PARAMÈTRES ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES CHEZ LE CHAT</b> .....	<b>25</b>
I.1. EFFET DE LA TRANQUILLISATION SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES ...	25
I.2. EFFET DE LA POSITION DE L'ANIMAL SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	29
I.3. EFFET DU POIDS DE L'ANIMAL SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	30
I.4. EFFET DE LA RACE SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	31
I.5. EFFET DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	32
I.6. EFFET DE L'ÂGE SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	34
I.7. EFFET DE L'HYDRATATION SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	36
I.8. EFFET DE LA PRESSION ARTERIELLE SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	37
I.9. EFFET DU STRESS SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	38
<b>II. VARIABILITÉ DE L'ÉCHOCARDIOGRAPHIE CHEZ LE CHAT .....</b>	<b>40</b>
II.1. LA RÉPÉTABILITÉ ET LA REPRODUCTIBILITÉ .....	40
II.1.1. DÉFINITIONS .....	41
II.1.2. RÉPÉTABILITÉ ET REPRODUCTIBILITÉ DE L'ECHOCARDIOGRAPHIE CHEZ LES ANIMAUX DOMESTIQUES .....	41
II.1.2.1. CONDITIONS D'OBTENTION .....	41
II.1.2.2. VALEURS DE LA RÉPÉTABILITÉ ET DE LA REPRODUCTIBILITÉ CHEZ LES ANIMAUX EN GENERAL .....	42

II.1.2.3. VALEURS DE LA RÉPÉTABILITÉ ET DE LA REPRODUCTIBILITÉ CHEZ LE CHAT .....	45
II.1.3. INTÉRÊT ET UTILISATION PRATIQUE DE LA RÉPÉTABILITÉ ET DE LA REPRODUCTIBILITÉ .....	47
II.2. FACTEURS AYANT UNE INFLUENCE SUR LA VARIABILITÉ DE L'ÉCHOCARDIOGRAPHIE .....	48
II.2.1. VARIABILITÉ DUE A L'ÉCHOCARDIOGRAPHE .....	48
II.2.2. VARIABILITÉ DUE A LA TECHNIQUE UTILISÉE .....	52
<b>DEUXIEME PARTIE : DONNÉES EXPÉRIMENTALES .....</b>	<b>55</b>
I. INTÉRÊT DE L'ÉTUDE ET OBJECTIF .....	57
II. MATÉRIEL ET MÉTHODE .....	57
II.1. ANIMAUX .....	57
II.2. MATÉRIEL D'ÉCHOGRAPHIE ET ENVIRONNEMENT .....	58
II.3. DÉROULEMENT DES EXAMENS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	58
II.4. ANALYSE STATISTIQUE .....	65
III. RÉSULTATS .....	65
III.1. MESURES ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	65
III.2. ÉVALUATION DE LA RÉPÉTABILITÉ .....	68
III.3. ÉVALUATION DE LA VARIABILITÉ EN FONCTION DE L'INCIDENCE UTILISÉE POUR LES MESURES DES PARAMÈTRES .....	68
IV. DISCUSSION .....	73
IV.1. MESURES ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES .....	73
IV.2. LA RÉPÉTABILITÉ .....	76
IV.3. ÉVALUATION DE LA VARIABILITÉ EN FONCTION DE L'INCIDENCE UTILISÉE .....	79
CONCLUSION .....	83
BIBLIOGRAPHIE .....	87
ANNEXES 1 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°1 .....	95

ANNEXES 2 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°2 .....	98
ANNEXES 3 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°3 .....	101
ANNEXES 4 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°4 .....	104
ANNEXES 5 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°5 .....	107
ANNEXES 6 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°6 .....	110
ANNEXES 7 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°7 .....	113
ANNEXES 8 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°8 .....	116
ANNEXES 9 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°9 .....	119
ANNEXES 10 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°10 .....	122
ANNEXE 11 : Coefficient de variation de répétabilité moyen (en %) et intervalle de répartition des coefficients de variation de répétabilité (en %) obtenus pour les dix chats .....	125
ANNEXE 12 : Comparaison des moyennes des mesures obtenues sur la coupe longitudinale en mode TM avec celles obtenues sur la coupe transversale en mode TM. Obtention de la droite de corrélation et du coefficient de corrélation R .....	126
ANNEXE 13 : Courbe de biais présentant la différence des valeurs moyennes entre les 2 incidences (CL-CT) en fonction de moyenne du paramètre mesurée ((CT+CL)/2). Obtention de la droite de biais .....	129



## ABREVIATIONS

A	Vitesse maximale de l'onde A, ou tardive du flux transmitrale
AG	Diamètre de l'atrium gauche
Ao	Diamètre de l'aorte
2D	Bidimensionnel
bpm	Battement par minute
CL	Coupe longitudinale
CT	Coupe transversale
CV	Coefficient de variation
D	Vitesse de l'onde diastolique du flux pulmonaire
DE	Vitesse du flux sanguin entre les points D et E
DurAr	Durée du flux pulmonaire rétrograde
E	Vitesse maximale de l'onde E, ou précoce du flux transmitrale
ECG	Électrocardiogramme
EF	Vitesse du flux sanguin entre les points E et F
ENVT	École Nationale Vétérinaire de Toulouse
E-S	Distance entre le point E et le septum interventriculaire
FE	Fraction d'éjection
FR	Fraction de raccourcissement
LVET	Temps d'éjection du ventricule gauche
Masse VG	Masse du ventricule gauche
mmHg	Millimètre de mercure
PPVG	Paroi postérieure (ou libre) du ventricule gauche
PPVDd	Épaisseur diastolique de la paroi postérieure (ou libre) du ventricule droit
PPVDs	Épaisseur systolique de la paroi postérieure (ou libre) du ventricule droit
PPVGd	Épaisseur diastolique de la paroi postérieure (ou libre) du ventricule gauche
PPVGs	Épaisseur systolique de la paroi postérieure (ou libre) du ventricule gauche
S	Vitesse de l'onde systolique du flux pulmonaire
Sep cusp	Épaisseur du septum des cuspidés
SIV	Septum interventriculaire
SIVd	Épaisseur diastolique du septum interventriculaire
SIVs	Épaisseur systolique du septum interventriculaire
Ta	Durée entre le début du complexe QRS et le début de l'onde A
Td	Temps de décélération
Te	Durée entre le début du complexe QRS et le début de l'onde E
TE	Temps d'éjection systolique

TM	Temps-mouvement
TP	Diamètre du tronc pulmonaire
TPE	Temps de pré-éjection systolique
TRIV	Temps de remplissage isovolumique
Var	Vitesse de l'onde rétrograde du flux pulmonaire
Vcf	Vitesse de raccourcissement circonférentielle des fibres musculaire du ventricule gauche
VD	Ventricule droit
VDd	Diamètre interne diastolique du ventricule droit
VDs	Diamètre interne systolique du ventricule droit
VG	Ventricule gauche
VGd	Diamètre interne diastolique du ventricule gauche
VGs	Diamètre interne systolique du ventricule gauche
Vmax	Vitesse maximale du flux pulmonaire
Vol 4C d	Volume du ventricule gauche en diastole mesuré sur une coupe quatre cavités
Vol 4C s	Volume du ventricule gauche en systole mesuré sur une coupe quatre cavités
Vol 2C d	Volume du ventricule gauche en diastole mesuré sur une coupe deux cavités
Vol 2C s	Volume du ventricule gauche en systole mesuré sur une coupe deux cavités
%E	Pourcentage d'épaississement
%E-PPVG	Pourcentage d'épaississement de la paroi libre du ventricule gauche.
%E-SIV	Pourcentage d'épaississement du septum interventriculaire
%PPVG	Pourcentage d'épaississement de la paroi postérieur du ventricule gauche



## LISTE DES ILLUSTRATIONS

### Liste des tableaux :

Tableau 1 : Coefficient de variation (en %) obtenu lors d'échocardiographie en mode 2D et TM sur des chats sains anesthésiés ou non dans trois études .....	46
Tableau 2 : Coefficient de variation (en %) obtenu lors d'échocardiographie en mode doppler pulsé sur des chats sains anesthésiés ou non dans deux études .....	46
Tableau 3 : Moyenne, écart-type et coefficient de variation de 47 paramètres pour l'ensemble des mesures effectués .....	66
Tableau 4 : Valeurs du coefficient de corrélation linéaire au carré, entre les valeurs obtenues en CT et en CL pour chaque paramètre étudié .....	68
Tableau 5 : Valeurs (Moyenne $\pm$ Ecart-type) de références et valeurs obtenus dans notre étude lors d'échocardiographies en mode 2D et TM, sur des chats sains non anesthésiés .....	74
Tableau 6 : Valeurs (Moyenne $\pm$ Ecart-type) de références et valeurs obtenus dans notre étude lors d'échocardiographies en mode doppler pulsé, sur des chats sains non anesthésiés .....	74
Tableau 7 : Valeurs des coefficients de variabilité de répétabilité de notre étude et des coefficients de variation de répétabilité rapportés dans la littérature, lors d'échocardiographies sur des chats sains non anesthésiés .....	77

### Liste des figures :

Figure 1 : Différences pour le paramètre PPVGd (PPd) chez quatre chats européens entre les moyennes des 3 opérateurs et de l'opérateur de référence, pour les jours auxquels a participé l'opérateur de référence (jours 1, 3 et 4) d'après ATHANASSIADIS (2003) .....	50
Figure 2 : Echocardiogramme obtenu en mode TM à partir de la coupe « petit axe transventriculaire » .....	59
Figure 3 : Echocardiogramme obtenu en mode 2D à partir de la coupe « petit axe transaortique » .....	60
Figure 4 : Echocardiogramme obtenu en mode doppler pulsé à partir de la coupe « petit axe transmitrale » .....	60
Figure 5 : Echocardiogramme obtenu en mode 2D à partir de la coupe « petit axe transmitrale » .....	61
Figure 6 : Echocardiogramme obtenu en mode TM à partir de la coupe « grand axe cinq cavités » .....	61

Figure 7 : Echocardiogramme obtenu en mode doppler pulsé à partir de la coupe caudale « quatre cavités» .....	62
Figure 8 : Echocardiogramme obtenu en mode 2D à partir de la coupe caudale « quatre cavités» .....	63
Figure 9 : Echocardiogramme obtenu en mode doppler pulsé à partir de la coupe caudale « cinq cavités» .....	63
Figure 10 : Echocardiogramme obtenu en mode doppler pulsé à partir de la coupe caudale « quatre cavités» .....	64

**Liste des graphiques :**

Graphique 1 : Comparaison des valeurs obtenues pour SIVd entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats .....	69
Graphique 2 : Comparaison des valeurs obtenues pour VGd entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats .....	69
Graphique 3 : Comparaison des valeurs obtenues pour PPVGd entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats .....	70
Graphique 4 : Comparaison des valeurs obtenues pour SIVs entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats .....	70
Graphique 5 : Comparaison des valeurs obtenues pour VGs entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats .....	71
Graphique 6 : Comparaison des valeurs obtenues pour PPVGs entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats .....	71
Graphique 7 : Comparaison des valeurs obtenues pour FR entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats .....	72
Graphique 8 : Comparaison des valeurs obtenues pour Masse VG entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats .....	72
Graphique 9 : Moyenne $\pm$ écart-type de SIVs mesurés dans notre étude, et dans les différentes études de références .....	75
Graphique 10 : Moyenne $\pm$ écart-type de Ve transmitral mesurée dans notre étude, et dans les différentes études de références .....	75

## **INTRODUCTION**



Le développement de l'échographie, puis de l'échocardiographie dans les d'année 1970, a été une grande avancée en cardiologie aussi bien en médecine humaine qu'en médecine vétérinaire. L'échocardiographie est, en effet, une technique non invasive, d'une totale innocuité qui permet non seulement une étude morphologique du cœur, mais également une étude fonctionnelle. L'amélioration de cette technique au cours des dernières années en fait un outil incontournable dans le diagnostic des pathologies cardiaques.

Cependant, comme pour toute technique de mesure il existe des variations des valeurs obtenues. Bien que chez le chat il y ait peu de différences morphologiques entre les individus et entre les races, de nombreux facteurs biologiques ou environnementaux sont à même de modifier les valeurs obtenues. Lors d'une échocardiographie les résultats relevés doivent être comparés aux valeurs usuelles, et des différences significatives peuvent être interprétées comme des anomalies causées par une pathologie. Il est donc nécessaire d'identifier ces sources de variations, pour annuler ce biais de mesure, et éviter des erreurs diagnostiques. De nombreuses études se sont intéressées à ces sources de variation, mais de manière individuelle, il n'existe pas d'étude qui regroupe l'ensemble des sources de variation des valeurs échocardiographique chez le chat. En plus de cette variation, il existe une variabilité due à la technique elle-même, à ses propriétés métrologiques. Cette variabilité a été beaucoup étudiée chez certains animaux comme le cheval, mais les données disponibles chez le chat restent limitées. L'objectif de ce travail est donc de faire un bilan des données déjà existantes concernant d'une part les sources de variation et leur importance, et d'autre part la variabilité de l'échocardiographie ; puis d'en déterminer l'importance lors d'échocardiographie à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT).

La première partie s'intéresse à l'origine des différences de résultats échocardiographiques à partir d'une recherche bibliographique. Il s'agit de relever les modifications non liés à une anomalie cardiaque du sujet. Ces variations peuvent être dues à l'animal ou aux conditions de réalisation de l'examen, mais aussi à la variabilité de la technique utilisée, à ses propriétés métrologiques.

La deuxième partie présente l'approche expérimentale d'un intervalle de confiance d'un certain nombre de mesures échocardiographiques, ainsi que la quantification de différentes sources de variabilités chez le chat, lors d'échocardiographies à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse.



## **DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES**





## I. FACTEURS DE VARIATION DES PARAMÈTRES ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES CHEZ LE CHAT

Cette première partie s'intéresse aux facteurs de variation dus à l'animal lui-même, c'est-à-dire aux facteurs biologiques (poids, race, fréquence cardiaque, âge, hydratation, pression artérielle), mais également aux conditions d'examen susceptibles de modifier directement ces facteurs biologiques : la sédation, la position de l'animal, ou encore le stress dû aux conditions environnementales.

### I.1. EFFET DE LA SÉDATION SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

Dans de nombreuses études concernant l'échocardiographie chez le chat, des produits anesthésiques sont utilisés pour assurer une bonne contention des animaux. En effet, le chat est un animal qui peut s'avérer difficile à contenir uniquement manuellement, et l'utilisation d'une contention chimique permet d'effectuer l'examen échocardiographique dans des conditions optimales. Cependant tous les produits anesthésiques sont connus pour avoir des effets cardio-circulatoires, en particulier sur la fréquence cardiaque, la contractilité cardiaque, etc. Ces effets cardio-circulatoires se traduisent normalement, lors d'une échocardiographie, par une modification des paramètres mesurés chez un chat sédaté par rapport à un chat vigile. L'effet des agents anesthésiques n'a pas été étudié de manière exhaustive chez le chat. Cependant plusieurs études comparent les résultats échocardiographiques chez des chats vigiles et chez des chats sédatés avec une ou plusieurs molécules parmi les plus couramment utilisées :  $\alpha$ 2-agoniste (médétomidine, xylazine), barbiturique (pentobarbital), phénilcyclyline (kétamine), etc.

Une première étude établit les valeurs de plusieurs paramètres échocardiographiques en mode bidimensionnel (2D) et temps-mouvement (TM) obtenus sur des chats sains anesthésiés avec du pentobarbital [2]. Ces valeurs ont ensuite été comparées avec celles obtenues par PIPERS et coll. dans des conditions comparables, mais sur des chats non anesthésiés [35]. Deux paramètres sont significativement différents entre ces deux études : le pourcentage de changement du plus petit diamètre du ventricule gauche ou fraction de raccourcissement (FR) et la vitesse de raccourcissement circonférentielle des fibres musculaires du ventricule gauche (Vcf). Ces deux paramètres ainsi que la fréquence cardiaque sont significativement diminués chez les chats anesthésiés, alors que le diamètre interne diastolique du ventricule gauche (VGd) n'est pas significativement différent. Vcf et FR étant des indices de la contractilité cardiaque, la diminution de ces deux paramètres prouve que le pentobarbital est un dépresseur de la contractibilité myocardique.

Ce même auteur a rapporté dans une autre étude l'effet d'une anesthésie combinant le pentobarbital et un  $\alpha$ 2-agoniste, la xylazine sur les mesures échocardiographiques [3]. Les chats étudiés ont reçu 1,25mg/kg de xylazine puis 30mg/kg de pentobarbital sodique par voie intraveineuse. Seuls les valeurs échocardiographiques concernant la fonction du ventricule gauche, et la fréquence cardiaque ont été mesurés, et comparé avec les valeurs obtenu chez les chats vigils [35] et celles obtenu chez les chats anesthésiés uniquement avec du pentobarbitale [2]. Les valeurs de la FR et de la Vcf sont, encore une fois, significativement différentes dans cette étude comparée aux valeurs rapportées chez le chat vigilant, la fréquence cardiaque et le LVET restant semblables. Mais, contrairement à l'étude précédente, une diminution significative du VGd est notée. Cette combinaison d'anesthésique est donc dépresseur de la contractibilité myocardique, mais en plus, elle provoque une diminution de la précharge (baisse du VGd). D'autres paramètres échocardiographique pourrait donc être modifiés s'ils avaient été mesurés, car ces deux effets combinés laissent supposer une potentielle diminution des débits systoliques et cardiaques.

L'utilisation du pentobarbital, seul ou en association, a donc un effet dépresseur sur la contractibilité myocardique modifiant différents paramètres échocardiographiques.

Parmi les  $\alpha$ 2-agonistes existant, deux ont été particulièrement étudiés : la xylazine, le premier  $\alpha$ 2-agoniste utilisé en anesthésie, et la médétomidine, le plus sélectif pour les récepteurs  $\alpha$ 2 de cette famille. De très nombreux paramètres échocardiographiques sont modifiés chez le chien lors de l'administration de xylazine ou de médétomidine [36]. Les modifications rapportées sont similaires que les animaux aient reçus de la xylazine ou de la médétomidine.

En ce qui concerne le chat, une étude compare une série de valeurs échocardiographiques chez des chats ayant reçu une dose de xylazine élevée (2.2mg/kg) ou faible (0.55mg/kg, soit un quart de la dose recommandée) avec les valeurs obtenues avant anesthésie [19]. Quelle que soit la dose de xylazine reçue, tous les chats présentent une diminution significative de la FR, de l'amplitude des mouvements de la paroi du ventricule gauche et de l'aorte. En même temps, le diamètre interne systolique du ventricule gauche (VGs) et la distance entre le point E et le septum interventriculaire (E-S) augmentent significativement. Ces modifications traduisent une diminution du débit systolique lors d'administration de xylazine. Les résultats montrent également que plus la dose de xylazine administrée est importante, plus la FR diminue et le VGs augmente. En parallèle à ces modifications, la fréquence cardiaque diminue lors d'administration de xylazine. Toutes ces

données traduisent une diminution des performances cardiaques due à l'administration d'un  $\alpha 2$ -agoniste.

Dans cette même étude un parasympholytique est administré, le glycopyrrolate à la posologie de 0,011mg/kg, en plus de la xylazine à dose élevée (2.2mg/kg), afin de diminuer les effets cardiaques négatifs des  $\alpha 2$ -agoniste, en particulier la bradycardie. Bien que la fréquence cardiaque soit significativement plus élevée que lors d'administration de xylazine seule, elle reste inférieure à celle d'un animal non anesthésié. De plus, les modifications échocardiographiques sont semblables à celle d'un animal ayant reçu uniquement de la xylazine à dose élevée.

Les modifications échocardiographiques induites par les  $\alpha 2$ -agonistes sont donc importantes, diminuant les performances cardiaque, et ne sont pas neutralisé par l'administration d'une molécule parasympholytique. Il est donc préférable d'éviter les sédations avec un  $\alpha 2$ -agoniste pour la réalisation d'une échocardiographie, et même sur tous les chats ayant potentiellement une pathologie cardiaque.

Enfin, la kétamine est elle aussi une molécule couramment utilisée pour la contention chimique lors d'échocardiographie. Une étude a comparé les résultats échocardiographiques obtenu en mode TM sur des chats avant et après leur avoir administré entre 3 et 5 mg/kg de kétamine par voie intramusculaire [24]. Une augmentation significative de la fréquence cardiaque ainsi que de l'épaisseur diastolique du septum interventriculaire (SIVd) et de l'épaisseur diastolique de la paroi postérieur du ventricule gauche (PPVGd) est constatée après administration de kétamine tandis qu'en même temps une diminution significative de VGd et de la FR est constatée. Cependant l'augmentation de la fréquence cardiaque influence de nombreuses valeurs échocardiographiques ; ces élément sont développés ultérieurement (cf. chapitre I.5). L'influence directe de la kétamine est évaluée après utilisation de la fréquence cardiaque comme covariable dans l'analyse statistique. Après correction seul le VGd et la FR sont toujours significativement diminués après administration de kétamine et, en plus, Vcf est diminuée significativement. La diminution de la FR et de la Vcf sont une conséquence de la diminution de VGd, sans que le VGs ne soit modifié. L'administration de kétamine a donc ici un effet direct sur les dimensions et la fonction cardiaque, probablement par augmentation de la post-charge ou par diminution de la contractibilité myocardique. La kétamine a également un effet indirect sur plusieurs autres variables via l'augmentation de la fréquence cardiaque qu'elle provoque.

Une autre étude s'est intéressée aux valeurs échocardiographiques obtenues sur trente chats ayant reçu de 1,5 à 2,5mg/kg de kétamine par voie intraveineuse [21]. Ces valeurs ont été comparés à celles obtenues sur des chats non sédatés [35]. La fréquence cardiaque est, encore une fois, significativement augmentée lors de l'administration de kétamine. Les auteurs notent également une diminution du temps d'éjection du ventricule gauche (LVET) et de Vcf, ainsi qu'une augmentation du diamètre de l'aorte (Ao) et du diamètre de l'atrium gauche (AG). Cependant dans cette étude il est impossible de différencier les effets de l'anesthésique lui-même et ceux dus à l'augmentation de la fréquence cardiaque. La divergence avec l'étude précédente peut être expliquée par la modification de nombreux paramètres dans le protocole, en particulier la dose et la voie d'administration de la kétamine.

Les modifications cardio-vasculaires induites par l'administration de kétamine sont complexes : augmentation de la fréquence cardiaque, changement de l'état circulatoire périphérique, etc. Ces modifications sont liées à la molécule directement, ou indirectement, via cette augmentation de la fréquence cardiaque [45]. La nature et l'intensité de ces modifications échocardiographiques sont elles aussi variables, dépendantes de la dose et de la voie d'administration de la kétamine.

Les modifications échocardiographiques provoquées par l'administration d'anesthésiques sont nombreuses et variées, les différentes molécules provoquant chacune des modifications significativement différentes [21]. Elles dépendent de la ou des molécules administrées, de leurs doses, de la voie et de la vitesse d'administration (particulièrement en voie intra-veineuse) et de l'animal lui-même. En effet, chaque individu a des mécanismes compensateurs plus ou moins efficaces, en particulier dans le cas d'un chat ayant une pathologie cardiaque. Il est donc impossible d'établir des valeurs de références échocardiographiques précises pour les chats sédatés. L'idéal est de réaliser l'examen échocardiographique sur un chat maintenu sur la table par une contention manuelle douce, et de ne recourir à une contention chimique qu'en cas d'extrême nécessité. Si une sédation s'avère quand même nécessaire, les valeurs seront pondérées en fonction des effets connus du protocole utilisés.

## I.2. EFFET DE LA POSITION DE L'ANIMAL SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

La majorité des échocardiographies réalisée chez le chat, le sont sur des animaux en décubitus latéral alternativement droit et gauche, technique recommandée par les vétérinaires spécialistes, au début des études sur l'échocardiographie. En effet cette position permet une contention plus efficace, et donc un examen plus facile. Cependant sur des animaux nerveux cette position peut influencer les mesures échocardiographiques via une augmentation du stress, on retrouve les conséquences de l'effet « blouse blanche » développé dans le chapitre I.9. De plus sur certains animaux cette position peut être intolérable à cause d'une atteinte respiratoire sévère ou de toute autre affection gênante ou douloureuse en décubitus latéral. Il peut alors être intéressant de pratiquer l'examen échocardiographique sur le chat debout. Aucune étude comparant la position debout et le décubitus latéral n'a pour le moment été menée chez le chat. En revanche, l'impact de la position sur les variations des résultats échocardiographiques a été étudié chez le chien [14], mais uniquement sur les mesures courantes en mode 2D et TM.

Chez le chien la position a un effet significatif sur seulement 2 valeurs échocardiographiques, VGd et VGs. Ces paramètres prennent des valeurs plus basses lors d'échocardiographies sur les chiens en décubitus latéral, que sur les mêmes chiens en position debout. Mais cette différence bien que significative est en moyenne de un millimètre, ce qui reste faible. Cette étude montre donc le faible impact de la position sur les valeurs échocardiographiques, à condition que l'opérateur ait préalablement été un minimum familiarisé avec la position utilisée. Notons qu'il existe une interaction entre le chien et la position, ce qui signifie que sur un animal donné, la position pour pratiquer l'examen doit être choisie une fois pour toute, afin de minimiser la variation des résultats obtenus lors du suivi d'un individu [14].

Aucune étude similaire n'ayant été menée chez le chat, il est impossible de décrire précisément l'effet de la position sur les valeurs échocardiographiques. Le chat étant un animal qui accepte généralement moins bien la contention physique que le chien, il est possible qu'un animal non habitué à être maintenu en décubitus latéral pendant plusieurs minutes, supporte plus facilement la position debout. L'effet du stress sera alors minoré en position debout. Les variations dues à la position des valeurs échocardiographiques obtenues, sont probablement étroitement liées aux variations causées par le stress.

Il convient donc pour minimiser les variations des résultats échocardiographiques de procéder à cet examen toujours dans la même position avec un opérateur habitué, et de comparer les valeurs obtenues aux valeurs usuelles établies dans cette position.

### I.3. EFFET DU POIDS DE L'ANIMAL SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

Les études menées chez le chien ont démontré que le poids de l'animal est un facteur de variation pour un grand nombre de mesures échocardiographiques [34]. Ces variations existent aussi bien au sein d'une même race dont les individus présentent de fortes différences de poids, qu'entre les différentes races dont la taille et le poids peuvent énormément varier (cf. chapitre I.4.).

L'effet du poids du corps du chat a été évalué sur des animaux de « type européen », donc semblable au niveau de leur taille, mais présentant un état d'embonpoint variable [15, 21, 23, 39].

D'après l'étude menée par FOX et coll. [21] sur des chats anesthésiés avec du chlorhydrate de kétamine, le poids est un facteur de variation des valeurs échocardiographiques en mode TM. Le poids du corps présente une corrélation positive avec l'épaisseur de la paroi postérieure du ventricule gauche (PPVG), l'épaisseur du septum interventriculaire (SIV), Ao et Vcf (calculé comme suit :  $(VGd-VGs)/(VGd+LVET)$ ) et le rapport SIV/PPVG. Il présente également une corrélation, cette fois-ci négative, avec le LVET [21]. Dans cette étude les auteurs font une différence entre le poids et la surface corporelle. La surface corporelle étant calculée à partir du poids selon la formule suivante [40] :

$$\text{Surface corporelle (m}^2\text{)} = \frac{10 \times (\text{Poids du corps (kg)} \times 1000)^{2/3}}{10000}$$

La surface corporelle est donc elle aussi un facteur de variation dans les mesures échocardiographiques. Cependant les mesures significativement différentes en fonction de la surface corporelle ne sont pas tout à fait les mêmes que pour le poids du corps. Ainsi la surface corporelle présente une corrélation positive avec les mêmes mesures que le poids (Ao, PPVG, SIV, et Vcf) plus la FR, mais une corrélation négative avec LVET.

L'étude menée sur le même type de chats non anesthésiés par JACOBS et coll. confirme ces variations [23]. Elle a ainsi démontré une corrélation significative entre le poids de l'animal et de nombreux paramètres obtenus par échocardiographie en mode TM. En particulier le diamètre de plusieurs cavités : le diamètre interne du ventricule droit en diastole et en systol (respectivement VDd et VDs), VGd, AG ainsi que Ao et l'épaisseur de plusieurs parois : l'épaisseur systolique du septum (SIVs), PPVGd et PPVGs [23]. Une autre étude confirme encore ces variations [15], bien que les paramètres corrélés au poids du corps de l'animal soient encore une fois différents des précédents. Mais il faut noter que les

conditions dans lesquelles ces études sont réalisées sont différentes, et que d'autres paramètres peuvent interférer, en particulier l'emploi d'une contention chimique ou non (cf. chapitre I.1.). En revanche les valeurs échographiques des flux sanguins du cœur, obtenues en mode doppler, ne semblent pas modifiées ni par le poids ni par la surface corporelle chez le chat [39].

Il existe donc chez le chat des variations de l'échocardiographie dues au poids du corps, bien que celles-ci soit moins importantes que chez le chien. Cependant, selon les études les mesures corrélées avec le poids ne sont pas les mêmes, il est donc difficile d'établir une régression linéaire fiable mettant en relation le poids de l'animal et les mesures échocardiographiques en mode 2D et TM. Une solution trouvée pour minimiser l'effet du poids sur les mesures échocardiographiques chez le chien est l'utilisation d'indice [9]. Mais ces indices liés à la dimension du tronc aortique ne sont pas intéressants chez le chat, probablement à cause de la trop faible variation de mesure de Ao.

En conclusion, il convient d'être critique, lorsque les valeurs échocardiographiques sont à la limite des valeurs usuelles admises chez un chat. Il faut estimer les possibles modifications induites par un poids du corps éloigné des valeurs « usuelles » (chat maigre ou obèse, format du chat,...). Les échographistes expérimentés devront se fier à leur expérience pour juger de l'influence du poids de l'animal sur les mesures échocardiographiques relevées. Le plus important, en cas de doute, est de refaire une échocardiographie pour évaluer l'évolution d'une possible anomalie ou au contraire confirmer les valeurs physiologiques sur un chat donné.

#### I.4. EFFET DE LA RACE SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

Les variations des valeurs échocardiographiques entre les races de chien sont tellement importantes que des valeurs de références ont été publiées en fonction des différentes races de chien [32]. Ces variations s'expliquent par la différence de taille et de poids des différentes races de chien, mais aussi par leur morphologie : type breviline, medioline ou longiline.

Chez le chat, il n'y a pas de différences morphologiques aussi importantes que chez le chien, bien qu'il existe une différence de taille et de poids entre les différentes races, même si celles-ci restent faibles comparées aux races canines. La race de chat la plus grande qu'est le Main Coon présente néanmoins un poids significativement plus important que le chat dit domestique, de « type européen », même si cette différence est faible [17]. Ainsi les

paramètres échocardiographiques mesurés chez le Maine Coon montrent une augmentation significative de VGd, du AG en systole et de Ao par rapport au chat domestique. Cette différence est encore plus importante chez les Maine Coon mâles, plus grands et plus lourds que chez les femelles. Une augmentation significative, mais plus modérée du VGs, du SIVs et du PPVGs est également notée [17].

Il existe donc une variation de l'échocardiographie chez le chat lié à la race. Ces variations peuvent être imputées, au moins partiellement, à la différence de poids entre un chat domestique et certaines grandes races. En effet cette même étude montre une corrélation, certes faible mais significative, entre le poids et ces paramètres : VGd et VGs, diamètre systolique de l'AG, Ao, SIVs et PPVGs. Aucune autre étude n'a été menée sur d'autres races de chats. Il n'existe donc pas comme chez le chien des valeurs de références par race de chat. On peut cependant estimer que les variations dues à la race restent modérées, et que la prise en compte du poids de l'animal permet, en grande partie, de les limiter.

#### I.5. EFFET DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

La fréquence cardiaque est un facteur ayant un impact connu sur de nombreux paramètres échocardiographiques ; elle est souvent utilisée comme cofacteur lors de l'estimation des corrélations afin d'annuler son effet.

Une étude a évalué l'impact de la fréquence cardiaque sur les valeurs échocardiographiques obtenus en mode TM [23]. Cette étude a été réalisée sur des animaux vigils, n'ayant reçu aucune sédation. En effet, les molécules couramment utilisées pour la contention chimique des chats ont toutes une influence non seulement sur certains paramètres échocardiographiques, mais également sur la fréquence cardiaque elle-même. Les résultats montrent qu'une augmentation de la fréquence cardiaque diminue significativement le diamètre interne de certaines cavités : VGd, VGs, VDs et AG, sans modifier Ao, donc le rapport AG/Ao est aussi diminué. En parallèle une diminution de E-S et LVET est également constatée, ainsi qu'une augmentation des indices FR et Vcf directement lié aux modifications précédemment rapportées. En revanche aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre la fréquence cardiaque et les épaisseurs des différentes parois (PPVGs, PPVGd, SIVs, SIVd et PPVDs). Les résultats obtenus le sont après calcul d'un coefficient de corrélation partielle avec un poids du corps constant. En effet, cette étude a mis en évidence une diminution faible, mais néanmoins significative de la fréquence cardiaque lors d'une augmentation du poids du corps de l'animal. Il est important de signaler



que cette corrélation entre fréquence cardiaque et poids corporel n'est pas retrouvée dans toutes les études, en particulier celles menées sur des chats anesthésiés [2].

Les modifications échocardiographiques dues aux variations de la fréquence cardiaque sont donc importantes sur les mesures effectuées en mode TM. Dans les études sur le chat, les modifications les plus souvent constatées lors de l'augmentation de la fréquence cardiaque, sont la diminution des diamètres ventriculaires gauches [23, 40].

Deux autres études ont permis de mettre en évidence l'influence de la fréquence cardiaque sur les valeurs échocardiographiques du ventricule gauche en mode doppler pulsé chez les chats sains non anesthésiés [16, 39]. Dans la première étude [16], la fréquence cardiaque présente une corrélation positive, mais faible avec la vitesse de l'onde tardive du flux transmitral (A) ainsi qu'avec la vitesse de l'onde systolique du flux pulmonaire (Vs). Ces relations sont significatives, mais suffisamment faible pour avoir un impact négligeable en clinique. Ces résultats suggèrent la présence de mécanismes cardiaques compensatoires capables de maintenir le débit systolique lors de l'augmentation de la fréquence cardiaque. Dans la seconde étude [39], lors de l'augmentation de la fréquence cardiaque, caractérisée par la diminution de l'intervalle R-R, le TRIV et le temps de remplissage diastolique par le flux transmitrale diminuent, tandis que A et la vitesse du flux pulmonaire rétrograde (VAr) augmentent. Les modifications constatées ici sont donc plus nombreuses et plus importantes que dans l'étude précédente. Ils montrent que lors de l'augmentation de la fréquence cardiaque il y a un changement de proportion entre le flux transmitral précoce et tardif, avec une augmentation de l'importance de la phase tardive.

La fréquence cardiaque modifie donc la valeur de certains paramètres échocardiographiques en mode doppler pulsé, mais peut aussi lors de son augmentation provoquer une fusion des ondes précoce et tardive, et donc rendre la réalisation des mesures difficiles, voire impossible [39]. Afin de limiter l'influence des variations de la fréquence cardiaque, certains auteurs recommandent d'effectuer plusieurs mesures, sur plusieurs cycles cardiaques (3 à 5), et d'en faire la moyenne [15, 16, 21, 39, etc].

## I.6. EFFET DE L'ÂGE SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

Peu d'études ont été menées pour évaluer l'effet de l'âge du chat sur les résultats obtenus lors d'échocardiographies. Une étude évalue les modifications échocardiographiques en mode TM chez le chat en croissance [40]. Des échocardiographies ont été réalisés sur différents chats âgés de deux à douze semaines, ce ne sont donc pas toujours les mêmes chats qui ont été suivi durant leur croissance. D'après cette étude, il existe un fort coefficient de corrélation linéaire entre l'âge et de nombreux paramètres échocardiographiques : VGd, VGs, SIVd, SIVs, PPVGd, PPVGs, AG et Ao. Ces mêmes paramètres ont une corrélation avec le poids du corps et la surface corporelle des chatons. En effet durant la croissance il existe une très forte corrélation entre l'âge de l'animal et le poids et la surface corporelle. En revanche les ratios tels que AG/Ao, SIVd/PPVGd et les valeurs calculées à partir des précédentes données : FR, la fraction d'éjection (FE), le pourcentage d'épaississement de la paroi libre du ventricule gauche (%E-PPVG) et le pourcentage d'épaississement du septum interventriculaire (%E-SIV) ne sont pas corrélées à la croissance durant les trois premiers mois de vie du chat, c'est-à-dire, ni à l'âge, ni au poids du corps ou à la surface corporelle. L'âge a également une influence directe sur la fréquence cardiaque puisque celle-ci augmente entre la 4<sup>ème</sup> et la 8<sup>ème</sup> semaine de vie avant de diminuer à partir de la 8<sup>ème</sup> semaine. Or la fréquence cardiaque a elle aussi une influence directe sur les valeurs échocardiographiques en mode TM.

Cette étude ne prouve pas réellement l'existence d'un effet de l'âge sur les résultats échocardiographiques. En effet, elle ne fait pas la différence entre les modifications dues à l'augmentation du poids du corps et de la surface corporelle d'une part, et celles dues aux changements morphologiques et fonctionnels (dont la fréquence cardiaque) du cœur durant la croissance d'autre part. Seule exception, durant les premiers jours de vie d'un chaton l'importance du ventricule gauche devient progressivement supérieure à celle du ventricule droit, cette modification est due à l'augmentation de la pression artérielle et à la fermeture du canal artériel. Cette étude permet néanmoins d'avoir un référentiel pour les valeurs échocardiographiques usuelles du chat en croissance permettant de détecter des pathologies congénitales, en particulier lors de modification des indices calculés.

D'autres études existent, évaluant l'effet de l'âge, mais cette fois sur les valeurs échocardiographiques du ventricule gauche en mode doppler pulsé sur des chats vigils [16, 39].

Trois tranches d'âges peuvent être distinguées, entre lesquelles le cœur subit des modifications détectables lors d'échocardiographies en mode doppler pulsé : les jeunes chats âgés de moins de un an, les chats adultes entre un et huit ans, et les chats seniors âgés de plus de huit ans [16]. D'après les résultats obtenus, il existe une corrélation faible entre l'âge et la vitesse de l'onde précoce du flux transmitral (E), le TRIV, la durée du flux pulmonaire rétrograde (DurAr), et la vitesse de l'onde systolique du flux pulmonaire (S). L'étude menée par SANTILLI et coll., en revanche, ne s'intéresse qu'à des chats adultes et seniors, âgés de 1 à 18 ans [39]. Pour eux il existe une corrélation positive entre l'âge et la vitesse de l'onde tardive du flux transmitral (A), normalisée ou non, S, et la fraction systolique du flux pulmonaire. Ils constatent également une corrélation, cette fois-ci négative entre l'âge et le rapport E/A, le temps de remplissage diastolique, et E normalisé. En revanche aucune corrélation n'est notée avec E non normalisé, le temps de décélération de l'onde E, VAr, ou la vitesse de l'onde diastolique du flux pulmonaire (D). La normalisation des vitesses des ondes précoce et tardive permet de réduire la variation des mesures dues à la position du volume échantillon, cette normalisation se fait avec le débit systolique transmitral [8].

Plus spécifiquement, chez les chats jeunes, E est plus importante que chez les chats adultes et seniors, en revanche A n'est pas modifiée [16]. La variation de E est faible, trop faible pour modifier le rapport E/A. De même le TRIV est plus court chez les jeunes chats comparé aux chats adultes et seniors [16]. Ces observations suggèrent que la relaxation du myocarde est plus rapide chez les jeunes et que les fibres élastiques ont une tension plus forte. De plus, S diminue lors du passage d'un chat jeune à l'âge adulte. Ces variations sont suffisamment importantes pour que chez les chats jeunes S soit supérieure à D [16], tandis que chez le chat adulte sain, D est généralement supérieure à S [39]. Cependant, ces modifications échocardiographiques chez le jeune chat ne sont pas cliniquement très importantes.

Chez le chat adulte, l'étude de DISATIAN et coll. [16] montre une vitesse de l'onde systolique supérieure à celle de l'onde diastolique due à une ré-augmentation de la vitesse de l'onde systolique. L'étude de SANTILLI et coll. [39] montre également une augmentation de S avec l'âge, sans préciser si celle-ci devient supérieure à D. En revanche pour les autres modifications, les deux études ne font pas état de résultats convergents. Ainsi dans la première étude [16] les chats seniors présentent une durée du flux transmitral diastolique tardif plus courte que chez les adultes, et le rapport durée du flux transmitral diastolique tardif sur durée du flux rétrograde est diminué. Une corrélation indirecte, faible, entre l'âge et la durée du flux rétrograde transpulmonaire est également mise en évidence. L'ensemble de ces modifications suggère plutôt une tendance à la diminution de la compliance du

ventricule gauche lorsque les chats vieillissent. Cependant, les coefficients de détermination de cette étude restent faibles, donc l'effet de l'âge est ici minime, et les variations échocardiographiques très limitées. A contrario l'étude de SANTILLI et coll. [39] suggère plutôt un maintien de la compliance du ventricule gauche avec le vieillissement des chats. Cette modification serait associée à une diminution de la compliance de la veine pulmonaire ou à une augmentation de la résistance circulatoire de la veine pulmonaire au niveau de l'AG. Ces suppositions permettent d'expliquer l'absence de corrélation entre l'âge et les mesures concernant l'onde rétrograde. De plus, les autres variations en particulier les variations de A et E, la diminution du rapport E/A, ainsi que la diminution de la durée totale du remplissage diastolique avec l'âge montre que la phase précoce de la diastole reste inchangée alors que la phase tardive est modifiée par une augmentation de la contractibilité atriale.

Les études concernant les effets de l'âge sur les modifications échocardiographiques en mode doppler pulsé ne concluent pas unanimement. Chez le chat en croissance il existe des modifications, mais qui restent modérées, il est cependant impératif d'en tenir compte lors d'échocardiographies chez des individus très jeunes. Chez le chat senior, en revanche les modifications sont variables, et peuvent être plus ou moins importantes, mimant dans certains cas extrêmes, les conséquences de certaines pathologies cardiaques. Il est donc important de tenir compte de l'âge du chat lors de l'établissement du diagnostic d'une pathologie cardio-vasculaire, surtout chez un chat sénior.

#### I.7. EFFET DE L'HYDRATATION SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

Les états de dyshydratation peuvent modifier les résultats échocardiographiques obtenus chez des chats qui, lors d'un état d'hydratation normal, avait des valeurs échocardiographiques dans les limites usuelles [11].

En effet une déshydratation importante (perte de 5% du poids du corps) augmente significativement SIVd et PPVGd, en parallèle VGd et VGs diminuent. Cette diminution simultanée de VGd et VGs ne modifie pas la FR. Cependant certains chats présentent une diminution de VGs suffisamment importante pour que la cavité du ventricule gauche soit totalement oblitérée en fin de systole. Enfin le rapport AG/Ao diminue à cause d'une diminution de la taille de l'AG, et donc de son diamètre. La déshydratation donne cependant au cœur des caractères échocardiographiques compatibles avec une hypertrophie, en fait une pseudo-hypertrophie, telles qu'une augmentation de l'épaisseur du septum et une

diminution du volume des cavités ventriculaire et atriale gauches. A contrario, la diminution du rapport AG/Ao peut masquer les conséquences atriales d'une cardiopathie [11].

Une hyperhydratation due à un volume de perfusion isotonique supérieur aux besoins d'entretien modifie également les mesures échocardiographiques en augmentant le volume sanguin circulant, et donc en augmentant la précharge. Une augmentation du VGd et de la surface du ventricule gauche en fin de diastole sont notés sans aucune modification de ces paramètres en systole, provoquant une augmentation de la FR. En même temps il y a une augmentation de AG allant jusqu'à donner chez certains chats une valeur au rapport  $AG/Ao > 1,5$ , considéré comme l'indice d'une anomalie [11].

L'état d'hydratation est donc un facteur de variation de l'échocardiographie chez le chat qui peut fausser un diagnostic ou modifier la gravité d'une affection cardiaque dans les cas de forte déshydratation ou de forte hyperhydratation. Il est donc important de connaître le statut hydrique d'un chat avant de pratiquer une échocardiographie, voir de reporter celle-ci en cas d'anomalie notable.

#### I.8. EFFET DE LA PRESSION ARTERIELLE SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

L'hypertension artérielle est définie chez le chat non sédaté comme une pression sanguine systolique indirecte supérieure à 170 millimètres de mercure (mm Hg) [13, 22, 33]. Des modifications cardiaques chez les chats hypertendus sont décrites dans de nombreuses études.

Les paramètres échocardiographiques significativement différents chez les chats hypertendus, par rapport aux chats sains, sont l'augmentation plus ou moins importante de PPVGd et SIVd. Chez de nombreux chats cette épaisseur est supérieure à 5,5 ou 6 millimètres, valeur seuil du diagnostic de l'hypertrophie ventriculaire. Cette hypertrophie est retrouvée chez 50 à 80% des animaux hypertendus selon les études [13, 22, 33, 42]. Une augmentation de ces mêmes paramètres en systole, PPVGs et SIVs, est aussi décrite dans certaines études [13, 42]. Dans leur étude, CHETBOUL et coll. décrivent également une diminution du diamètre ventriculaire gauche en systole et en diastole [13]. Ces paramètres échocardiographiques ont certes des valeurs significativement augmentées chez les chats hypertendus par rapport aux chats normotendus, mais restent majoritairement dans les « valeurs usuelles » définies chez le chat. L'hypertrophie ventriculaire résultant de l'hypertension artérielle est variée. Elle est majoritairement de type concentrique, avec les parois ventriculaires diastoliques, PPVGd et SIVd, plus ou moins épaissies, et le rapport SIVd/PPVGd donnant un caractère symétrique ( $SIVd/PPVGd = 0,7$  à  $1,3$ ) ou asymétrique à

l'hypertrophie. Mais elle peut également être de type excentrique, symétrique ou asymétrique, lorsque le VDd augmente et que les parois ventriculaires sont peu épaissies, ou plus rarement localisées au septum sous-aortique [13].

Il n'existe pas de corrélation entre la sévérité de l'hypertension et le degré ou le type d'hypertrophie cardiaque [13, 22, 42]. Les variations échocardiographiques entre les différents chats peuvent alors être dues à l'existence d'autres affections chroniques causales ou concomitantes à l'hypertension comme l'hyperthyroïdie, l'insuffisance rénale, la cardiomyopathie hypertrophique idiopathique, etc. Le fait que certains chats ne montrent aucune anomalie échocardiographique peut être imputé à une hypertension artérielle récente. En effet une étude chez le chien a montré qu'il faut environ 6 semaines après l'induction d'une hypertension pour que les paramètres échocardiographiques se modifient, et qu'une hypertrophie cardiaque soit détectable [31].

Une autre cause d'absence de modification échocardiographique chez un chat diagnostiqué comme hypertendu est un diagnostic d'hypertension erroné. En effet, il existe chez le chat une augmentation significative de la pression artérielle liée au stress, c'est l'effet « blouse blanche » développé dans le chapitre I.9.

L'hypertension artérielle systémique a donc un effet potentiel sur les paramètres échocardiographiques. Avant toute échocardiographie il serait intéressant de mesurer cette tension afin de détecter les animaux hypertendus, bien qu'il existe un risque de faux positif, non négligeable, causé par le stress.

## I.9. EFFET DU STRESS SUR LES RÉSULTATS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

Le milieu médical a été identifié pour l'espèce humaine comme étant un environnement stressant à même de modifier certains paramètres vitaux du patient. L'ensemble de ces modifications est regroupé sous le nom d'effet « blouse blanche ». L'animal n'échappe pas à ce stress, en particulier le chat qui est un animal territorial, très sensible à son environnement. On comprend donc aisément qu'amener un chat en clinique pour lui faire subir, ou plutôt pour le faire bénéficier d'un examen tel qu'une échocardiographie stressante est capable de modifier certains résultats obtenus.

Le premier effet du stress est l'augmentation significative de la fréquence cardiaque [1, 6]. L'étude de ABBOTT [1] a ainsi montré que la fréquence cardiaque d'un chat dans son milieu habituel (en moyenne 132bpm), est significativement plus faible que celle d'un chat

en milieu hospitalier (en moyenne 150bpm), elle-même plus faible que celle d'un chat subissant une contention manuelle pour le maintenir en décubitus latéral lors d'un examen échocardiographique (en moyenne 187bpm). L'étude de BELEW et coll. [6] a elle aussi montré un effet significatif du stress sur la fréquence cardiaque. Cette variation de la fréquence cardiaque liée au stress serait due à l'augmentation de l'influence du système nerveux sympathique au détriment de l'activité vagale. Le stress engendré par l'échocardiographie elle-même et son contexte sont donc à même de provoquer une variation des résultats par son action sur la fréquence cardiaque. En effet la fréquence cardiaque est l'un des facteurs de variation les plus importants des résultats échocardiographiques chez le chat (cf. chapitre I.5.).

Le second effet du stress de l'animal est une augmentation significative de sa pression artérielle [6]. Cette augmentation de la pression artérielle varie considérablement d'un individu à l'autre et d'une visite à l'autre chez le vétérinaire. Aucune diminution significative de cet effet « blouse blanche » n'est notable avec la répétition du nombre de visites chez le vétérinaire ; il n'y a pas d'entraînement possible du chat. Ainsi dans l'étude de BELEW et coll. [6], la mesure de la pression artérielle chez un chat a montré une variation jusqu'à 55mmHg entre 2 visites chez le vétérinaire. Cependant une hypertension artérielle transitoire n'a pas d'effet sur les paramètres échocardiographiques mesurés. En effet, il a été prouvé qu'il faut une persistance de l'hypertension pendant plus de 6 semaines, chez le chien, pour qu'une modification de paramètres échocardiographiques soit observable. Le stress n'est donc pas un facteur de variation des valeurs échocardiographiques par son influence sur la pression artérielle, mais peu amener néanmoins un diagnostic erroné d'hypertension.

Lors d'un examen échocardiographique le stress n'est donc pas un facteur de variation direct des résultats, mais par ses effets sur la fréquence cardiaque, paramètre d'influence majeure, il peut modifier les résultats obtenus. Il est impossible d'éliminer ce facteur stress, mais il convient de le réduire au maximum en privilégiant un environnement calme, sans autres animaux, et en limitant au maximum le temps de transport et d'attente de l'animal. Enfin l'importance de ce stress devra idéalement être évaluée au cours de l'examen échocardiographique, en mesurant la fréquence cardiaque, en observant les réactions de l'animal, etc., ceci afin de pondérer les résultats obtenus.

## II. VARIABILITÉ DE L'ÉCHOCARDIOGRAPHIE CHEZ LE CHAT

Cette partie étudie la variabilité analytique de l'échocardiographie, c'est-à-dire aux propriétés inhérentes à la technique utilisée, en excluant les variations biologique, liées à l'animal [20]. On s'intéresse en particulier à la répétabilité, à la reproductibilité et à la variabilité intra-essai, ainsi qu'à l'influence de différents paramètres sur cette variabilité telle que l'échocardiographe et la méthode utilisée.

### II.1. LA RÉPÉTABILITÉ ET LA REPRODUCTIBILITÉ

#### II.1.1. DÉFINITIONS

La capacité d'un opérateur à répéter avec exactitude des mesures se quantifie avec les notions statistiques de répétabilité et de reproductibilité. Il existe une définition stricte de ces termes publié dans le Vocabulaire International de Métrologie 2008.

La répétabilité est « la fidélité des mesures effectuées dans des conditions qui comprennent la même procédure de mesure, les mêmes conditions de fonctionnement et le même lieu, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires pendant une courte période de temps ».

La reproductibilité est elle défini comme « la fidélité des mesures effectuées dans des conditions qui comprennent des lieux, des opérateurs et des systèmes de mesure différents, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires ».

En pratique vétérinaire, on peut définir avec ATHANASSIADIS [5], la répétabilité comme la variabilité intra-jour et la reproductibilité comme la variabilité inter-jour, obtenu lors de mesures sur un groupe d'animaux. Mais certains auteurs calculent également la répétabilité sur des données obtenues, sur le même animal ou groupe d'animaux, durant une très courte période, souvent plusieurs jours consécutifs. Ces différents résultats étant en accord avec la définition officielle, il est nécessaire de préciser dans quelles conditions sont obtenues les valeurs dans chaque étude. C'est la définition proposée par ATHANASSIADIS [5] qui sera utilisé, dans la suite de ce travail.



La variabilité intra-essai est obtenue à partir d'une série de mesure effectuée le même jour, sur le même animal dans un temps très court. Cette variabilité intra-essai correspond à la variabilité inter-cycle cardiaque, il s'agit donc de la répétabilité mesurée sur un seul animal.

## II.1.2. RÉPÉTABILITÉ ET REPRODUCTIBILITÉ DE L'ÉCHOCARDIOGRAPHIE CHEZ LES ANIMAUX DOMESTIQUES

### II.1.2.1. CONDITIONS D'OBTENTION

De nombreuses études ont été menées concernant la variabilité de l'échocardiographie chez nos animaux domestiques, en particulier chez le cheval, le chien et le chat. Leurs auteurs cherchent généralement à établir la variabilité intra-jour ou répétabilité, et la variabilité inter-jour, ou reproductibilité.

Pour obtenir les valeurs des différentes variabilités, il est nécessaire de standardiser au maximum les examens afin de limiter les sources de variations extérieures au test lui-même, examinées au chapitre précédent. Les différentes mesures sont donc effectuées dans les mêmes conditions d'examen, avec le même animal ou groupe d'animaux, le même échocardiographe, etc. Les conditions d'examen correspondent à l'environnement : même salle, même matériel, même personnel présent, etc., mais aussi à la standardisation du protocole échocardiographique. Ce protocole échocardiographique correspond à la standardisation de la contention : position de l'animal, utilisation d'une contention chimique ou non, type de molécule, etc. Mais également à la standardisation de la position de la sonde, des images retenues pour les mesures, et des points limitant les structures mesurées.

La conformation et la taille des animaux étant différentes dans chaque espèce, de nombreux auteurs ont essayé d'établir des images standards, notamment par la définition des axes, faciles à obtenir pour tous les échocardiographistes. Par exemple les études de LONG et coll. [28] ou KRIZ et coll. [26] pour le cheval, celle de O'GRADY et coll. [34] pour le chien, ou celle de THOMAS et coll. [43] chez le chien et le chat. Ces standards, pour chaque coupe cardiaque, ont été choisis car ils peuvent être obtenus de manière aisée sur tous les individus, et afin d'optimiser la variabilité des examens échocardiographiques. En ce qui concerne les mesures effectuées à partir de ces images, les recommandations suivies sont celles proposées, chez l'homme, par l'American Society of Echocardiography [37], avec quelques adaptations en fonction de l'espèce animale étudiée.

## II.1.2.2. VALEURS DE LA RÉPÉTABILITÉ ET DE LA REPRODUCTIBILITÉ CHEZ LES ANIMAUX EN GÉNÉRAL

La répétabilité, définie comme la variabilité intra-jour, est évaluée dans un nombre d'étude assez restreint. Une étude menée sur six chiens beagle, évalue la répétabilité mesurée sur une série d'échocardiographies effectuées, en mode 2D et TM, le même jour, par différents opérateurs [5]. La répétabilité est exprimée sous la forme d'un coefficient de variation intra-jour qui, pour l'opérateur de référence, est de : 13,8% pour VDd, 11,2% pour SIVd, 5,5% pour VGd, 10,9% pour PPVGd, 7,7% pour SIVs, 6,9% pour VGs, 9,2% pour PPVGs, 10,2% pour FR, 5,2% pour Ao, 7,4% pour AG, 9,0% pour AG/Ao. Tous ces résultats témoignent d'une bonne répétabilité avec un coefficient de variation intra-jour systématiquement inférieur à 15% pour tous les paramètres mesurés en mode 2D et TM.

Une autre étude menée chez le rat [44] confirme la bonne répétabilité des mesures échocardiographiques en mode 2D et TM. En comparant 2 séries de mesures effectuées le même jour sur 14 rats, les auteurs ont ainsi trouvé un coefficient de variation de répétabilité inférieur à 10% pour toutes les mesures directes, à la différence des mesures calculées.

La variabilité intra-essai permet, d'évaluer la dispersion des mesures en minimisant la variabilité liée aux différences entre animaux (inter-animal), il s'agit donc de la répétabilité des mesures sur un seul animal. La variabilité intra-essai n'a été observée que dans une étude menée sur huit chevaux, échocardiographiés en mode 2D, TM et doppler pulsé [10]. Pour chaque paramètre cinq mesures sont effectuées, ces mesures sont faites sur des cycles cardiaques non consécutifs. C'est-à-dire que les cycles cardiaques permettant l'obtention des mesures sont séparés entre eux par au moins cinq à dix autres cycles cardiaques. Les auteurs ne rapportent pas les valeurs de répétabilité obtenues, mais la part de la répétabilité dans la variabilité totale de l'échocardiographie. Cette variabilité totale étant divisée en variabilité intra-essai ou répétabilité, variabilité inter-jour ou reproductibilité et variabilité inter-animal. La variabilité intra-essai n'est jamais la source la plus importante de variabilité, elle est même la plus faible source de variabilité pour 8 paramètres testés sur 15. La répétabilité est donc, le plus souvent, meilleure que la variabilité inter-jour ou reproductibilité.

La répétabilité est bonne pour les mesures échocardiographiques, mais il est impossible d'établir une valeur de répétabilité, pour chaque paramètre, qui soit valable pour toutes les espèces et tous les protocoles. En effet, les différentes études effectuées révèlent des coefficients de variation différents, et les paramètres peu répétables ne sont pas les

mêmes d'une équipe à l'autre. Dans l'idéal chaque équipe devra évaluer pour chaque espèce ses propres valeurs de répétabilité.

La reproductibilité, c'est-à-dire la variabilité inter-jour est estimée dans de nombreuses études. Chez le cheval il existe une étude [26] qui évalue la reproductibilité de 73 paramètres, que ce soit des mesures directes ou des indices, obtenus en mode 2D, TM et doppler pulsé. Dans cette étude, 13 chevaux bénéficient d'un examen échocardiographique par jour, durant 3 jours consécutifs, un opérateur unique effectuant toutes les mesures. La variabilité inter-jour est ensuite évaluée pour chaque paramètre, les résultats sont présentés sous forme de coefficient de variation de reproductibilité et l'existence d'une différence significative entre les mesures effectuées chaque jour est exprimée par un  $p < 0,05$  lors de l'analyse de variance. En mode TM, l'ensemble des mesures et indices dérivés de la fonction cardiaque mesurés sont reproductibles sauf pour trois : le temps de pré-éjection (TPE), le rapport du temps de pré-éjection divisé par le temps d'éjection (TPE/TE) et le rapport SIVd/PPVGd, avec  $p < 0,05$ . Tous les paramètres rapportés ont un coefficient de variation inférieur à 15% et seuls 5 paramètres sur 31 ont un coefficient de variation supérieur à 10%. En mode 2D, toutes les mesures et indices ont une excellente reproductibilité sur les 3 jours, de plus l'ensemble des 12 paramètres observés ont un coefficient de variation inférieur à 10%. Enfin, en mode doppler pulsé, une seule mesure n'est pas reproductible ; c'est également celle qui présente le plus fort coefficient de variation (CV=17,31%), il s'agit de l'accélération moyenne du flux transaortique mesurée du côté droit de l'animal, mesure peu usitée en pratique. De plus sur les 30 paramètres observés, tous ont un coefficient de variation inférieur à 15%, hormis l'accélération moyenne du flux transaortique mesurée du côté droit de l'animal, et seuls 6 paramètres ont un coefficient de variation supérieur à 10%. Cette étude rapporte donc une bonne reproductibilité de l'échocardiographie que ce soit en mode 2D, TM ou doppler pulsé.

D'autres études menées sur le cheval corroborent cette bonne reproductibilité pour la plupart des paramètres échocardiographiques mesurés [7, 28]. Par exemple, en comparant les résultats échocardiographiques en mode doppler pulsé de 6 chevaux obtenus durant trois jours consécutifs, seul la fréquence cardiaque et la durée entre le complexe QRS et le début de l'onde A (Ta) présentent une différence significative entre les différents jours de mesure [7]. Cependant, même si la reproductibilité de l'échocardiographie en mode doppler pulsé est bonne, elle est souvent inférieure à celle en mode 2D et TM. Ainsi dans l'étude menée par YOUNG et coll. sur sept chevaux, ils évaluent la reproductibilité grâce au calcul du coefficient de corrélation interclasse pour chaque paramètre [46]. Ce coefficient, lorsqu'il est proche de 1, estime que la majorité de la variabilité d'un paramètre est due à la variabilité

inter-animaux, et donc que la variabilité inter-jour est faible. Ce coefficient de corrélation interclasse est élevé pour les paramètres mesurés en mode TM et 2D, toujours supérieur à 0,6 alors qu'il est plus faible pour les paramètres mesurés en mode doppler pulsé, entre 0,46 et 0,77. La reproductibilité est donc meilleure pour les paramètres échocardiographiques mesurés en mode 2D et TM par rapport à ceux mesurés en mode doppler pulsé. Cette différence est encore plus marquée dans une autre étude où les indices de corrélations interclasse ne dépassent pas 0,46 en mode doppler pulsé [10]. Cette moins bonne reproductibilité des mesures en mode doppler pulsé est souvent attribuée à la difficulté d'aligner le faisceau d'ultrason au flux sanguin, et à bien positionner le volume échantillon [7, 10]. En effet lorsque l'angle entre le faisceau ultrasonore et le flux sanguin est inférieur à 18°, l'erreur de mesure est de  $\pm 5\%$ . Mais si cette erreur d'alignement devient supérieure à 18°, alors les vitesses de flux mesurés peuvent être très fortement modifiées, souvent sous-estimées.

Chez le chien, animal plus proche du chat que le cheval, les résultats obtenus sont aussi bons que ceux trouvés chez le cheval. Pour confirmer cette similarité, une vingtaine de paramètres obtenus sur six chiens, de races différentes, ayant eu trois échocardiographies durant une période de cinq jours sont étudiés [34]. Les valeurs moyennes de chaque paramètre obtenues pour chaque journée sont comparées entre-elles. Une différence significative entre jour n'est trouvée que pour SIVs mesuré sur le coupe petite axe, et pour la longueur du ventricule gauche en systole. Mais ces différences, de l'ordre de 2 à 3 mm, restent cliniquement faibles. Dans son travail de thèse, ATHANASSIADIS [5] rapporte les valeurs de reproductibilité obtenue sur six chiens beagle ayant été échocardiographiés plusieurs fois sur quatre jours. Cette répétabilité est exprimée sous la forme de coefficient de variation inter-jour. Leurs valeurs pour l'opérateur de référence sont de : 22,3% pour VDd, 4,5% pour SIVd, 8,0% pour VGd, 9,4% pour PPVGd, 4,1% pour SIVs, 7,0% pour VGs, 12,0% pour PPVGs, 15,7% pour FR, 6,0% pour Ao, 9,4% pour AG, 9,8% pour AG/Ao. Sur ces 11 paramètres, 8 ont un coefficient de variation inférieur à 10%, et deux seulement ont un coefficient de variation supérieur à 15%. La reproductibilité de l'échocardiographie en mode 2D et TM est donc également bonne dans cette étude.

En résumé, lorsque les conditions sont standardisées, l'échocardiographie présente une bonne reproductibilité que ce soit chez le cheval ou le chien. Mais, notons tout de même que la variabilité est généralement plus importante pour les mesures effectuées en mode doppler pulsé, par rapport aux modes 2D et TM. Comme pour la répétabilité, chaque équipe doit calculer ses propres valeurs de reproductibilité dans les conditions qui lui sont propres.

### II.1.2.3. VALEURS DE LA RÉPÉTABILITÉ ET DE LA REPRODUCTIBILITÉ CHEZ LE CHAT

Chez le chat, comme dans les autres espèces animales, la variabilité inter-jour ou reproductibilité a été évaluée dans de nombreuses études, contrairement à la variabilité intra-jour ou répétabilité. En effet la répétabilité est plus contraignante à obtenir car elle nécessite un grand nombre de mesures échocardiographiques le même jour.

La répétabilité de l'échocardiographie chez le chat, en mode 2D et TM, n'est étudiée que dans un travail [5]. La répétabilité est exprimée sous la forme de coefficients de variation intra-jour ; pour l'opérateur de référence, ces coefficients de variation sont de : 32,5% pour VDd, 9,7% pour SIVd, 6,9% pour VGd, 13,2% pour PPVGd, 14,6% pour SIVs, 11,7% pour VGs, 6,9% pour PPVGs, 10,6% pour FR, 8,5% pour Ao, 10,3% pour AG, 8,7% pour AG/Ao. L'ensemble des coefficients de variation est inférieur à 15%, sauf un, pour le VGd pour lequel il est de 32,5%. La répétabilité, dans cette étude, est aussi bonne que celle rapportée chez les autres animaux domestiques, excepté pour le VDd pour lequel des variations importantes peuvent être constatées.

Aucune étude n'a évalué cette répétabilité sur de plus nombreux paramètres échocardiographiques, en particulier en mode doppler pulsé.

Plusieurs études rapportent les coefficients de variation obtenus lors d'étude de reproductibilité, chez le chat, pour les mesures les plus fréquentes. Les résultats obtenus lors d'échocardiographies en mode 2D et TM sont assez différents selon les études (cf. tableau 1). En effet les coefficients de variation dans l'étude de Moise et coll. [29] sont plus faibles que ceux des deux autres études. Cette différence peut être expliquée par l'utilisation d'une contention chimique qui facilite l'obtention des images échocardiographiques, puisque l'animal est immobile. L'ensemble des coefficients de variations sont inférieur à 15%, hormis le PPVGd (CV=17%) dans l'étude de SIMPSON et coll. [41], et le SIVs (CV=16%) dans l'étude d'ATHANASSIADIS [5]. Mais ces coefficients de variation de 16% et 17% restent raisonnables, la reproductibilité de l'échocardiographie en mode 2D et TM est donc bonne.

Tableau 1 : Coefficient de variation (en %) obtenu lors d'échocardiographie en mode 2D et TM sur des chats sains anesthésiés ou non dans trois études.

Paramètre en mode 2D et TM	Coefficients de variation de reproductibilité (%)		
	MOISE et coll. [29]	ATHANASSIADIS [5]	SIMPSON et coll. [41]
SIVd	9	12	9
VGd	5	2	8
PPVGd	9	11	17
SIVs	6	16	12
VGs	10	15	9
PPVGs	9	7	15
Ao	7	12	5
AG	7	12	6

Deux études ont évalué la reproductibilité de l'échocardiographie en mode doppler pulsé [16, 41]. Les coefficients de variation de reproductibilité en mode doppler pulsé sont également tous inférieurs à 15%, hormis pour un paramètre, la vitesse du pic pulmonaire rétrograde (cf. tableau 2). En effet, les deux études s'accordent en évaluant le coefficient de variation de la vitesse du pic pulmonaire rétrograde entre 15% et 20% : il est évalué à 17,4% pour SIMPSON et coll. [41], et à 15,7% pour DISATIAN et coll. [16]. La reproductibilité de l'échocardiographie en mode doppler pulsé sur des chats vigiles est donc bonne, hormis pour la vitesse du pic pulmonaire rétrograde pour laquelle elle reste néanmoins correcte.

Tableau 2 : Coefficient de variation (en %) obtenu lors d'échocardiographie en mode doppler pulsé sur des chats sains anesthésiés ou non dans deux études.

Paramètre en mode doppler pulsé	Coefficient de variation de reproductibilité (%)	
	SIMPSON et coll. [41]	DISATIAN et coll. [16]
Ve transmitral	6,4	10,3
Va transmitral	11,0	13,5
Durée du pic A transmitral	9,2	10,0
TRIV	13,8	6,3
Vitesse du pic pulmonaire diastolique (D)	11,4	12,8
Vitesse du pic pulmonaire systolique (S)	15,0	13,6
Vitesse du pic pulmonaire rétrograde (Ar)	17,4	15,7
DurAr	10,0	10,6

La reproductibilité de l'échocardiographie est donc bonne chez le chat quelque soit le mode. A noter que, selon les études, entre 3 et 7 paramètres mesurés en mode 2D et TM sur 10 ont un coefficient de variation <10%, tandis que seulement 1 à 2 paramètres mesurés en mode doppler pulsé sur 10 ont un coefficient de variation <10%. La variabilité de l'échocardiographie en mode doppler pulsé est donc, comme chez le chien, plus importante que celle en mode 2D ou TM.

En conclusion, la répétabilité et la reproductibilité obtenue chez le chat ont des valeurs relativement semblables à celle obtenue dans les autres espèces, pour les mesures les plus fréquentes, avec des coefficients de variation généralement bons ( $\leq 15\%$ ). De même, les tendances générales sont semblables : meilleurs résultats pour les modes 2D et TM par rapport au mode doppler pulsé.

### II.1.3. INTÉRÊT ET UTILISATION PRATIQUE DE LA RÉPÉTABILITÉ ET DE LA REPRODUCTIBILITÉ

L'intérêt de connaître la reproductibilité d'une méthode diagnostique telle que l'échocardiographie, est de permettre un suivi des animaux, par exemple pour évaluer l'efficacité d'un traitement à visée cardio-vasculaire. Ainsi, lorsqu'une différence de mesure est constatée entre deux échocardiographies sur un même animal malade, il est important de savoir si cette différence correspond à une évolution de la pathologie ou à la variabilité due à la méthode utilisée. En effet, pour affirmer que deux valeurs sont différentes l'une de l'autre il faut les comparer avec la différence critique. Deux valeurs  $V_1$  et  $V_2$  ne sont considérés comme différentes, donc traduisant une évolution de l'affection cardiaque, que si  $V_1$  et  $V_2$  n'appartiennent pas à l'intervalle critique. Or l'obtention de cette différence critique nécessite la connaissance du coefficient de variation (CV) de reproductibilité du paramètre observé:

$$\text{Moyenne } (V_1, V_2) \pm 2,77 \times \text{CV de reproductibilité} \times \text{Valeur absolue de la Moyenne } (V_1, V_2)$$

La reproductibilité quant à elle, permet de retenir pour un paramètre donné, si une mesure unique est suffisante ou non, pour approcher la réalité. En effet, plus le coefficient de variation de répétabilité sera important, plus la différence entre deux mesures effectuées à la suite pourra être importante. Dans le cas d'un coefficient de variation élevé, il est donc intéressant d'utiliser la moyenne de plusieurs mesures effectuées à la suite comme valeur du paramètre retenue.

## II.2. FACTEURS AYANT UNE INFLUENCE SUR LA VARIABILITÉ DE L'ÉCHOCARDIOGRAPHIE

La variabilité de l'échocardiographie est due à plusieurs sources : physiologiques, techniques et interprétatives. Les erreurs « physiologiques » sont dues à l'animal lui-même, par exemple à l'effet du cycle respiratoire sur la fonction cardiaque. Les erreurs techniques qui correspondent aux conditions d'obtention des images, et les erreurs interprétatives, qui correspondent à l'obtention des mesures, sont dues en partie au matériel utilisé, aux conditions d'utilisation, mais également à l'échocardiographe. En effet, malgré la standardisation des protocoles, il existe toujours de petites variations entre échocardiographes dans les images obtenues et dans les points utilisés pour faire les mesures. Ces variations sont dues à la position de la sonde, à l'existence d'artéfacts, à la difficulté de délimiter les différents feuillettes sur l'image, etc. L'échocardiographe est donc un facteur de variabilité de l'échocardiographie capable d'influencer la répétabilité, la reproductibilité et la variabilité intra-essai d'un paramètre.

De même, une structure mesurée par différents modes et, ou différentes coupes échocardiographiques ne va pas avoir les mêmes valeurs. En effet, chaque image permettant la mesure d'un paramètre est plus ou moins soumise aux différentes sources de variations, les mesures ont donc une variabilité due à la méthode utilisée.

### II.2.1. VARIABILITÉ DUE A L'ÉCHOCARDIOGRAPHE

Lorsque l'on étudie l'influence de l'échocardiographe on étudie deux phénomènes : d'une part l'effet opérateur, c'est-à-dire la variabilité due à la personne qui réalise les images échocardiographiques, et d'autre part l'effet observateur, c'est-à-dire la variabilité due à la personne qui effectue les mesures à partir des images précédemment obtenues. En pratique c'est souvent la même personne qui définit les images et qui réalise les mesures au fur et à mesure de l'examen, mais ces deux étapes correspondent à des sources de variabilité différentes.

Dans la première étude, les auteurs se sont intéressés à la variabilité due à l'échocardiographe, c'est-à-dire à la variabilité causée par une personne qui recherche les images et qui effectue les mesures [5 repris dans 12]. Dans cette étude quatre personnes réalisent des échocardiographies, en mode 2D et TM, durant trois jours. Les échocardiographes ont chacun un niveau d'expérience différent, « l'opérateur de référence » étant l'échocardiographe le plus expérimenté, diplômée de l'European College



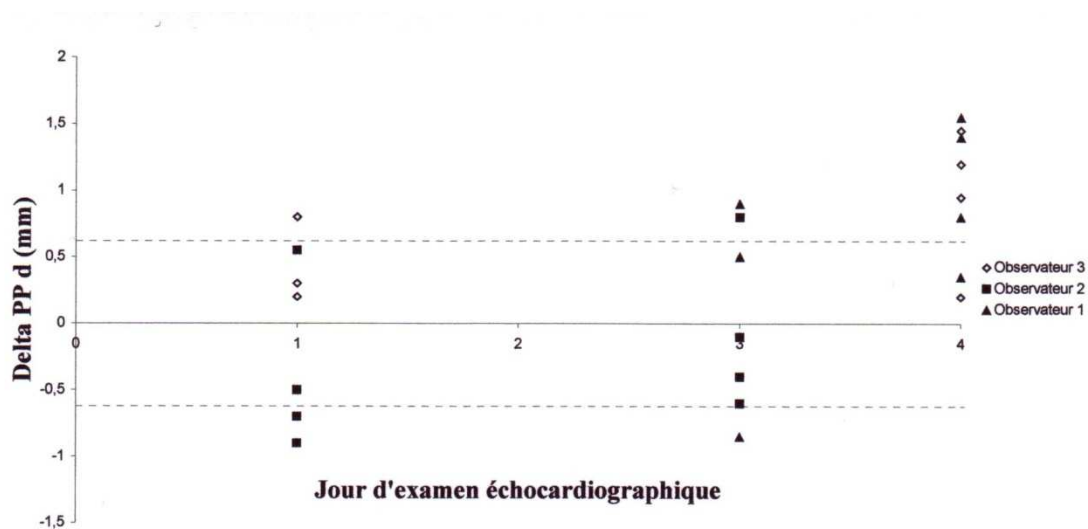
of Veterinary Internal Medicine (Cardiology). Chacun des quatre chats est échocardiographié deux fois, par chaque échocardiographe, mais jamais le même jour.

La répétabilité est exprimée sous la forme de coefficient de variation intra-jour pour chaque échocardiographe. On rapporte les coefficients de variation de répétabilité pour l'opérateur de référence, et entre parenthèse les coefficients de variation minimum et maximum obtenu, tous échocardiographes confondus : 32,5% (30,1-38,1%) pour VDd, 9,7% (9,7-17,4%) pour SIVd, 6,9% (6,9-9,8%) pour VGd, 13,2% (10,5-18,7%) pour PPVGd, 14,6% (10,1-16,4%) pour SIVs, 11,7% (11,1-20,8%) pour VGs, 6,9% (6,9-11,9%) pour PPVGs, 10,6% (8,7-21,2%) pour FR, 8,5% (8,5-9,7%) pour Ao, 10,3% (8,6-11,1%) pour AG, 8,7% (8,7-11,3%) pour AG/Ao. L'opérateur de référence, le plus expérimenté, a donc obtenu les coefficients de variation les plus faibles pour cinq paramètres sur onze : SIVd, VGd, PPVGs, Ao, AG/Ao, sans jamais obtenir le coefficient de variation le plus élevé. A contrario, l'opérateur le moins expérimenté, un étudiant en internat, a obtenu les coefficients de variation les plus élevés pour tous les paramètres hormis trois : PPVGd, Ao, AG. Les autres opérateurs, ayant une expérience en échocardiographie intermédiaire, ont obtenu des résultats intermédiaires. De plus, un effet significatif de l'opérateur a été mis en évidence pour tous les paramètres hormis Ao. Il existe donc bien une influence de l'échocardiographe sur la variabilité de l'échocardiographie, et le niveau d'expérience de cet échocardiographe influence directement les résultats de répétabilité.

Pour ce qui est des résultats de reproductibilité obtenus dans cette étude [5], les différences entre opérateur sont moins marquées. En effet l'opérateur de référence n'obtient les coefficients de variation de reproductibilité les plus faibles que pour deux paramètres sur onze, tandis que l'opérateur le moins expérimenté obtient les coefficients de variation de reproductibilité les plus faibles pour quatre paramètres sur onze. Ces différences s'expliquent par le fait que l'opérateur de référence ayant une variabilité intra-jour très faible, une petite différence entre les mesures effectuées d'un jour sur l'autre, va augmenter rapidement l'écart-type inter-jour. L'opérateur de référence peut alors avoir facilement un coefficient de reproductibilité qui devient supérieur à celui d'opérateurs moins expérimentés ayant, eux, une plus forte variabilité intra-jour.

Cependant, si l'on compare les moyennes obtenues pour un paramètre, par les différents opérateurs à celles de l'opérateur de référence, on remarque que la dispersion de ces moyennes est plus importante que l'écart-type intra-jour de l'opérateur de référence (cf. figure 1).

Figure 1 : Différences pour le paramètre PPVGd (noté ici PPd) chez quatre chats européens entre les moyennes des 3 opérateurs et de l'opérateur de référence, pour les jours auxquels a participé l'opérateur de référence (jours 1, 3 et 4) d'après ATHANASSIADIS (2003).



Les pointillés représentent l'écart-type de variabilité intrajour de l'opérateur de référence pour PPVGd. Toute valeur située en dehors de cet intervalle ( $\pm$ écart-type) traduit la différence entre l'opérateur donné et l'opérateur de référence.

Ces résultats suggèrent fortement qu'il est préférable de garder le même échocardiographe dans le cadre du suivi d'un animal. Dans le cas contraire, l'opérateur pourra obtenir des valeurs significativement différentes, car supérieures à l'écart-type, alors que c'est la variabilité inter-opérateur qui est à l'origine de cette différence, et non l'évolution de la pathologie.

Une autre étude menée chez le cheval confirme l'existence d'une différence significative entre les valeurs obtenues, pour la plupart des paramètres, par plusieurs échocardiographistes d'expérience différente [38]. L'échocardiographe le moins expérimenté ayant, les coefficients de variation de répétabilité les plus élevés pour la majorité des paramètres mesurés, cinq sur sept.

Chez le chat, une seule étude évalue la variabilité inter-observateur lors d'échocardiographies en mode 2D, TM et doppler pulsé [41]. Pour cela, un opérateur effectue des échocardiographies sur quatre chats, une série d'image est présentée à 2 observateurs, de même expérience, afin qu'ils mesurent les différents paramètres étudiés. La comparaison des mesures effectuées permet d'obtenir la variabilité inter-observateur : celle-ci est présentée sous la forme d'un coefficient de variation. Ces coefficients de

variation sont relativement élevés avec un seul paramètre sur vingt-trois, ayant un coefficient de variation <10% et six paramètres ayant un coefficient de variation >20%. La mesure des paramètres est donc bien une source importante de variation à laquelle qui vient s'ajoute, en pratique, à la variabilité due par l'obtention des images.

Chez le chien, il existe une étude qui évalue différentes sources de variabilité dont la variabilité entre opérateurs, mais également entre observateurs [18]. Dans cette étude, six chiens boxers sont échocardiographiés par deux opérateurs différents, et sur des journées différentes. Ce sont les échocardiographistes qui ont réalisés les images qui mesurent les différents paramètres, c'est donc la variabilité inter-opérateur/observateur qui est obtenue ici. A coté de cette variabilité les auteurs étudient également la variabilité inter-observateur, pour cela des images déjà obtenues sont présentés à deux observateurs, de même expérience, qui effectuent la mesure des différents paramètres. Les auteurs ont ensuite évalué l'existence d'une différence significative,  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,001$ , entre les mesures obtenues entre opérateurs/observateurs et observateurs, et calculé le coefficient de variation pour chaque source de variabilité. Dans cette étude aucune influence de l'opérateur/observateur ni de l'observateur n'est trouvé pour les paramètres mesurés sur le ventricule gauche en mode 2D. En revanche les paramètres mesurés en mode 2D concernant l'atrium gauche présentent une différence significative,  $p < 0,05$ , entre opérateurs/observateurs pour deux paramètres sur six, et présentent une différence significative,  $p < 0,01$  ou  $p < 0,001$ , entre observateurs pour quatre paramètres sur six. La différence entre observateurs est plus importante que celle entre opérateurs/observateurs non seulement pour le nombre de paramètres différents, mais aussi pour l'intensité de cette différence (valeur de p). Cette plus grande variabilité entre observateurs par rapport à celle entre opérateurs/observateurs est également retrouvée pour les paramètres échocardiographiques mesurés en modes TM et doppler pulsé. Le mode doppler pulsé est celui qui présente la plus grande variabilité inter-opérateur/observateur avec dix paramètres sur trente quatre significativement différents, en particulier pour les mesures obtenues sur le flux veineux pulmonaire. Mais cette variabilité reste moins importante que celle entre observateurs avec dix-neuf paramètres sur trente quatre significativement différents.

Un changement d'observateur est donc une source de variabilité très importante, dans l'idéal la personne qui obtient les images doit effectuer les mesures. De plus dans le cadre d'un suivi il faut éviter de changer d'opérateur/observateur, même pour le remplacer par une personne de même expérience. Enfin, comme pour la répétabilité et la reproductibilité, les paramètres mesurés en mode doppler pulsé présentent une variabilité plus importante que ceux mesurés en mode 2D et TM, avec les coefficients de variation les plus élevés, et de

nombreux paramètres significativement modifiés par un changement d'opérateur/observateur ou d'observateur.

En conclusion, l'échocardiographe est une source de variation pour l'échocardiographie, ceci est particulièrement vrai lorsque les différents échocardiographes ont un niveau d'expérience différent. Cependant, même avec des échocardiographes de même expérience, il existe une variabilité inter-opérateur ; il est donc préférable de garder le même échocardiographe lors du suivi d'un animal. Chez le chien, il a été démontré que la variabilité inter-observateur est une source de variabilité plus importante, plus que celle constatée entre opérateur/observateur. Constatation paradoxale alors que la variabilité due à l'obtention de l'image a été supprimée lors de la comparaison entre observateurs. On peut supposer que cette plus grande variabilité est due au fait qu'il est plus difficile d'effectuer les mesures sur des images obtenues par un autre, peut-être à cause de petites différences de techniques, malgré la standardisation. De plus, les images sont ici statiques, en cas de doute sur la limite entre 2 feuillettes, l'observateur ne peut pas regarder plusieurs mouvements cardiaques, ou optimiser l'image pour bien identifier cette limite. Il est donc possible que l'épaisseur mesurée intègre des structures comme, par exemple, les muscles papillaires, car ils n'ont pas été correctement identifiés. Cependant cette supériorité de la variabilité inter-observateur par rapport à la variabilité inter-opérateur/observateur n'est pas vraie chez l'homme, c'est l'inverse [27]. Il est donc impossible de dire quelle est la variabilité la plus importante chez le chat, aucune étude n'ayant abordé cette question.

## II.2.2. VARIABILITÉ DUE A LA TECHNIQUE UTILISÉE

La technique échocardiographique utilisée est définie à la fois par son mode, 2D, TM, doppler, etc., et par l'incidence, c'est-à-dire à la « coupe » retenue.

Dans leur étude DEMADRON et coll. ont comparés, chez des chats, les résultats obtenus pour les mêmes paramètres mesurés en mode 2D et en mode TM [15]. Ils ont également comparé les résultats obtenus pour les mêmes paramètres sur une coupe 2D « grand axe » et une coupe 2D « petit axe ». Les moyennes des mesures obtenues pour chaque coupe sont comparées deux à deux pour mettre en évidence l'existence d'une corrélation significative ( $p < 0,05$ ) et le niveau de corrélation. Les résultats obtenus pour neuf paramètres obtenus en mode 2D coupe « petit axe » : SIVs, SIVd, VGs, VGd, PPVGs, PPVGd, AG et Ao mesuré à deux niveaux, et six paramètres en mode 2D coupe « grand axe » : SIVs, SIVd, VGs, VGd, PPVGs, PPVGd, sont comparés à ceux obtenus en mode TM. Hormis pour les

épaisseurs des parois mesurés (SIVs et SIVd et PPVGs et PPVGd) il n'y a pas de corrélation ( $r < 0,5$ ) entre les mesures obtenues pour les deux modes. A noter que le mode TM a une tendance à surévaluer les paramètres par rapport au mode 2D. Les autres études comparant les résultats en fonction du mode utilisé ne sont pas unanimes. En effet, les études menées sur des chiens rapportent, une faible corrélation des mesures entre les différents modes [25, 34]. En revanche, une étude plus récente, mais sur la vache, animal très différent du chat, rapporte une bonne corrélation des valeurs obtenues en mode 2D et TM [4].

Dans leur étude DEMADRON et coll. [15] ont comparé, de la même manière, les résultats obtenus pour ces mêmes paramètres sur une coupe 2D « grand axe » et une coupe 2D « petit axe ». Contrairement à la différence du mode utilisé, les mesures obtenues pour ces deux incidences sont significativement corrélées, bien que cette corrélation reste modérée. Seule exception, SIVd et PPVGs ne sont pas corrélés de manière significative. Mais les différences observées entre les deux incidences pour SIVd et PPVGs restent inférieures à la précision du matériel utilisé, soit un millimètre. Les résultats montrent également une tendance à la surévaluation des résultats pour les mesures obtenues en coupe « petit axe » par rapport à celles obtenues en coupe « grand axe ». D'autres études menées chez le chien [34] et même chez la vache [4] observent une faible variabilité des résultats obtenus entre ces deux incidences pour tous ces paramètres.

Il existe en effet une réserve quant à l'interprétation des résultats de l'étude de DEMADRON et coll. [15], il s'agit de la limite technique. En effet, une différence mesurée de moins de un millimètre n'étant pas cliniquement significative, le manque de corrélation entre les deux incidences pour SIVd et PPVGs n'est pas interprétable. Il pourrait donc être intéressant de réévaluer l'influence du mode et de la technique utilisée sur les résultats échocardiographiques chez le chat. En effet le matériel échographique moderne est plus performant que celui utilisé en 1985. Ceci permettrait de réévaluer la variabilité des paramètres en fonction du mode et de l'incidence utilisée.



## **DONNÉES EXPÉRIMENTALES**





## I. INTÉRÊT ET OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Un programme d'étude de la cardiomyopathie hypertrophique (CMH) chez le chat sphinx est en cours de mise en place à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT). Le diagnostic, puis le suivi d'une CMH se font grâce à l'échocardiographie. Dans le cadre d'un diagnostic ou d'un suivi longitudinal, il est indispensable de connaître l'importance des différentes variabilités de la méthode utilisée. Ces informations permettront ensuite d'optimiser le protocole échocardiographique utilisé dans le cadre des études menées à l'ENVT.

L'objectif de cette étude menée sur dix chats est donc de déterminer les valeurs de cette variabilité analytique, chez le chat, dans le cadre spécifique de l'ENVT. Cette étude précisera notamment la valeur de la variabilité intra-essai de ces paramètres lors d'échocardiographies à l'ENVT. De plus elle permettra d'établir la variabilité de certains paramètres en fonction de la méthode utilisée pour les obtenir.

## II. MATÉRIEL ET MÉTHODE

### II.1. ANIMAUX

Cette étude a été menée sur 10 chats appartenant à des particuliers (étudiants ou personnels de l'ENVT), donc huit sont de type européen et deux de race persan. Ce groupe de dix animaux est composé de neuf mâles et d'une femelle, tous stérilisés et adultes (âgé de un à onze ans) avec une moyenne d'âge de trois ans. Ces chats n'ont aucun antécédent connu de maladie cardio-vasculaire ou de maladie grave pouvant modifier les résultats échocardiographiques. Tous les chats ont été jugés sains et indemnes de cardiopathie après un examen clinique et une auscultation cardiaque sans anomalie, réalisés le jour de l'échocardiographie. Enfin, l'électrocardiogramme (ECG) réalisé durant l'échocardiographie, n'a montré aucune anomalie pour tous ces chats. Ces chats domestiques sont habitués à être manipulés par leurs propriétaires, ils ont un caractère calme permettant la réalisation d'un examen échocardiographique long (entre 2h et 2h30 par animal).

## II.2. MATÉRIEL D'ÉCHOGRAPHIE ET ENVIRONNEMENT

Les échocardiographies ont été réalisées avec un échographe SonoAce 800 (Kontron, France) permettant d'enregistrer et de garder en mémoire les nombreuses mesures effectuées. La sonde utilisée est une sonde de type phase array de 5MHz. Un électrocardiogramme est réalisé en même temps, pendant toute la durée de l'examen. Les examens se sont déroulés dans la salle d'échographie de l'ENVT, durant des périodes calmes de la journée, afin de limiter au maximum le stress de l'animal. De plus, quand cela été possible, le propriétaire est resté durant l'examen échocardiographique pour limiter encore ce stress. Un seul opérateur est intervenu dans le cadre de cette étude ; il s'agit d'un enseignant chercheur à l'ENVT, expérimenté en échocardiographie recevant les cas référés de cardiologie au sein des cliniques de l'ENVT.

## II.3. DÉROULEMENT DES EXAMENS ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

Les chats sont maintenus en orthostatisme, pendant toute la durée de l'échocardiographie par un aide, toujours le même, assisté par le propriétaire lorsque celui-ci est présent. Aucune contention chimique n'est utilisée. Les zones de contacts avec la sonde échographique ne sont pas tondues, mais mouillé avec de l'alcool modifié afin de limiter au maximum la présence d'air entre les poils. Une quantité suffisante de gel échographique aqueux est appliquée sur la zone afin de permettre une bonne diffusion du faisceau d'ultrasons.

Les mesures ont été effectuées en « aveugle » : en effet, durant toute la durée de l'examen, la partie de l'écran de l'échographe indiquant la valeur des mesures effectuées est occulté par du sparadrap à la vue des personnes présentes dans la salle, en particulier de l'opérateur. L'ensemble des résultats sont récupérés ultérieurement, ceci afin de ne pas influencer l'opérateur lors de la répétition des mesures.

Les coupes et mesures échocardiographiques ont été réalisées le même jour pour neuf chats, et sur deux jours différents pour l'un d'entre eux qui manifestait des signes d'intolérance. L'examen a été réalisé suivant les recommandations de l'American Society of Echocardiography [37].

L'examen commence par la réalisation des coupes parasternales droites. La sonde est positionnée dans la zone située entre le 3ème et le 6ème espace intercostal ayant comme limite supérieure la jonction chondro-costale et comme limite inférieure le sternum.

La coupe « petit axe transventriculaire » est utilisée pour positionner l'axe de tir TM (cf. figure 2) permettant d'obtenir les mesures de l'épaisseur diastolique et systolique du septum interventriculaire (respectivement SIVd et SIVs), du diamètre interne télédiastolique et télésystolique du ventricule gauche (respectivement VGD et VGs), de l'épaisseur diastolique et systolique de la paroi libre du ventricule gauche (respectivement PPVGd et PPVGs), de la fraction de raccourcissement (FR), et donc de calculer la masse du ventricule gauche (Masse VG).

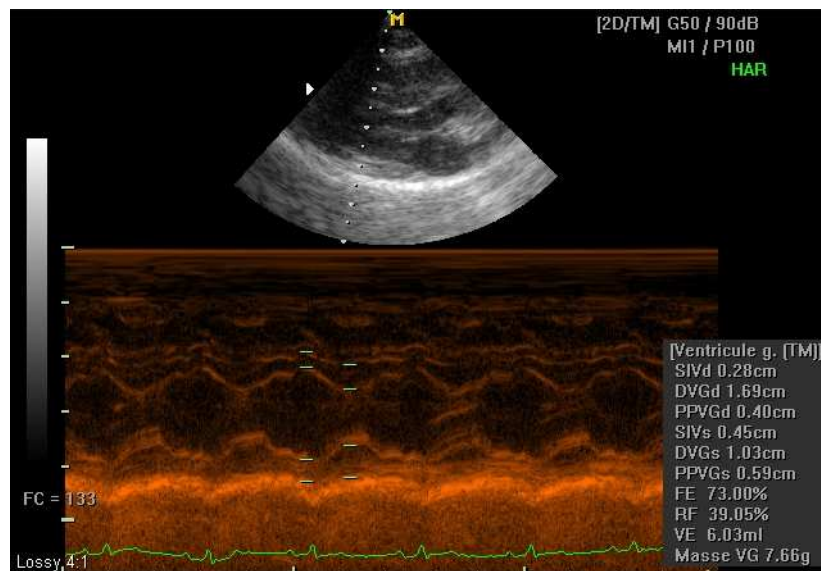


Figure 2 : Echocardiogramme obtenu en mode TM à partir de la coupe « petit axe transventriculaire »

Ces mêmes paramètres sont également mesurés en mode TM à partir de la coupe « grand axe cinq cavités », permettant d'avoir une coupe TM trans-ventriculaire.

La coupe « petit axe transaortique » est ensuite utilisée en mode 2D (cf. figure 3) afin de mesurer le diamètre de l'aorte (Ao) et le diamètre de l'atrium gauche (AG) et d'obtenir le rapport AG/Ao.

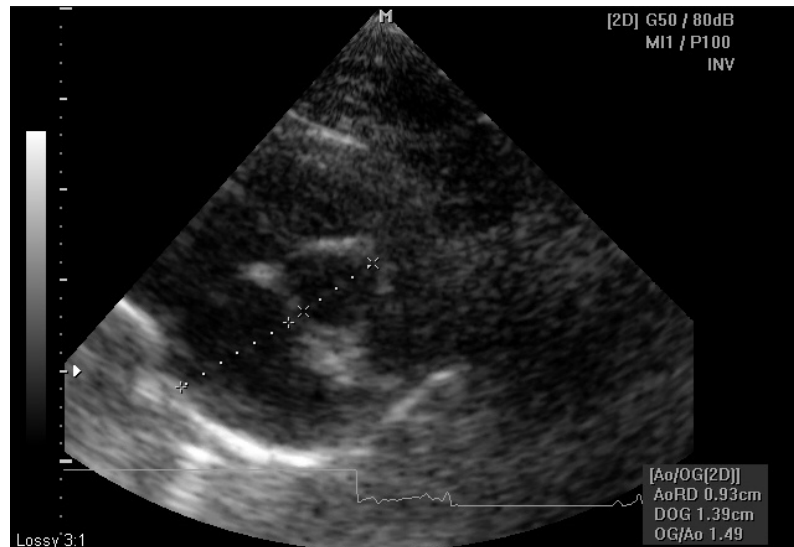


Figure 3 : Echocardiogramme obtenu en mode 2D à partir de la coupe « petit axe transaortique »

Sur la coupe « petit axe transmitrale » le faisceau d’ultrasons en mode TM est ensuite dirigé au milieu de la valve mitrale afin de mesurer la distance entre le point E et le septum interventriculaire (E-S), ainsi que la vitesse du mouvement entre les points D et E (DE) et celle entre les points E et F (EF).

Puis la sonde est déplacée afin d’obtenir la coupe « petit axe transaortique » afin de mesurer le flux pulmonaire en mode doppler pulsé (cf. figure 4). Ce flux est caractérisé par les valeurs de la vitesse maximale du flux (Vmax), la durée entre le début du complexe QRS et le début de l’onde A (Ta).

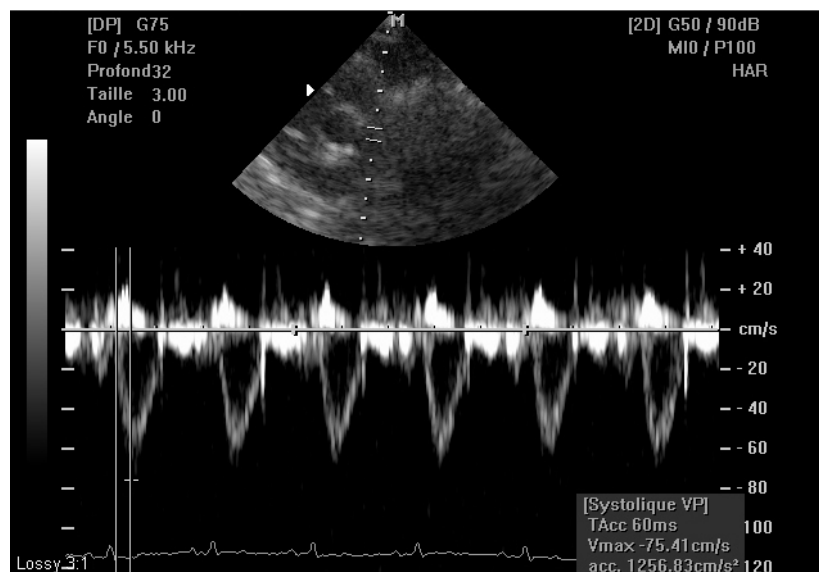


Figure 4 : Echocardiogramme obtenu en mode doppler pulsé à partir de la coupe « petit axe transmitrale»

Cette même coupe est également utilisée, mais en mode 2D (cf. figure 5) afin de mesurer la valeur du diamètre de l'aorte (Ao) et du diamètre du tronc pulmonaire (TP).

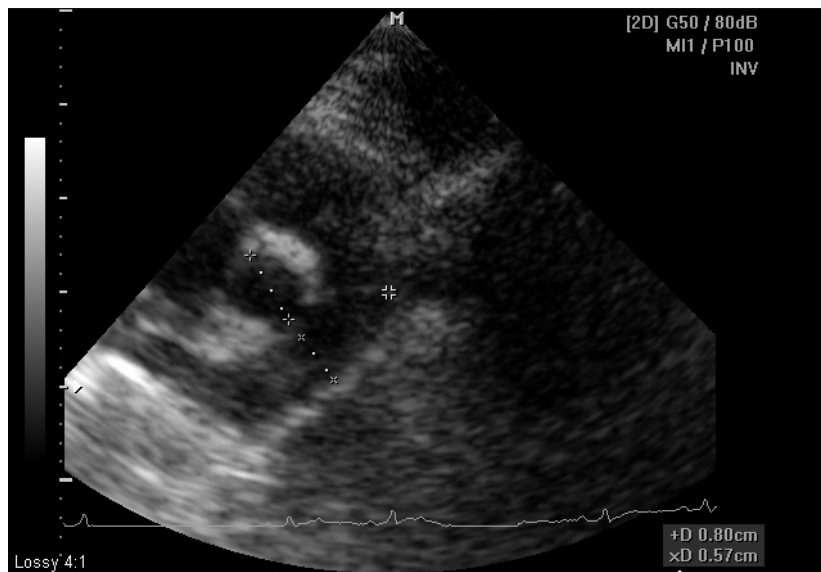


Figure 5 : Echocardiogramme obtenu en mode 2D à partir de la coupe « petit axe transmitrale»

Enfin le mode TM est utilisé, à partir de la coupe « grand axe cinq cavités » (cf.figure 6) afin d'obtenir un TM trans-aortique et de mesurer l'épaisseur du septum des cuspidés (sep cusp), Ao, AG, et d'obtenir le rapport AG/Ao. Toujours sur cette coupe le temps d'éjection systolique (TE) et le temps de pré-éjection systolique (TPE) sont mesurés et le rapport TPE/TE est calculé.

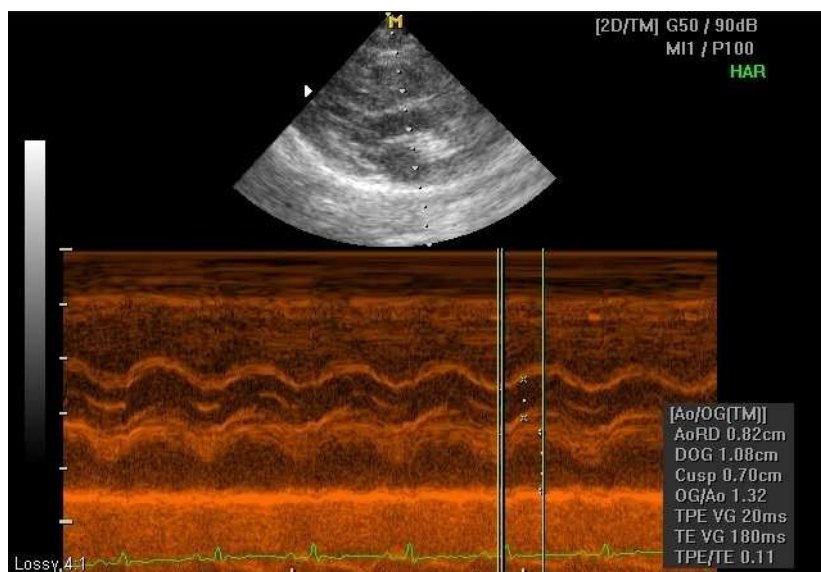


Figure 6 : Echocardiogramme obtenu en mode TM à partir de la coupe « grand axe cinq cavités »

L'animal est ensuite tourné de 180° afin que l'opérateur ait accès au côté gauche de l'animal pour effectuer les coupes parasternales gauches. La sonde est positionnée dans la zone caudale située entre le 5ème et le 7ème espace intercostal, et le plus proche possible du sternum.

La coupe caudale « quatre cavités » est utilisée pour mesurer le flux au travers de la valve mitrale, en mode doppler pulsé, le volume échantillon étant placé à l'extrémité des valvules mitrales (cf. figure 7). Les paramètres mesurés sont alors la vitesse de l'onde E (E), la vitesse de l'onde A (A), le temps de décélération de l'onde E (Td) et le temps de remplissage isovolumique (TRIV).

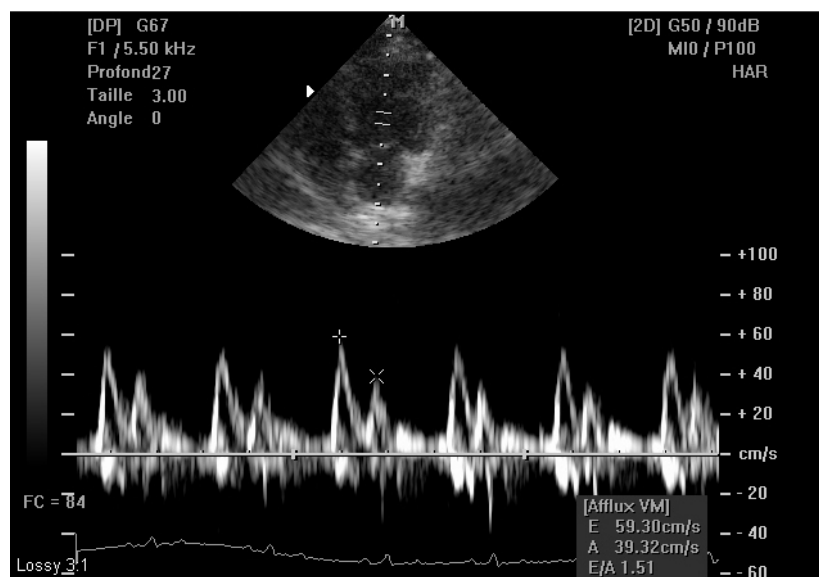


Figure 7 : Echocardiogramme obtenu en mode doppler pulsé à partir de la coupe caudale « quatre cavités»

Le volume du ventricule gauche est ensuite évalué grâce à la méthode de Simpson modifiée. Pour cela on utilise en mode 2D la coupe caudale « quatre cavités » (cf. figure 8) afin de mesurer le volume ventriculaire gauche en télédiastole (Vol 4C d) et en télésystole (Vol 4C s).

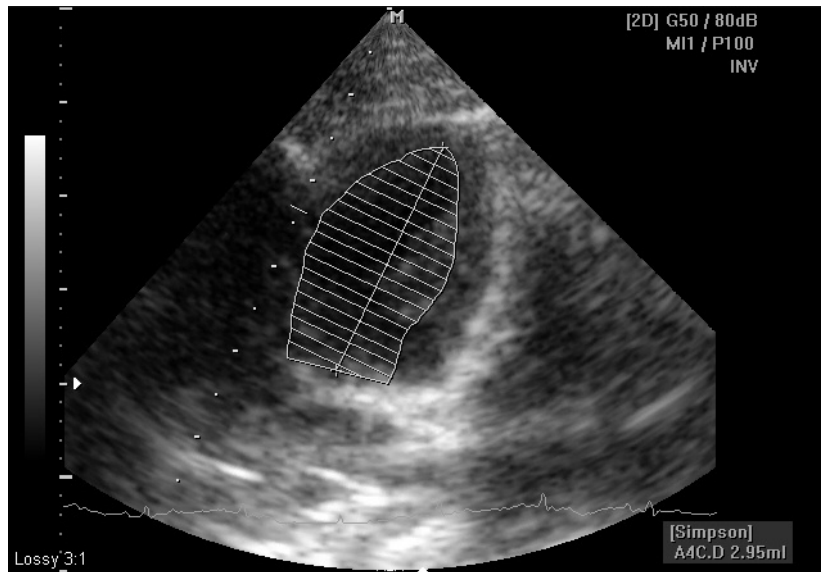


Figure 8 : Echocardiogramme obtenu en mode 2D à partir de la coupe caudale « quatre cavités»

Puis les mêmes mesures sont effectuées, toujours en mode 2D, sur la coupe caudale « deux cavités » en télédiastole (Vol 2C d) et en télésystole (Vol 2C s).

La coupe caudale « cinq cavités » est ensuite utilisée en mode doppler pulsé, pour mesurer le flux au travers de la valve aortique, le volume échantillon étant placé au niveau du point d'ouverture maximal des valvules sigmoïdes (cf. figure 9). La vitesse maximale du flux est mesurée (Vmax), ainsi que la durée entre le début du complexe QRS et le début de l'onde A (Ta), et la durée entre le début du complexe QRS et le début de l'onde E (Te).

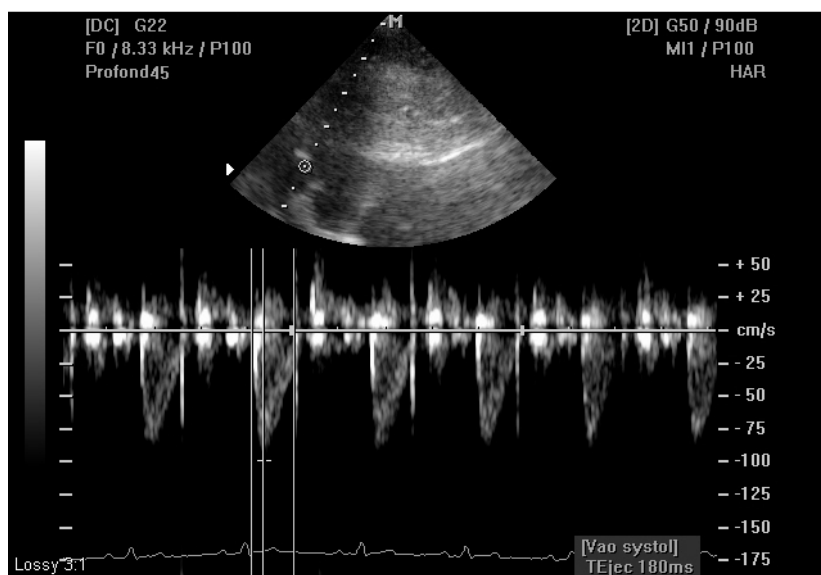


Figure 9 : Echocardiogramme obtenu en mode doppler pulsé à partir de la coupe caudale « cinq cavités»

Enfin la coupe caudale « quatre cavités » est à nouveau utilisée en mode doppler pulsé pour mesurer, cette fois-ci, le flux au travers de la valve tricuspide (cf. figure 10). Le volume échantillon est placé à l'extrémité des valvules tricuspidiennes lorsque leur ouverture est maximale. Les mesures effectuées sont les même que pour celles du flux mitral, c'est-à-dire la vitesse de l'onde E (E), la vitesse de l'onde A (A), et le temps de décélération de l'onde E (Td), car les deux flux ayant le même profil.

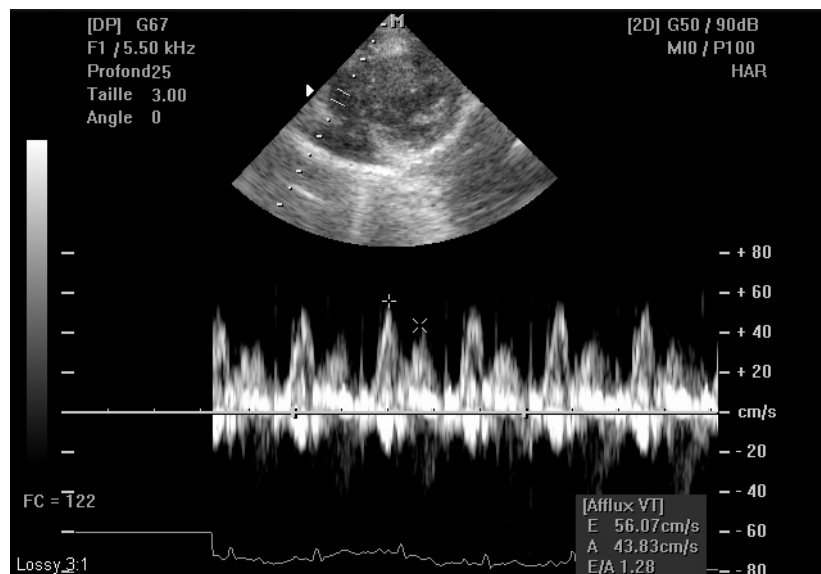


Figure 10 : Echocardiogramme obtenu en mode doppler pulsé à partir de la coupe caudale « quatre cavités »

Les coupes décrites en mode 2D et TM chez le chat sont les coupes standards recommandés dans la littérature [43]. Notons que lorsque l'opérateur veut obtenir un flux en mode doppler pulsé, le positionnement de la sonde échocardiographique se fait selon les recommandations décrites dans la littérature. Cependant, des ajustements de la position de cette sonde sont nécessaires afin d'obtenir la vitesse maximale, et donc d'être le plus parallèle possible au flux. Ces fins ajustements se font par le signal audio, qui doit être le plus fort et le plus net possible, et par l'observation du pic sur le graphique du spectre de vitesse, qui lui, doit être le plus élevé possible. Les différents calculs tel que les rapports AG/Ao ou TPE/TE, et le calcul de la FR, de la masse du ventricule gauche, etc., sont effectués par le logiciel de l'échographe lui-même à partir des mesures obtenues par l'opérateur.



## II.4. ANALYSE STATISTIQUE

Les intervalles de référence sont calculés à partir de l'ensemble des cents mesures obtenues pour chaque paramètre. Pour cela les moyennes, les écart-types et les variances sont calculés afin de pouvoir être comparés par la suite aux données déjà publiées

La répétabilité, qui correspond dans cette étude à la variabilité intra-essai, est évaluée par les moyennes, les écart-types et les variances de chaque paramètre obtenu sur la série des dix mesures effectuées sur chaque chat. L'intervalle des variances de la répétabilité, leur moyenne et leur écart-type sont également rapportés.

Les mesures obtenues lors de l'utilisation des deux incidences, en mode TM, que sont la coupe longitudinale et transversale sont comparées entre elles. Pour cela différentes courbes sont tracés dont la comparaison des valeurs moyennes pour les différents chats, les courbes de corrélation et de biais.

## III. RÉSULTATS

### III.1. MESURES ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

L'intégralité des mesures effectuées sur les dix chats pour chacun des 47 paramètres d'intérêts est consignée en annexe 1 à 10. Les valeurs moyennes, l'écart-type et le coefficient de variation pour chaque paramètre calculés à partir des cent mesures effectuées sont présenté dans le tableau 3.

Tableau 3: Moyenne, écart-type et coefficient de variation de 47 paramètres pour l'ensemble des mesures effectués.

Mode et Incidence utilisés	Paramètres mesurés	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (en %)
Mode TM, coupe « petit axe transventriculaire » ou coupe transversale du ventricule gauche ou TM VG (CT)	SIVd (cm)	0,34	0,05	14,5
	VGd (cm)	1,47	0,16	11,2
	PPVGd (cm)	0,39	0,07	17,4
	SIVs (cm)	0,48	0,07	13,9
	VGs (cm)	0,89	0,15	16,9
	PPVGs (cm)	0,56	0,09	15,8
	FR (%)	40,00	7,00	16,9
	Masse VG (g)	6,82	1,30	19,0
Mode TM, coupe « grand axe 5 cavités » ou coupe longitudinale du ventricule gauche ou TM VG (CL)	SIVd (cm)	0,33	0,05	16,0
	VGd (cm)	1,44	0,14	9,8
	PPVGd (cm)	0,37	0,05	14,3
	SIVs (cm)	0,45	0,06	13,1
	VGs (cm)	0,86	0,13	14,7
	PPVGs (cm)	0,55	0,07	12,8
	FR (%)	40,00	6,00	14,2
	Masse VG (g)	6,32	1,14	18,1
Mode 2D, coupe « petit axe transaortique » ou AG Ao 2D	AG (cm)	1,03	0,13	12,7
	Ao (cm)	0,80	0,10	13,0
	AG/Ao (cm)	1,28	0,15	11,9
Mode TM, coupe « petit axe transmitral » ou TM VM	DE (cm/s)	21,24	6,20	29,2
	EF (cm/s)	10,73	2,79	26,0
	E-S (cm)	0,16	0,04	23,2

Mode doppler pulsé puis 2D, coupe « petit axe transaortique » ou TP	Vmax (m/s)	0,82	0,07	9,0
	Ta (ms)	71	12	16,7
	Ao (cm)	0,80	0,10	12,4
	TP (cm)	0,69	0,09	12,5

Mode TM et doppler pulsé, coupe « grand axe 5 cavités » ou TM Ao	Ao (cm)	0,77	0,12	16,0
	AG (cm)	0,94	0,12	13,2
	sep cusp (cm)	0,65	0,08	12,3
	AG/Ao	1,23	0,20	16,2
	TPE (ms)	26	7	25,0
	TE (ms)	148	24	16,5
	TPE/TE	0,18	0,04	24,1

Mode doppler pulsé, coupe « quatre cavités » ou Flux mitral	E (m/s)	0,75	0,09	11,9
	A (m/s)	0,56	0,08	14,7
	Td (ms)	70	12	16,4
	TRIV (ms)	40	9	21,6

Mode 2D, coupe « quatre cavités » ou Simpson 4 cavités	Vol 4C d (cm <sup>3</sup> )	2,56	0,68	26,5
	Vol 4C s (cm <sup>3</sup> )	0,96	0,35	36,9
Mode 2D, coupe « deux cavités » ou Simpson 2 cavités	Vol 2C d (cm <sup>3</sup> )	2,97	0,91	30,6
	Vol 2C s (cm <sup>3</sup> )	1,14	0,43	37,9

Mode doppler pulsé, coupe « cinq cavités » ou Flux aortique	Vmax (m/s)	1,13	0,12	11,0
	Ta (ms)	44	10	23,8
	Te (ms)	165	14	8,5

Mode doppler pulsé, coupe « quatre cavités » ou Flux tricuspide	E (m/s)	0,60	0,08	13,4
	A (m/s)	0,45	0,08	18,1
	Td (ms)	87	18	21,2

### III.2. ÉVALUATION DE LA RÉPÉTABILITÉ

L'importance de la répétabilité est approché par l'étude de la moyenne, de l'écart-type et du coefficient de variation calculé pour chaque paramètre, pour chaque chat, à partir des dix mesures effectuées (cf. annexes 1 à 10). L'importance de cette répétabilité est caractérisée par la valeur du coefficient de variation. Pour chaque paramètre, la moyenne des coefficients de variation de répétabilité et l'intervalle de leur étendu est rapportée en annexe 11. La moyenne des coefficients de variations de répétabilité est plus ou moins élevée selon les paramètres ; 30 paramètres sur les 47 mesurés ont une variabilité faible avec un  $CV \leq 15\%$ , mais parmi les douze ayant un  $CV \geq 15\%$ , sept ont une forte variabilité avec un coefficient de variation moyen supérieur à 20%. La plage d'étendue de ces coefficients de variation de répétabilité est elle aussi très variable en fonction des paramètres. Ainsi, pour VGd mesuré en coupe « grand axe » le coefficient de variation varie entre 3,7% et 8,2% selon le chat examiné, alors que pour le volume du ventricule gauche en systole, mesuré sur la coupe quatre cavités il varie entre 10,1% et 60,7%.

### III.3. ÉVALUATION DE LA VARIABILITÉ EN FONCTION DE L'INCIDENCE UTILISÉE POUR LA MESURE DES PARAMÈTRES

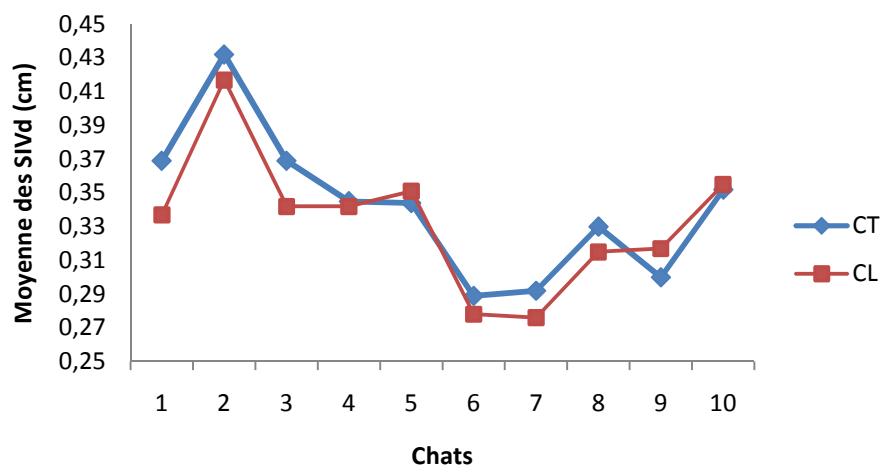
Les résultats échocardiographiques obtenus par l'utilisation de la coupe « petit axe » ou coupe transversale (CT) et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale (CL) en mode TM sont comparés. Les paramètres qui ont été mesurés avec les deux incidences sont au nombre de huit : SIVd, VGd, PPVGd, SIVs, VGs, PPVGs, FR et Masse VG.

Dans un premier temps, l'existence d'une corrélation entre les paramètres mesurés en CL et CT est évaluée par un graphique donnant les valeurs obtenues en CT en fonction de celles obtenues en CL (cf. annexe 12). Ces graphiques permettent d'obtenir pour chaque paramètre la droite de corrélation et la valeur du carré du coefficient de corrélation linéaire ( $R^2$ ). Les mesures effectuées en mode CT et CL sont corrélées positivement avec des valeurs de  $R^2 \geq 0,6$  pour tous les paramètres, sauf pour VGd et Masse VG pour lesquels la corrélation est plus faible (cf. tableau 4).

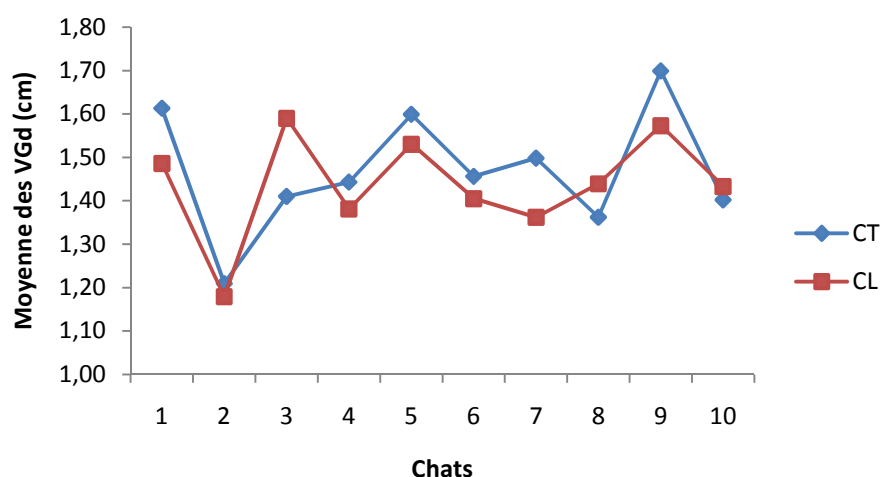
Tableau 4 : Valeurs du coefficient de corrélation linéaire au carré, entre les valeurs obtenues en CT et en CL pour chaque paramètre étudié.

	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
$R^2$	0,86	0,50	0,76	0,70	0,66	0,86	0,62	0,44

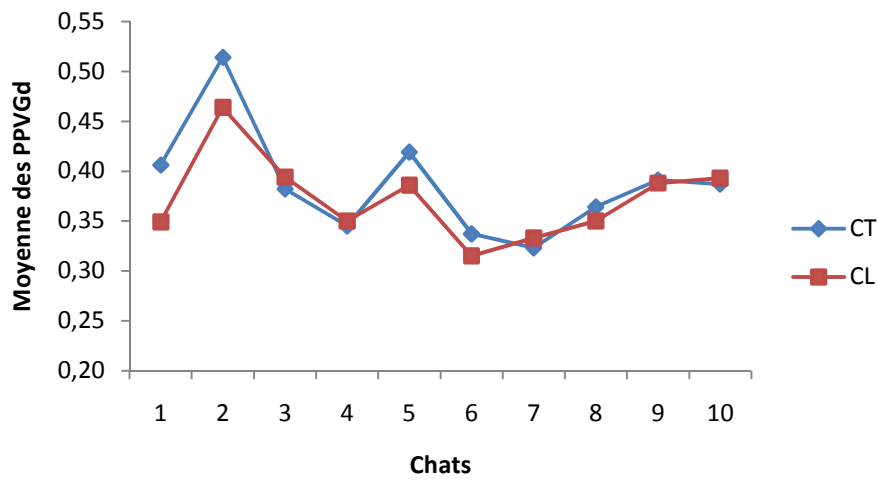
Pour compléter cette comparaison, les graphiques donnant la valeur moyenne de chaque paramètre en fonction du chat examiné sont tracés (cf. graphique 1 à 10). Sur ces graphiques la courbe obtenue pour les mesures effectuées en CL semble en générale inférieure à celle obtenue en CT. En effet les chats pour lesquels les valeurs de CL sont supérieures à celles de CT, sont minoritaires, entre 1 et 5 chats selon le paramètre observé. De plus lorsque les valeurs de CL sont supérieures à celles de CT elles ne le sont que peu, les points du graphique sont très proches, alors qu'au contraire lorsque la valeur de CT est la plus importante la distance entre les points du graphique sont souvent importants.



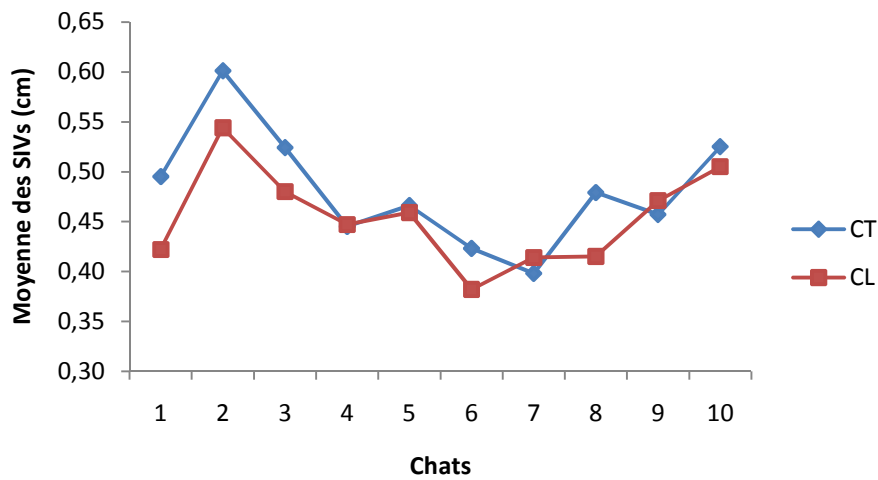
Graphique 1 : Comparaison des valeurs obtenues pour SIVd entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats.



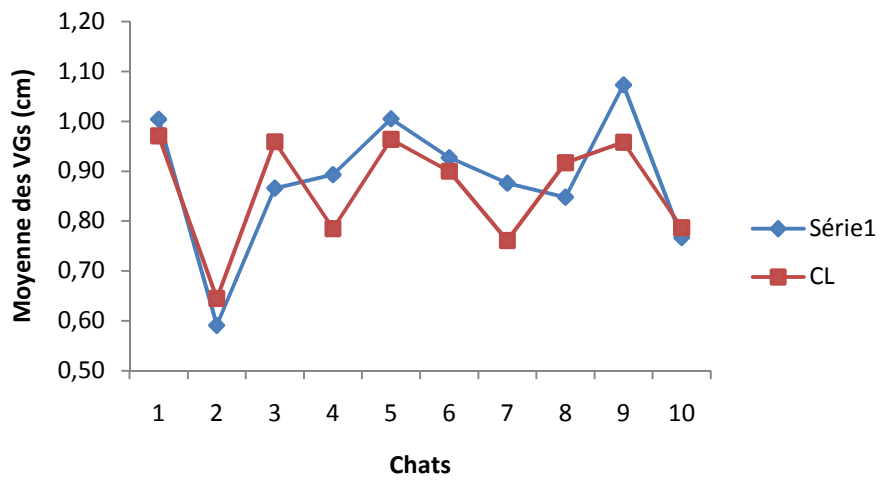
Graphique 2 : Comparaison des valeurs obtenues pour VGd entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats.



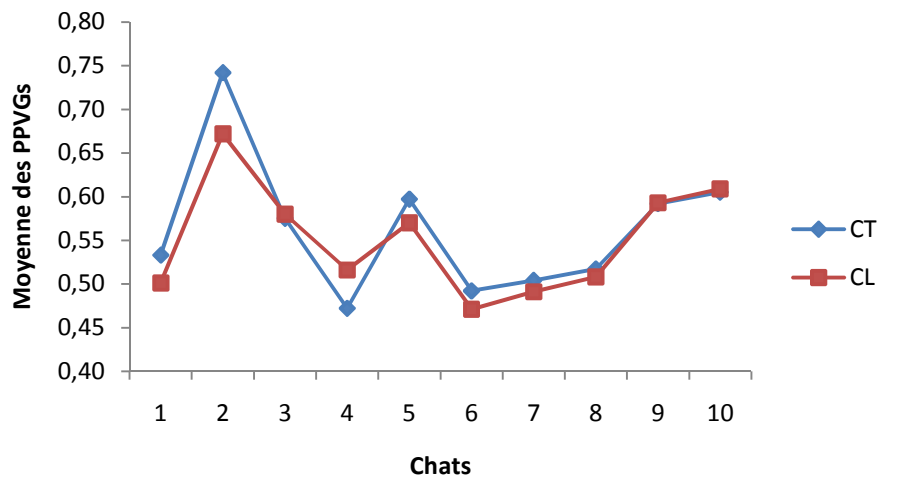
Graphique 3 : Comparaison des valeurs obtenues pour PPVGd entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats.



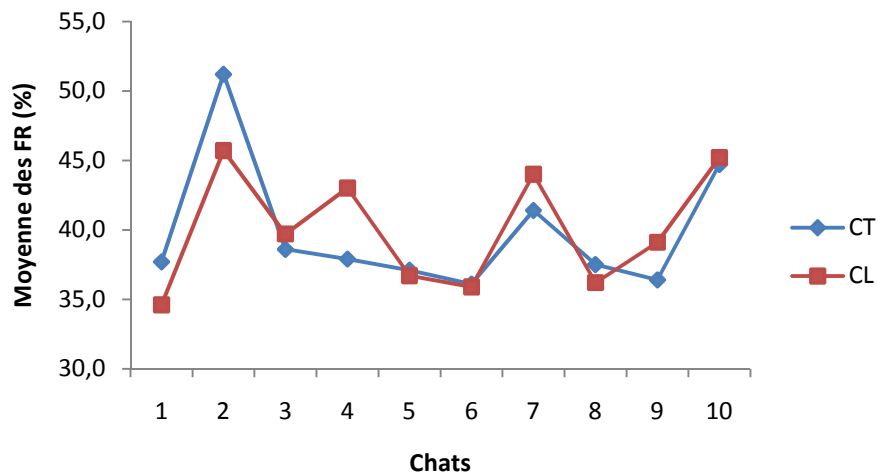
Graphique 4 : Comparaison des valeurs obtenues pour SIVs entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats.



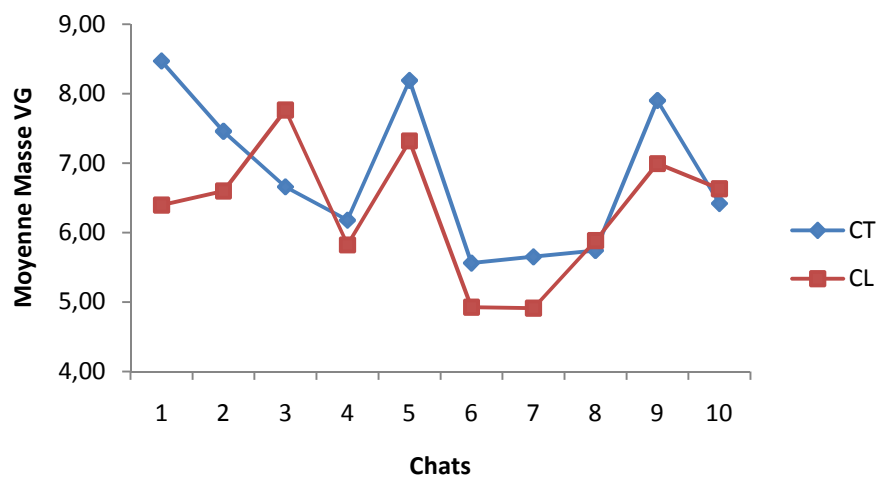
Graphique 5 : Comparaison des valeurs obtenues pour VGs entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats.



Graphique 6 : Comparaison des valeurs obtenues pour PPVGs entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats.



Graphique 7 : Comparaison des valeurs obtenues pour FR entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats.



Graphique 8 : Comparaison des valeurs obtenues pour Masse VG entre les mesures réalisées sur la coupe « petit axe » ou coupe transversale, et la coupe « grand axe » ou coupe longitudinale en mode TM en fonction des chats.

Dans un deuxième temps le graphique de biais entre les deux groupes de valeur est tracé. La droite obtenue est la linéarisation du biais (droite type  $y=ax+b$ ), c'est-à-dire de la différence des valeurs moyennes entre les 2 incidences (CL-CT) en fonction de la moyenne du paramètre mesurée ( $(CT+CL)/2$ ). Ces courbes de biais sont, elles, consignées en annexe 13. Pour tous les paramètres observés la courbe de biais présente une pente négative, plus ou moins importante.



## IV. DISCUSSION

### IV.1. MESURES ÉCHOCARDIOGRAPHIQUES

L'objectif de cette étude était de déterminer la variabilité analytique de l'échocardiographie réalisée dans le cadre de l'ENVT. Cependant la reproductibilité n'a pas pu être étudiée. En effet la réalisation des dix mesures pour chaque paramètre étudié a nécessité un examen d'une durée de 2 à 2h30 pour chacun des dix chats. Il était, dès lors, impossible pour des raisons pratiques d'effectuer des échocardiographies sur deux ou trois chats, voir plus, sur plusieurs jours, pour accéder aux valeurs de la reproductibilité. La reproductibilité de l'échocardiographie à l'ENVT sera étudiée, plus tard, dans un autre travail. Cette étude a, en revanche, permis d'obtenir une approche de la répétabilité sous la forme d'une variabilité intra-essai et la variabilité inter-incidence de nombreux paramètres en mode 2D, TM, mais également en mode doppler pulsé.

Les examens échocardiographiques ont été réalisés dans la salle d'échographie des cliniques de l'ENVT, ceci afin de se placer dans les conditions les plus réalistes possibles. De plus, un protocole strict a été mis en place afin de limiter au maximum les variations des résultats causés par les facteurs liés à l'animal et à son environnement (cf. partie I, chapitre I.). Un échocardiographe expérimenté a réalisé tous les examens, avec un total de cent mesures réalisées pour chaque paramètre. Bien que ce nombre de mesures soit important, il n'a été réalisé que sur dix chats ; il est donc impossible d'établir les valeurs usuelles à l'ENVT, en revanche un intervalle de confiance a pu être déterminé. Une partie des valeurs obtenues dans notre étude est comparée aux valeurs publiées dans d'autres études sur des chats sains non anesthésiés (cf. tableaux 5 et 6). Notons que les études de DEMADRON et coll. [15] et MOISE et coll. [30] ne portent, elles aussi, que sur un nombre restreint d'individus, respectivement 7 et 11 chats, alors que les autres études [16, 23, 39] portent sur un grand nombre de chat, de 20 à 87.

Tableau 5 : Valeurs (Moyenne  $\pm$  Ecart-type) de références et valeurs obtenues dans notre étude lors d'échocardiographies en mode 2D et TM, sur des chats sains non anesthésiés.

Paramètres	Moyenne $\pm$ Ecart-type			
	Etude à l'ENVT	JACOBS et coll. [23]	DEMADRON et coll. [15]	MOISE et coll. [30]
Nombre de chat	10	30	7	11
SIVd (cm)	0,34 $\pm$ 0,05	0,31 $\pm$ 0,04	0,37 $\pm$ 0,05	0,50 $\pm$ 0,07
VGd (cm)	1,47 $\pm$ 0,16	1,59 $\pm$ 0,19	1,36 $\pm$ 0,13	1,51 $\pm$ 0,21
PPVGd (cm)	0,39 $\pm$ 0,07	0,33 $\pm$ 0,06	0,36 $\pm$ 0,05	0,46 $\pm$ 0,05
SIVs (cm)	0,48 $\pm$ 0,07	0,58 $\pm$ 0,06	0,64 $\pm$ 0,05	0,76 $\pm$ 0,12
VGs (cm)	0,89 $\pm$ 0,15	0,80 $\pm$ 0,14	0,86 $\pm$ 0,10	0,69 $\pm$ 0,22
PPVGs (cm)	0,56 $\pm$ 0,09	0,68 $\pm$ 0,07	0,56 $\pm$ 0,05	0,78 $\pm$ 0,10
Ao (cm)	0,80 $\pm$ 0,10	0,95 $\pm$ 0,11	*	0,96 $\pm$ 0,15
AG (cm)	1,03 $\pm$ 0,13	1,23 $\pm$ 0,14	1,21 $\pm$ 0,10	1,21 $\pm$ 0,18
AG/Ao	1,28 $\pm$ 0,15	1,30 $\pm$ 0,17	*	1,29 $\pm$ 0,23
FR (%)	40 $\pm$ 7	49,8 $\pm$ 5,27	40 $\pm$ 8	55 $\pm$ 10,2
TE (ms)	148 $\pm$ 24	140 $\pm$ 20	*	*

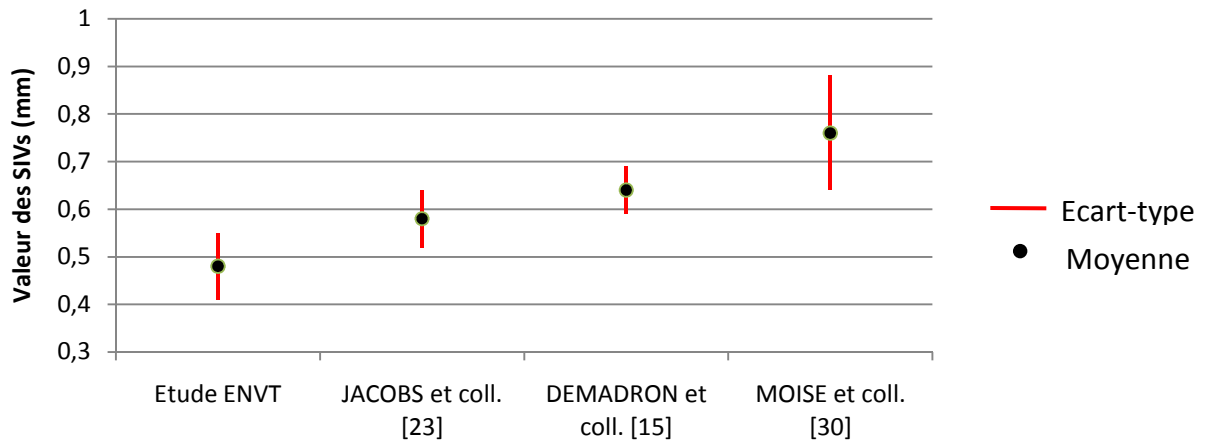
\* : Donnée non disponible

Tableau 6 : Valeurs (Moyenne  $\pm$  Ecart-type) de références et valeurs obtenues dans notre étude lors d'échocardiographies en mode doppler pulsé, sur des chats sains non anesthésiés.

Paramètres mesurés	Moyenne $\pm$ Ecart-type			
	Etude à l'ENVT	JACOBS et coll. [23]	SANTILLI et coll. [39]	DISATIAN et coll. [16]
E transmitral (m/s)	0,75 $\pm$ 0,09	*	0,70 $\pm$ 0,14	0,67 $\pm$ 0,13
A transmitral (m/s)	0,56 $\pm$ 0,08	*	0,65 $\pm$ 0,14	0,59 $\pm$ 0,14
TRIV (ms)	40 $\pm$ 9	*	46,2 $\pm$ 7,6	55,40 $\pm$ 13,24
Td (ms)	70 $\pm$ 12	*	*	59,90 $\pm$ 14,07
DE (cm/s)	21,24 $\pm$ 6,20	23,3 $\pm$ 7,74	*	*
EF (cm/s)	10,73 $\pm$ 2,79	8,7 $\pm$ 2,6	*	*

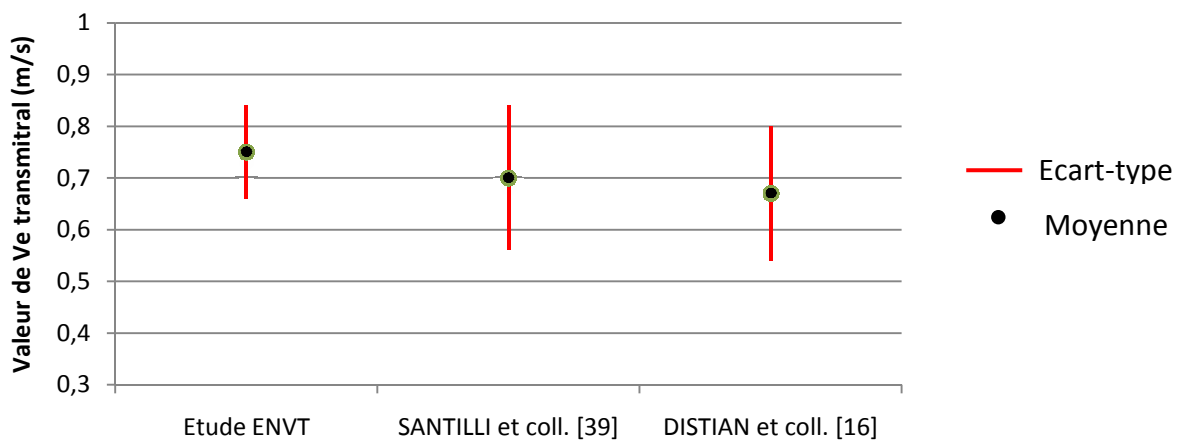
\* : Donnée non disponible

En mode 2D et TM, tous les paramètres sont semblables aux valeurs déjà publiées, sauf SIVs, Ao et AG qui sont inférieurs. En effet, pour ces paramètres, les moyennes mesurées dans notre étude sont inférieures aux valeurs rapportées dans la littérature. De plus les intervalles de valeurs (moyenne  $\pm$  écart-type) ne se chevauchent pas ou très peu (cf. graphique 9).



Graphique 9 : Moyenne  $\pm$  écart-type de SIVs mesurés dans notre étude, et dans les différentes études de références.

En revanche, en mode doppler, les intervalles de confiance obtenus dans cette étude sont proches des intervalles de référence retrouvés dans la littérature. L'absence de différences nettes pour les valeurs obtenues en mode doppler pulsé entre cette étude et les précédentes peut, en partie, être expliquée par l'existence d'une plus grande variabilité de ces paramètres. En effet, les intervalles de valeurs, plus étendus, se superposent plus facilement (cf. graphique 10).



Graphique 10 : Moyenne  $\pm$  écart-type de Ve transmitral mesurée dans notre étude, et dans les différentes études de références.

En revanche l'obtention de valeurs inférieures pour les paramètres SIVs, Ao et AG ne trouve pas d'explication univoque. La valeur des écart-types de ces paramètres est comparable entre les différentes études, c'est donc l'ensemble des valeurs qui est inférieur dans notre étude par rapport aux données déjà publiées. La variabilité inter-opérateur est probablement l'une des sources principale de cette différence.

## IV.2. LA RÉPÉTABILITÉ

La répétabilité est évaluée à partir de la différence entre plusieurs mesures effectuées à la suite, c'est-à-dire, le même jour, sur le même chat, par le même opérateur, mais sur des cycles cardiaques non consécutifs. Cette répétabilité correspond aux erreurs de mesures dues à la technique utilisée, c'est-à-dire à la variabilité analytique de l'échocardiographie, mais également à la variabilité biologique chez le chat entre deux mesures, bien que cette dernière soit minimale. En effet, dans notre étude, il n'existe qu'une faible variabilité biologique puisqu'il s'agit de la variabilité intra-essai, donc sur le même individu, et que les mesures sont effectuées le même jour, dans un intervalle de temps court. Cependant, entre deux mesures rapprochées, le chat peut quand même avoir des variations de sa fréquence cardiaque.

Dans notre étude, les coefficients de variation de répétabilité montrent une faible variabilité pour 30 paramètres ( $CV \leq 15\%$ ), une variabilité moyenne pour 5 ( $15\% \leq CV < 20\%$ ) et une variabilité élevée pour 7 paramètres ( $CV \geq 20\%$ ). Les paramètres ayant un coefficient de variation de répétabilité moyen  $\geq 15\%$  sont : toutes les mesures évaluant les mouvements de la valvule mitrale en mode TM (E-S, DE et EF), Ta du flux trans-pulmonaire, le TPE, et donc le rapport TPE/TE, TRIV calculé à partir du flux trans-mitral, les mesures du volume du ventricule gauche par la technique de SIMPSON, Ta du flux trans-aortique et Td du flux trans-tricuspidien. La mesure des mouvements de la valve mitrale présente une variabilité importante sans qu'il y ait d'explication évidente. De la même manière la mesure du volume du ventricule gauche est variable, cela s'explique par la difficulté à obtenir la limite précise entre la cavité et le septum. Enfin les derniers paramètres qui présentent une variabilité importante sont des durées mesurées en mode doppler. Or la mesure de ces durées nécessite d'estimer le début et/ou la fin d'un flux sur le graphique du spectre obtenu, ce qui reste subjectif et nécessite parfois l'extrapolation de l'extrémité du graphique.

Il est possible de comparer les valeurs du coefficient de variation de répétabilité obtenues dans notre étude à celles déjà obtenues chez le chat pour un nombre réduit de paramètre (cf. tableau 7). En effet, aucune étude n'avait encore évalué la répétabilité de l'échocardiographie chez le chat pour un grand nombre de paramètre, en particulier en mode doppler pulsé.

Tableau 7 : Valeurs des coefficients de variabilité de répétabilité de notre étude et des coefficients de variation de répétabilité rapportés dans la littérature, lors d'échocardiographies sur des chats sains non anesthésiés.

Paramètre en mode 2D et TM	Coefficient de variation (%)	
	CV de répétabilité à l'ENVT	CV de répétabilité chez ATHANASSIADIS [5]
SIVd (cm)	8,0	9,7
VGd (cm)	6,4	6,9
PPVGd (cm)	11,3	13,2
SIVs (cm)	8,0	14,6
VGs (cm)	8,7	11,7
PPVGs (cm)	8,7	6,9
Ao (cm)	5,8	8,5
AG (cm)	5,5	10,3

Les coefficients de variation de répétabilité obtenus dans notre étude sont inférieurs à ceux obtenus précédemment par ATHANASSIADIS [5] pour sept paramètres sur huit. Le seul paramètre qui présente un coefficient de variation plus élevé dans notre étude est PPVGs. Cependant PPVGs conserve une bonne répétabilité dans notre étude, son coefficient de répétabilité étant faible, inférieur à 10%. L'origine des différences de valeurs des coefficients de répétabilité n'est pas évidente. Cependant notre étude évalue la répétabilité comme la variabilité intra-essai, c'est-à-dire sur un seul animal, contrairement à l'étude d'ATHANASSIADIS [5] qui observe les résultats obtenus le même jour, mais sur quatre chats différents. La répétabilité telle qu'elle est calculée ici permet donc de s'affranchir de la variabilité inter-individu. La variabilité biologique est donc réduite à son minimum dans notre étude, ce qui peut expliquer ces très bons résultats de répétabilité. De plus, le nombre de mesures par paramètres est élevé.

La moyenne des coefficients de variation de répétabilité cache pour certains paramètres une grande variation de ces coefficients entre les différents individus examinés. En effet, lorsqu'on s'intéresse à l'intervalle de répartition de ces coefficients de variation de

répétabilité, une grande disparité est observée, pour certains paramètres, entre les différents chats, c'est-à-dire entre les essais. Ainsi, pour VGd mesuré en coupe « grand axe » le coefficient de variation varie entre 3,7% et 8,2% selon le chat examiné, soit une différence de 4,5%, alors que pour le volume du ventricule gauche en systole mesuré sur la coupe quatre cavités il varie entre 10,1% et 60,7%, soit une différence de 50,6%. Mais les écarts-types de ces coefficients de variabilité de répétabilité sont faibles, inférieurs à 8%, hormis pour le volume du ventricule gauche en systole mesuré sur la coupe quatre cavités. Lorsque la plage d'étendue des coefficients de variabilité intra-essai est importante, c'est généralement dû à un voire deux chats, pour lesquels la variabilité intra-essai est importante. Ces mauvais résultats, ponctuels pour un chat peuvent s'expliquer par une variabilité intra-individu importante au moment de la prise de mesure de ce paramètre. Cette variabilité peut être due, par exemple à un stress brutal du chat causé par un élément extérieur, ou à une agitation soudaine du chat due à une difficulté à supporter la contention prolongée, etc. Lors de l'examen échocardiographique il peut donc s'avérer nécessaire de faire des pauses si on voit le chat présenter des signes de stress ou d'agitation brutaux. Une telle pause permettra au chat de se calmer, et donc de limiter la variation de ses paramètres physiologiques entraînant une modification des résultats échocardiographiques, en particulier la fréquence cardiaque. Elle permettra également à l'opérateur de continuer l'examen sur un chat plus tranquille, et donc de diminuer la variabilité analytique en facilitant l'obtention des images échocardiographiques.

L'intérêt de connaître cette répétabilité est d'estimer le nombre de mesures nécessaires pour chaque paramètre afin d'obtenir une valeur moyenne du paramètre qui reflète au mieux la réalité. En effet lorsque le coefficient de variation de répétabilité est important cela signifie qu'il peut y avoir des différences de valeur importantes entre deux mesures effectuées à la suite. Par exemple la valeur du volume du ventricule gauche en systole varie en moyenne de 23%, mais peut aller jusqu'à 60% pour certains animaux. Il est donc évident qu'une mesure unique est insuffisante pour obtenir une valeur fiable, la moyenne de plusieurs mesures donne une meilleure approximation de la réalité. Donc dans le cas d'une prise de mesure unique, lorsque le coefficient de variation de répétabilité est élevé, le résultat, erroné peut fausser le diagnostic. Lors d'une échocardiographie il faut dans tous les cas effectuer la moyenne de plusieurs mesures, généralement deux à trois, le coefficient de variation intra-essai n'étant jamais nul. Dans le cas des paramètres pour lesquels la variabilité intra-essai est importante ( $CV \geq 15\%$ ), un nombre de mesure plus important doit être effectué.

La connaissance du coefficient de variation de répétabilité permet également d'accéder à un paramètre important, la différence critique. En effet lors du suivi d'un patient atteint d'une cardiopathie, l'échocardiographie a pour objectif d'évaluer si le chat présente une amélioration ou au contraire une évolution négative de son affection. Pour cela l'échocardiographe va comparer la valeur des paramètres d'intérêts, obtenue lors de l'examen réalisé avec celle obtenue lors de l'examen précédent. Les deux valeurs, nommées  $V_1$  et  $V_2$ , sont considérées comme différentes, si et seulement si, ces deux valeurs n'appartiennent pas à l'intervalle :

$$\text{Moyenne } (V_1, V_2) \pm 2,77 \times \text{CV du paramètre} \times \text{Valeur absolue de la Moyenne } (V_1, V_2)$$

L'obtention de la valeur critique nécessite donc de connaître le coefficient de variation de répétabilité du paramètre, noté CV du paramètre. Dans l'idéal, lors d'un suivi, il faut comparer les deux valeurs en utilisant le coefficient de variation de reproductibilité. En effet, les deux valeurs obtenues lors d'un suivi sont acquises à des jours différents. Cependant notre étude n'ayant évalué que la répétabilité des paramètres mesurés, seul le coefficient de variation de répétabilité est connu dans le cadre des échocardiographies à l'ENVT. L'utilisation du coefficient de variation de répétabilité au lieu du coefficient de variation de reproductibilité peut induire une tendance à sous-évaluer la différence critique. En effet la répétabilité est meilleure que la reproductibilité et donc le coefficient de variation de répétabilité est plus faible que le coefficient de variation de reproductibilité [10]. La connaissance de cette différence critique est très importante pour le suivi des chats atteints de cardiomyopathie hypertrophique. En effet, le suivi des chats malades consiste à observer l'évolution de plusieurs paramètres échocardiographiques, en particulier les épaisseurs des parois et la taille des cavités, pour évaluer l'efficacité d'un traitement. La connaissance des coefficients de variation de répétabilité à l'ENVT et, dans un deuxième temps, de reproductibilité, est indispensable pour l'étude de la cardiomyopathie hypertrophique chez le chat sphynx.

#### IV.3. ÉVALUATION DE LA VARIABILITÉ EN FONCTION DE L'INCIDENCE UTILISÉE

Les valeurs moyennes mesurées en CT et en CL sont corrélées positivement de manière forte pour SIVd, PPVGd, SIVs, VGs, PPVGs et FR avec  $R^2 \geq 0,7$ , de manière plus modérée pour VGd, avec  $R^2 = 0,5$  et faiblement pour Masse VG, pour lequel  $R^2 = 0,44$ . L'existence d'une corrélation positive entre les paramètres mesurés en CT et CL est retrouvée dans les études comparant les résultats en fonction de l'incidence utilisée. Chez le chien les valeurs de SIV, VG et PPVG en systole et en diastole mesurées en CT sont fortement

corrélées avec les valeurs de ces mêmes paramètres mesurés en CL, le coefficient de corrélation étant compris entre 0,74 et 0,95 [34]. Cependant, selon les études certains paramètres ont une corrélation qui n'est pas significative. Ainsi, chez la vache, les seuls paramètres qui ne sont pas corrélés entre les deux incidences sont le pourcentage d'épaississement de la paroi postérieure du ventricule gauche (%PPVG) et le rapport SIV/PPVG [4]. Ces paramètres, obtenus par calcul, n'ont pas été observés dans notre étude. En revanche les autres paramètres mesurés sur la vache sont corrélés positivement entre la CT et la CL, en particulier SIVd, VGd, PPVGd, SIVs, VGs, PPVGs et FR, ce qui est en accord avec notre étude. Enfin, la seule étude qui observe l'existence d'une telle corrélation chez le chat, conclue à une corrélation significative entre les mesures des deux incidences pour VGd, PPVGd, SIVs, VGs et FR [15]. En revanche la corrélation n'est pas significative pour SIVd et PPVGs. Cependant, la différence entre les moyennes mesurées en CT et en CL pour ces deux paramètres est de 0,3mm pour SIVd et 0,4mm pour PPVGs. Or selon les conclusions même des auteurs, au vu des limitations techniques, une différence de mesure de moins de un millimètre n'est probablement pas significative d'un point de vue clinique. L'absence de corrélation entre les mesures effectuées en CT et en CL pour SIVd et PPVGs ne peut donc pas être confirmée. La corrélation positive trouvée dans notre étude entre les mesures effectuées en CT et CL est donc en accord avec les résultats déjà publiés chez les autres animaux. Elle est également en partie en accord avec la seule étude menée chez le chat, pour laquelle seuls cinq paramètres sur sept sont corrélés significativement avec certitude, entre les deux incidences.

Les graphiques donnant la valeur prise en moyenne par chaque paramètre en fonction du chat examiné, suggèrent une tendance pour tous les paramètres à des valeurs inférieures mesurés en CL par rapport à CT. Mais ces constatations sont des impressions graphiques. Ce sont les droites de biais qui confirment l'existence d'une sous estimation des valeurs mesurées en CL par rapport à celles mesurées en CT dans notre étude. Pour tous les paramètres la droite de biais possède une pente, négative, dont la valeur est comprise entre  $-0,15$  et  $-0,21$ , sauf pour le paramètre SIVd pour lequel  $a=-0,07$ . Le non parallélisme des courbes avec l'axe des abscisses (pente nulle) confirme l'existence d'une différence entre les valeurs obtenues en CL et CT. De plus la pente, négative, de ces courbes indique que les valeurs moyennes obtenues en CL sont inférieures à celles obtenus en CT puisque l'axe des ordonnées représente la différence CL-CT. Cette sous estimation des valeurs obtenues en CL par rapport à celles obtenues en CT est donc présente pour tous les paramètres mesurés (SIVs, VGs, PPVGs, SIVd, VGd, PPVGd, FR et Masse VG), mais avec une plus faible importance pour SIVs. SIVd présente la plus forte corrélation des résultats entre les deux incidences et une sous-estimation des valeurs en CL moindre que pour les autres paramètres. Malgré ces bons résultats, comme pour les autres paramètres, les valeurs obtenues avec différentes



incidences ne sont pas interchangeables. Cette conclusion est en accord avec les autres études menées chez le chat [15] et chez le chien [34] qui rapportent également une tendance à la surestimation des résultats obtenus en CT par rapport à CL.

La sous-estimation notable des valeurs obtenues en CL par rapport à la CT prouve que l'incidence utilisée pour mesurer un paramètre influence le résultat. Cette différence peut avoir des conséquences importantes lors du diagnostic de CMH. En effet, il existe pour certains paramètres d'intérêts, lors du diagnostic de CMH, des valeurs seuils au-delà desquelles l'animal est considéré comme atteint. Parmi les paramètres les plus importants pour ce diagnostic on trouve, par exemple, PPVGd avec une valeur seuil de diagnostic de six millimètres. Or il existe pour ce paramètre un biais non négligeable, avec une pente de courbe de biais de -0,15. Lors de l'obtention d'une valeur limite, il est alors important de connaître l'incidence utilisée. En effet, si lors d'une mesure en CL PPVGd vaut 5,9mm le diagnostic sera négatif, mais le même paramètre mesuré en CT donnant en moyenne des valeurs plus élevées le diagnostic effectué avec cette incidence peut alors être positif. Il est donc important de bien préciser l'incidence utilisée lors de la mesure d'un paramètre dans le cadre d'un diagnostic. Dans tous les cas, lorsqu'une valeur limite est obtenue pour un paramètre, c'est l'ensemble des mesures effectuées qui doit être analysé pour établir le diagnostic de CMH. En cas d'incertitude persistante malgré la confrontation des résultats au biais existant, une seconde échocardiographie devra être réalisée plus tard pour confirmer le diagnostic. En effet, l'établissement d'un diagnostic de CMH a de nombreuses conséquences pour l'animal, en particulier pour les chats de race comme le sphynx, puisqu'un animal malade est exclu de la reproduction.

Pour mener l'étude concernant la CMH chez le chat sphynx à l'ENVT, un diagnostic de certitude est indispensable. C'est pourquoi il était nécessaire d'évaluer au préalable la variabilité de l'échocardiographie avec le protocole utilisé à l'ENVT. Le diagnostic de CMH pourra donc être établi à partir des valeurs usuelles déjà publiées dans la littérature, mais en pondérant les résultats en fonction de la variabilité existante lors d'échocardiographies à l'ENVT.



## **CONCLUSION**



La connaissance de la variabilité de l'échocardiographie est indispensable aussi bien pour le diagnostic que pour le suivi d'une affection cardiaque. En effet chaque équipe effectue ses échocardiographies dans des conditions qui lui sont propres. Il convient donc de limiter au maximum les sources de variations des résultats en déterminant un protocole échocardiographique précis. Cependant, il est impossible d'éliminer complètement toutes les sources de variation, en particulier les variations biologiques, il est donc important de les connaître, afin de pouvoir évaluer leurs influences sur les paramètres mesurés. De la même manière la variabilité analytique, liée à l'examen lui-même, ne peut être contrôlée. Chaque équipe doit donc évaluer l'importance de cette variabilité afin de pouvoir comparer ses résultats entre-eux ou avec les valeurs déjà publiées.

Dans le cas des échocardiographies réalisées chez le chat à l'ENVT, les valeurs de références observées sont semblables aux valeurs usuelles publiées chez le chat sain. La répétabilité constatée est bonne. La connaissance des coefficients de variation de répétabilité permet d'interpréter les résultats obtenus en tenant compte de l'ordre de grandeur de leur variabilité. La répétabilité est surtout importante à connaître pour comparer deux valeurs obtenues, et donc éviter les conclusions trop hâtives concernant l'existence, ou l'évolution d'une affection cardiaque. Une prudence toute particulière devra également être portée concernant l'incidence utilisée pour l'obtention des mesures. En effet, les mesures effectuées en coupe longitudinale sont sous-estimées par rapport à celles effectuées en coupe transversale. Les résultats doivent donc être pondérés en fonction de l'incidence utilisée, en particulier lors de valeurs limites, ceci afin d'éviter un diagnostic erroné.

**AGREMENT ADMINISTRATIF**


Je soussigné, A. MILON, Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, certifie que  
**Melle Alexia, Fabienne MULLER**  
a été admis(e) sur concours en : 2003  
a obtenu son certificat de fin de scolarité le : 11/07/2008 ALFORT  
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.


**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

Je soussignée, Armelle DIQUELOU, Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,  
autorise la soutenance de la thèse de :  
**Melle Alexia, Fabienne MULLER**

intitulée :

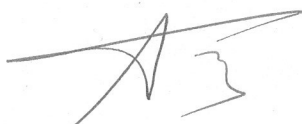
« Variabilité de l'échocardiographie chez le chat à l'ENVT. »

  
Le Professeur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Docteur Armelle DIQUELOU

  
Vu :  
Le Directeur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Professeur Alain MILON



Vu :  
Le Président de la thèse :  
Professeur Jean-Marie FAUVEL



Vu le : 10/06/09  
Le Président  
de l'Université Paul Sabatier  
Professeur Gilles FOURTANIER



## **BIBLIOGRAPHIE**





1. ABBOTT JA. Heart rate and heart rate variability of healthy cats in home and hospital environments. *J. Fel. Med. Surg.*, 2005, 7(3), 195-202.
2. ALLEN DG. Echocardiographic study of the anesthetized cat. *Can. J. Comp. Med.*, 1982, **46**(2), 115-122.
3. ALLEN DG, DOWNEY RS. Echocardiographic assessment of cats anesthetized with xylazine-sodium pentobarbital. *Can. J. Comp. Med.*, 1983, **47**(3), 281-283.
4. AMORY H, JAKOVLJEVIC S, LEKEUX P. Quantitative M-mode and two-dimensional echocardiography in calves. *Vet. Rec.*, 1991, **128**(2), 25-31.
5. ATHANASSIADIS N. Etude de la variabilité intra et inter-opérateur de l'examen échocardiographique chez le chat et le chien. Th : Med Vet, Toulouse, 2003, 110, 96p.
6. BELEW AM, BARLETT T, BROWN SA. Evaluation of the white-coat effect in cats. *J. Vet. Intern. Med.*, 1999, **13**(2), 134-142.
7. BLISSITT KJ, BONAGURA JD. Pulsed wave Doppler echocardiography in normal horses. *Equine Vet. J. Suppl.*, 1995, 19, 38-46.
8. BOWMAN LK, LEE FA, JAFFE CC, MATTERA J, WACKERS FJ et ZARET BL. Peak filling rate normalized to mitral stroke volume : a new doppler echocardiographic filling index validated by radionuclide angiographic techniques (Abstract). *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1988, **12**(4), 937-943.
9. BROWN DJ, RUSH JE, MACGREGOR J, ROSS JN, BREWER B, RAND WM. M-mode echocardiographic ratio indices in normal dogs, cats, and horses: a novel quantitative method. *J. Vet. Intern. Med.*, 2003, **17**(5), 653-662.
10. BUHL R, ERSBOLL AK, ERIKSEN L, KOCH J. Sources and magnitude of variation of echocardiographic measurements in normal standardbred horses. *Vet. Radiol. Ultrasound*. 2004, **45**(6), 505-512.
11. CAMPBELL FE, KITTLESON MD. The effect of hydration status on the echocardiographic measurements of normal cats. *J. Vet. Intern. Med.*, 2007, **21**(5), 1008-1015.
12. CHETBOUL V, CONCORDET D, POUCHELON JL, ATHANASSIADIS N, MULLER C, BENIGNI L *et al.* Effects of inter- and intra-observer variability on echocardiographic measurements in awake cats. *J. Vet. Med. A Physiol. Pathol. Clin. Med.* 2003, **50**(6), 326-331.
13. CHETBOUL V, LEFEBVRE HP, PINHAS C, CLERC B, BOUSSOUF M, POUCHELON JL. Spontaneous feline hypertension: clinical and echocardiographic abnormalities, and survival rate. *J. Vet. Intern. Med.*, 2003, **17**(1), 89-95.
14. CHETBOUL V, TIDHOLM A, NICOLLE A, CARLOS SAMPEDRANO C, GOUNI V, POUCHELON JL *et al.* Effects of animal position and number of repeated measurements on selected two-dimensional and M-mode echocardiographic variables in healthy dogs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 2005, **227**(5), 743-747.
15. DEMADRON E, BONAGURA JD, HERRING DS. Two-dimensional echocardiography in the normal cat. *Vet. Radiol.*, 1985, **26**(5), 149-158.

16. DISATIAN S, BRIGHT JM, BOON J. Association of age and heart rate with pulsed-wave Doppler measurements in healthy, nonsedated cats. *J. Vet. Intern. Med.*, 2008, **22**(2), 351-356.
17. DROURR L, LEFBOM BK, ROSENTHAL SL, TYRRELL WD. Measurement of M-mode echocardiographic parameters in healthy adult Maine Coon cats. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 2005, **226**(5), 734-737.
18. DUKES-MCEWAN J, FRENCH AT, CORCORAN BM. Doppler echocardiography in the dog: measurement variability and reproducibility. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2002, **43**(2), 144-152.
19. DUNKLE N, MOISE NS, SCARLETT-KRANZ J, SHORT CE. Cardiac performance in cats after administration of xylazine or xylazine and glycopyrrolate: echocardiographic evaluations. *Am. J. Vet. Res.*, 1986, **47**(10), 2212-2216.
20. FRASER CG, FOGARTY Y. Interpreting laboratory results. *BMJ*, 1989, **298**(6689), 1659-1660.
21. FOX PR, BOND BR, PETERSON ME. Echocardiographic reference values in healthy cats sedated with ketamine hydrochloride. *Am. J. Vet. Res.*, 1985, **46**(7), 1479-1484.
22. HENIK RA, STEPIEN RL, BORTNOWSKI HB. Spectrum of M-mode echocardiographic abnormalities in 75 cats with systemic hypertension. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.*, 2004, **40**(5), 359-363.
23. JACOBS G, KNIGHT DH. M-mode echocardiographic measurements in nonanesthetized healthy cats: effects of body weight, heart rate, and other variables. *Am. J. Vet. Res.*, 1985, **46**(8), 1705-1711.
24. JACOBS G, KNIGHT DH. Change in M-mode echocardiographic values in cat given ketamine. *Am. J. Vet. Res.*, 1985, **46**(8), 1712-1713.
25. JAUDON JP. Echocardiographie canine : contribution à l'établissement de normes quantitatives. Th : Med Vet, Lyon, 1990, 134p.
26. KRIZ NG et ROSE RJ. Repeatability of standard transthoracic echocardiographic measurements in horses. *Aust. Vet. J.*, 2002, **80**(6), 362-370.
27. KUECHERER HF, KEE LL, MODIN G, CHEITLIN MD, SCHILLER NB. Echocardiography in serial evaluation of left ventricular systolic and diastolic function: importance of image acquisition, quantitation, and physiologic variability in clinical and investigational applications. *J. Am. Soc. Echocardiogr.*, 1991, **4**(3), 203-214.
28. LONG KJ, BONAGURA JD, DARKE PGG. Standardised imaging technique for guided M-mode and Doppler echocardiography in the horse. *Equine Vet. J.*, 1992, **24**(3), 226-235.
29. MOISE NS, HORNE WA, FLANDERS JA, STRICKLAND D. Repeatability of the M-mode echocardiogram and the effects of acute changes in heart rate, cardiac contractility, and preload in healthy cats sedated with ketamine hydrochloride and acepromazine. *Cornell. Vet.*, 1986, **76**(3), 241-258.

30. MOISE NS, DIETZE AE, MEZZA LE, STRICKLAND D, ERB HN, EDWARDS NJ. Echocardiography, electrocardiography, and radiography of cats with dilatation cardiomyopathy, hypertrophic cardiomyopathy, and hyperthyroidism. *Am. J. Vet. Res.*, 1986, **47**(7), 1476-1486.
31. MORIOKA S, SIMON G, COHN JN. Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy and function in renal hypertensive dogs (abstract). *Jpn. Circ. J.*, 1982, **46**(2), 143-150.
32. MORRISON SA, MOISE NS, SCARLETT J, MOHAMMED H, YEAGER AE. Effect of breed and body weight on echocardiographic values in four breeds of dogs of differing somatotype. *J. Vet. Intern. Med.*, 1992, **6**(4), 220-224.
33. NELSON OL, REIDSESEL E, WARE WA, CHRISTENSEN WF. Echocardiographic and radiographic changes associated with systemic hypertension in cats. *J. Vet. Intern. Med.*, 2002, **16**(4), 418-425.
34. O'GRADY MR, BONAGURA JD, POWERS JD, HERRING DS. Quantitative cross-sectional echocardiography in the normal dog. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 1986, **27**(2), 34-49.
35. PIPERS FS, REEF V, HAMLIN RL. Echocardiography in the domestic cat. *Am. J. Vet. Res.*, 1979, **40**(6), 882-886.
36. RAND JS, REYNOLDS WT, PRIEST J. Echocardiographic evaluation of the effects of medetomidine and xylazine in dogs. *Aust. vet. J.*, 1996, **73**(2), 41-44.
37. SAHN DJ, DEMARIA A, KISSLO J, WEYMAN A. Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography: results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation*, 1978, **58**(6), 1072-1083.
38. SAMPSON SN, JACOBSON RL, SANDE RD, SUSUMI CJ, LARNTZ KJ, TUCKER RL *et al.* Reproducibility and repeatability of M-mode echocardiographic measurements collected from 25 normal horses. *J. Equine. Vet. Sci.*, 1999, **19**(1), 51-57.
39. SANTILLI RA, BUSSADORI C. Doppler echocardiographic study of left ventricular diastole in non-anaesthetized healthy cats. *Vet. J.*, 1998, **156**(3), 203-215.
40. SCHILLE S, SKRODZKI M. M-mode echocardiographic reference values in cats in the first three months of life. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 1999, **40**(4), 491-500.
41. SIMPSON KE, DEVINE BC, GUNN-MOORE DA, FRENCH AT, DUKES-MCEWAN J, KOFFAS H *et al.* Assessment of the repeatability of feline echocardiography using conventional echocardiography and spectral pulse-wave Doppler tissue imaging techniques. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 2007, **48**(1), 58-68.
42. SNYDER PS, SADEK D, JONES GL. Effect of amlodipine on echocardiographic variables in cats with systemic hypertension. *J. Vet. Intern. Med.* 2001, **15**(1), 52-56.
43. THOMAS WP, GABER CE, JACOBS GJ, KAPLAN PM, LOMBARD CW, MOISE NS *et al.* Recommendations for standards in transthoracic two-dimensional echocardiography in the dog and cat. *J. Vet. Intern. Med.*, 1993, **7**(4), 247-252.

44. WASMEIER GH, MELNYCHENKO I, VOIGT JU, ZIMMERMANN WH, ESCHENHAGEN T, SCHINEIS N. Reproducibility of transthoracic echocardiography in small animals using clinical equipment. *Coron. Artery. Dis.*, 2007, **18**(4), 283-291.
45. WRIGHT M. Pharmacologic effects of ketamine and its use in veterinary medicine. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1982, **180**(12), 1462-1471.
46. YOUNG LE, SCOTT GR. Measurement of cardiac function by transthoracic echocardiography: day to day variability and repeatability in normal Thoroughbred horses. *Equine. Vet. J.*, 1998, **30**(2), 117-122.

## **ANNEXES**



ANNEXE 1 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°1.

TM VG (CT)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,40	1,62	0,40	0,42	1,08	0,49	33	8,85
	0,37	1,57	0,49	0,52	1,01	0,59	36	9,32
	0,35	1,64	0,37	0,47	0,98	0,59	40	7,87
	0,40	1,43	0,35	0,54	0,84	0,47	41	6,79
	0,37	1,71	0,42	0,49	0,98	0,61	43	9,44
	0,33	1,50	0,47	0,52	0,87	0,56	42	7,91
	0,37	1,73	0,37	0,49	1,10	0,52	36	8,83
	0,35	1,69	0,40	0,49	1,15	0,49	32	8,67
	0,35	1,41	0,42	0,49	0,98	0,54	31	6,89
	0,40	1,83	0,37	0,52	1,05	0,47	43	10,12
Moyenne	0,37	1,61	0,41	0,50	1,00	0,53	38	8,47
Ecart-type	0,02	0,14	0,05	0,03	0,10	0,05	5	1,09
CV	6,7	8,4	11,2	6,8	9,7	9,9	12,4	12,9

TM VG (CL)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,35	1,43	0,35	0,47	0,87	0,47	39	6,21
	0,30	1,52	0,35	0,37	0,98	0,52	36	6,18
	0,35	1,50	0,37	0,45	0,89	0,52	41	6,89
	0,37	1,48	0,37	0,42	0,96	0,47	35	7,01
	0,33	1,59	0,35	0,45	0,98	0,47	38	6,99
	0,30	1,52	0,37	0,42	1,03	0,54	32	6,42
	0,37	1,34	0,33	0,45	0,91	0,52	32	5,66
	0,30	1,57	0,30	0,40	1,10	0,49	30	5,88
	0,33	1,50	0,35	0,37	1,03	0,54	31	6,41
	0,37	1,41	0,35	0,42	0,96	0,47	32	6,31
Moyenne	0,34	1,49	0,35	0,42	0,97	0,50	35	6,40
Ecart-type	0,03	0,08	0,02	0,03	0,07	0,03	4	0,46
CV	8,7	5,1	6,1	8,1	7,2	6,0	10,9	7,1

AG Ao 2D	AG	Ao	AG/Ao
	0,96	0,68	1,41
	0,94	0,75	1,25
	1,05	0,80	1,31
	1,00	0,68	1,47
	1,04	0,62	1,68
	1,02	0,76	1,34
	1,03	0,75	1,37
	1,04	0,80	1,30
	1,18	0,75	1,57
	1,24	0,78	1,59
Moyenne	1,05	0,74	1,43
Ecart-type	0,09	0,06	0,14
CV	8,8	8,0	9,9

TM VM	DE	EF	E-S
	18,98	8,72	0,14
	16,35	9,64	0,16
	16,87	6,56	0,09
	27,00	7,12	0,21
	23,62	9,84	0,16
	19,69	10,38	0,14
	24,47	8,44	0,12
	19,29	9,74	0,16
	21,09	8,44	0,16
	16,87	11,60	0,12
Moyenne	20,42	9,05	0,15
Ecart-type	3,59	1,51	0,03
CV	17,6	16,7	22,2

TP	Vmax	Ta	Ao	TP
	0,72	60	0,85	0,85
	0,84	60	0,72	0,72
	0,74	90	0,67	0,75
	0,74	60	0,79	0,68
	0,76	70	0,80	0,66
	0,77	80	0,76	0,67
	0,75	70	0,82	0,69
	0,75	80	0,67	0,65
	0,72	80	0,81	0,68
	0,72	80	0,82	0,65
Moyenne	0,75	73	0,77	0,70
Ecart-type	0,04	11	0,06	0,06
CV	4,8	14,5	8,3	8,8

TM Ao	Ao	AG	sep cusp	AG/Ao	TPE	TE	TPE/TE
	0,77	1,01	0,56	1,31	20	170	0,12
	0,89	1,03	0,68	1,16	40	170	0,24
	0,89	0,94	0,70	1,06	30	150	0,20
	0,73	1,01	0,54	1,38	30	160	0,19
	0,68	0,96	0,59	1,41	20	170	0,12
	0,77	1,01	0,61	1,31	20	130	0,15
	0,87	0,98	0,68	1,13	30	170	0,18
	0,75	0,98	0,66	1,31	30	260	0,12
	0,91	1,05	0,68	1,15	20	210	0,10
	*	*	*	*	*	*	*
Moyenne	0,81	1,00	0,63	1,25	27	177	0,16
Ecart-type	0,08	0,03	0,06	0,13	7	38	0,05
CV	10,4	3,5	9,4	10,0	26,5	21,4	30,4



Flux mitral	E	A	Td	TRIV
	0,78	0,42	70	40
	0,75	0,49	70	40
	0,88	0,41	70	40
	0,86	0,49	70	50
	0,82	0,48	70	50
	0,90	0,51	80	40
	0,87	0,48	70	50
	0,89	0,49	70	60
	0,90	0,48	70	60
	0,89	0,47	60	50
Moyenne	0,85	0,47	70	48
Ecart-type	0,05	0,03	5	8
CV	6,2	6,8	6,7	16,4

Simpson	Vol 4C d	Vol 4C s	Vol 2C d	Vol 2C s
	3,23	2,39	3,23	0,92
	1,63	0,52	3,89	1,68
	2,02	0,55	4,76	1,88
	3,11	0,62	4,03	1,11
	2,16	0,62	4,14	1,82
	2,81	1,14	3,21	0,72
	2,82	1,00	4,66	0,96
	2,73	0,52	3,34	0,97
	3,75	0,90	3,88	0,67
	3,45	1,04	3,16	0,62
Moyenne	2,77	0,93	3,83	1,14
Ecart-type	0,67	0,56	0,59	0,48
CV	24,0	60,7	15,4	42,4

Flux aortique	V max	Ta	Te
	1,14	30	180
	1,02	50	180
	1,09	30	190
	1,06	50	190
	1,09	50	180
	1,16	40	160
	1,05	40	180
	1,10	60	180
	1,09	50	190
	1,16	60	180
Moyenne	1,10	46	181
Ecart-type	0,05	11	9
CV	4,2	23,4	4,8

Flux tricuspide	E	A	Td
	0,58	0,44	130
	0,45	0,28	110
	0,64	0,33	110
	0,57	0,37	90
	0,63	0,31	110
	0,52	0,32	90
	0,52	0,35	130
	0,61	0,33	120
	0,50	0,35	80
	0,50	0,35	70
Moyenne	0,55	0,34	104
Ecart-type	0,06	0,04	21
CV	11,5	12,4	19,9

\* : Donnée non disponible

ANNEXE 2 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°2.

TM VG (CT)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,42	1,34	0,42	0,59	0,77	0,61	43	7,22
	0,45	1,12	0,56	0,54	0,61	0,73	46	7,47
	0,45	1,22	0,54	0,56	0,68	0,70	44	8,07
	0,47	1,24	0,54	0,63	0,54	0,73	56	8,49
	0,42	1,34	0,47	0,59	0,63	0,75	53	7,82
	0,37	1,20	0,49	0,66	0,52	0,73	57	6,44
	0,47	1,08	0,66	0,63	0,54	0,84	50	8,53
	0,45	1,08	0,52	0,59	0,54	0,80	50	6,72
	0,42	1,27	0,45	0,61	0,59	0,80	54	7,05
	0,40	1,20	0,49	0,61	0,49	0,73	59	6,76
Moyenne	0,43	1,21	0,51	0,60	0,59	0,74	51	7,46
Ecart-type	0,03	0,09	0,07	0,04	0,08	0,06	6	0,75
CV	7,4	7,8	13,1	5,8	14,4	8,5	10,8	10,0

TM VG (CL)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,34	1,12	0,52	0,49	0,68	0,70	43	6,54
	0,35	1,22	0,47	0,59	0,63	0,66	48	6,15
	0,42	1,20	0,47	0,56	0,56	0,68	53	6,76
	0,40	1,10	0,37	0,59	0,56	0,68	49	4,93
	0,42	1,31	0,45	0,56	0,66	0,70	50	7,35
	0,45	1,20	0,45	0,54	0,73	0,68	39	6,87
	0,47	1,15	0,45	0,49	0,66	0,73	43	6,71
	0,47	1,10	0,47	0,56	0,61	0,56	45	6,56
	0,40	1,17	0,52	0,52	0,61	0,70	48	6,86
	0,45	1,22	0,47	0,54	0,75	0,63	39	7,24
Moyenne	0,42	1,18	0,46	0,54	0,65	0,67	46	6,60
Ecart-type	0,05	0,07	0,04	0,04	0,06	0,05	5	0,68
CV	11,0	5,5	9,0	6,6	9,9	7,1	10,3	10,3

AG Ao 2D	AG	Ao	AG/Ao
	0,97	0,85	1,14
	1,04	0,84	1,24
	1,01	0,94	1,07
	1,00	0,84	1,19
	1,00	0,84	1,19
	1,07	0,90	1,19
	1,04	0,95	1,09
	1,08	0,84	1,29
	1,16	0,92	1,26
	1,01	0,88	1,15
Moyenne	1,04	0,88	1,18
Ecart-type	0,05	0,04	0,07
CV	5,3	5,1	5,8

TM VM	DE	EF	E-S
	20,25	7,79	0,14
	8,82	10,02	0,16
	18,28	8,44	0,16
	12,66	9,14	0,14
	27,42	8,14	0,16
	29,53	7,46	0,19
	23,62	6,75	0,21
	18,98	10,74	0,14
	21,80	9,20	0,16
	18,56	21,09	0,14
Moyenne	19,99	9,88	0,16
Ecart-type	6,21	4,12	0,02
CV	31,1	41,7	14,7

TP	Vmax	Ta	Ao	TP
	0,79	70	0,80	0,77
	0,78	80	0,77	0,71
	0,80	90	0,82	0,62
	0,82	70	0,84	0,68
	0,82	80	0,87	0,73
	0,79	80	0,85	0,80
	0,77	70	0,78	0,68
	0,80	70	1,00	0,62
	0,82	60	0,81	0,68
	0,84	80	0,79	0,67
Moyenne	0,80	75	0,83	0,70
Ecart-type	0,02	8	0,07	0,06
CV	2,7	11,3	8,0	8,4

TM Ao	Ao	AG	sep cusp	AG/Ao	TPE	TE	TPE/TE
	0,84	0,82	0,80	0,98	20	140	0,14
	0,82	0,98	0,70	1,20	20	170	0,12
	0,84	0,84	0,73	1,00	20	160	0,13
	0,77	0,87	0,73	1,13	30	140	0,21
	0,87	0,96	0,66	1,10	20	140	0,14
	0,84	0,98	0,73	1,17	30	140	0,21
	0,70	1,01	0,80	1,44	20	160	0,13
	0,84	0,98	0,68	1,17	40	140	0,29
	0,84	1,01	0,70	1,20	30	160	0,19
	1,05	1,03	0,75	0,98	20	140	0,14
Moyenne	0,84	0,95	0,73	1,14	25	149	0,17
Ecart-type	0,09	0,08	0,05	0,14	7	12	0,05
CV	10,5	8,0	6,4	12,2	28,3	8,0	32,0

Flux mitral	E	A	Td	TRIV
	0,71	0,56	60	40
	0,64	0,60	60	40
	0,73	0,59	60	40
	0,71	0,61	40	40
	0,75	0,56	70	30
	0,81	0,66	60	30
	0,91	0,67	60	40
	0,82	0,69	60	40
	0,86	0,72	60	40
	0,64	0,55	60	50
Moyenne	0,76	0,62	59	39
Ecart-type	0,09	0,06	7	6
CV	12,1	9,5	12,5	14,6

Simpson	Vol 4C d	Vol 4C s	Vol 2C d	Vol 2C s
	1,77	0,66	3,20	1,11
	1,64	0,87	4,03	1,16
	1,69	0,64	3,02	0,86
	1,98	0,86	4,07	1,22
	2,45	0,94	2,84	1,12
	2,21	0,74	3,65	0,90
	2,70	0,71	3,57	0,88
	2,35	0,76	3,22	1,52
	3,53	1,17	3,58	1,18
	2,32	0,74	3,91	1,26
Moyenne	2,26	0,81	3,51	1,12
Ecart-type	0,57	0,16	0,43	0,20
CV	25,0	19,6	12,2	18,1

Flux aortique	V max	Ta	Te
	1,37	30	150
	1,27	40	150
	1,31	40	150
	1,28	30	150
	1,23	40	160
	1,15	30	150
	1,27	30	150
	1,27	40	150
	1,18	30	150
	1,30	50	150
Moyenne	1,26	36	151
Ecart-type	0,06	7	3
CV	5,0	19,4	2,1

Flux tricuspide	E	A	Td
	0,54	0,43	70
	0,59	0,46	80
	0,54	0,47	90
	0,56	0,46	80
	0,61	0,56	90
	0,58	0,53	70
	0,57	0,48	110
	0,71	0,71	80
	0,62	0,55	100
	0,55	0,40	100
Moyenne	0,59	0,51	87
Ecart-type	0,05	0,09	13
CV	8,7	17,5	15,4

ANNEXE 3 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°3.

TM VG (CT)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,42	1,34	0,40	0,59	0,77	0,56	43	6,98
	0,42	1,38	0,47	0,56	0,77	0,61	44	8,15
	0,33	1,29	0,47	0,54	0,75	0,59	42	6,41
	0,40	1,47	0,37	0,59	0,80	0,54	45	7,17
	0,37	1,29	0,40	0,49	0,80	0,54	38	6,09
	0,33	1,45	0,33	0,47	0,91	0,54	37	5,88
	0,35	1,57	0,37	0,54	1,10	0,59	30	7,37
	0,37	1,43	0,35	0,42	0,98	0,56	31	6,44
	0,33	1,45	0,33	0,52	0,84	0,66	42	5,88
	0,37	1,43	0,33	0,52	0,94	0,56	34	6,21
Moyenne	0,37	1,41	0,38	0,52	0,87	0,58	39	6,66
Ecart-type	0,04	0,09	0,05	0,05	0,11	0,04	5	0,74
CV	9,5	6,2	14,0	10,1	13,1	6,7	14,1	11,1

TM VG (CL)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,30	1,55	0,35	0,49	0,80	0,61	48	6,36
	0,33	1,52	0,40	0,49	0,80	0,54	47	7,16
	0,30	1,52	0,42	0,45	0,98	0,59	36	7,03
	0,35	1,66	0,42	0,49	0,98	0,63	41	8,73
	0,37	1,66	0,47	0,49	0,91	0,61	45	9,79
	0,37	1,52	0,37	0,49	0,98	0,59	36	7,28
	0,30	1,69	0,37	0,52	1,05	0,63	38	7,52
	0,35	1,52	0,37	0,42	1,01	0,52	34	7,03
	0,42	1,62	0,40	0,47	1,12	0,54	31	9,15
	0,33	1,64	0,37	0,49	0,96	0,54	41	7,59
Moyenne	0,34	1,59	0,39	0,48	0,96	0,58	40	7,76
Ecart-type	0,04	0,07	0,04	0,03	0,10	0,04	6	1,09
CV	11,3	4,4	9,0	5,7	10,5	7,1	14,4	14,0

AG Ao 2D	AG	Ao	AG/Ao
	0,99	0,73	1,36
	1,10	0,66	1,67
	1,00	0,75	1,33
	1,04	0,68	1,53
	0,96	0,70	1,37
	1,03	0,81	1,27
	1,09	0,82	1,33
	0,99	0,90	1,10
	1,01	0,72	1,40
	1,01	0,74	1,36
Moyenne	1,02	0,75	1,37
Ecart-type	0,04	0,07	0,15
CV	4,3	9,7	10,9

TM VM	DE	EF	E-S
	20,04	9,49	0,23
	24,61	10,90	0,23
	29,53	11,95	0,23
	20,04	10,90	0,23
	22,90	13,36	0,26
	19,29	10,06	0,21
	32,91	14,77	0,16
	32,06	16,03	0,30
	31,22	9,94	0,19
	16,87	13,36	0,19
Moyenne	24,95	12,08	0,22
Ecart-type	6,00	2,22	0,04
CV	24,1	18,4	17,6

TP	Vmax	Ta	Ao	TP
	0,81	70	0,78	0,61
	0,88	70	0,71	0,59
	0,82	70	0,71	0,65
	0,85	70	0,87	0,71
	0,84	80	0,79	0,71
	0,80	80	0,74	0,66
	0,84	80	0,83	0,67
	0,85	70	0,80	0,69
	0,92	60	0,80	0,71
	*	*	0,82	0,65
Moyenne	0,85	72	0,79	0,67
Ecart-type	0,04	7	0,05	0,04
CV	4,3	9,2	6,6	6,3

TM Ao	Ao	AG	sep cusp	AG/Ao	TPE	TE	TPE/TE
	0,77	1,01	0,59	1,31	30	160	0,19
	0,77	0,98	0,63	1,27	30	130	0,23
	0,63	1,01	0,66	1,60	40	170	0,24
	0,84	1,08	0,70	1,29	40	160	0,25
	0,77	0,89	0,77	1,16	40	170	0,24
	0,77	0,91	0,68	1,18	30	160	0,19
	0,77	0,94	0,66	1,22	30	160	0,19
	0,61	1,03	0,61	1,69	30	180	0,17
	0,70	0,87	0,73	1,24	30	160	0,19
	0,73	0,89	0,56	1,22	30	140	0,21
Moyenne	0,74	0,96	0,66	1,32	33	159	0,21
Ecart-type	0,07	0,07	0,06	0,18	5	14	0,03
CV	9,6	7,4	9,8	13,7	14,6	9,1	13,6

Flux mitral	E	A	Td	TRIV
	0,70	0,53	60	40
	0,75	0,53	80	30
	0,73	0,55	70	40
	0,73	0,62	50	40
	0,82	0,56	70	30
	0,82	0,63	80	40
	0,68	0,47	70	40
	0,76	0,59	60	30
	0,77	0,52	60	40
	0,79	0,64	70	30
Moyenne	0,76	0,56	67	36
Ecart-type	0,05	0,06	9	5
CV	6,2	9,8	14,2	14,3

Simpson	Vol 4C d	Vol 4C s	Vol 2C d	Vol 2C s
	3,72	1,42	3,15	1,56
	3,72	1,15	3,90	1,53
	3,09	1,07	3,98	1,70
	2,85	0,74	4,20	1,52
	3,14	1,13	4,16	1,26
	3,34	1,51	5,99	2,33
	2,48	1,26	4,73	2,34
	3,37	1,61	4,47	2,28
	3,96	1,62	4,16	1,84
	2,83	0,75	5,18	2,13
Moyenne	3,25	1,23	4,39	1,85
Ecart-type	0,46	0,32	0,77	0,39
CV	14,3	26,1	17,6	21,3

Flux aortique	V max	Ta	Te
	1,23	40	160
	1,14	40	180
	1,23	40	180
	1,33	40	170
	1,24	60	180
	1,24	60	170
	1,28	40	180
	1,20	50	170
	1,20	60	180
	1,20	40	170
Moyenne	1,23	47	174
Ecart-type	0,05	9	7
CV	4,2	20,2	4,0

Flux tricuspide	E	A	Td
	0,53	0,45	80
	0,60	0,55	90
	0,55	0,46	70
	0,60	0,51	80
	0,53	0,51	80
	0,52	0,44	90
	0,53	0,43	90
	0,53	0,44	100
	0,52	0,44	90
	0,55	0,41	60
Moyenne	0,55	0,46	83
Ecart-type	0,05	0,09	13
CV	8,7	17,5	15,4

\* : Donnée non disponible

ANNEXE 4 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°4.

TM VG (CT)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,35	1,38	0,35	0,37	0,96	0,47	30	5,90
	0,37	1,45	0,35	0,40	1,01	0,40	30	6,57
	0,30	1,52	0,28	0,49	0,87	0,47	43	5,38
	0,35	1,43	0,33	0,49	0,87	0,49	39	5,98
	0,37	1,50	0,30	0,42	0,91	0,49	39	6,29
	0,35	1,50	0,37	0,42	0,87	0,54	42	6,89
	0,33	1,43	0,37	0,45	0,91	0,45	36	6,21
	0,33	1,38	0,37	0,49	0,75	0,52	46	5,90
	0,35	1,43	0,40	0,47	0,84	0,47	41	6,79
	0,35	1,41	0,33	0,45	0,94	0,42	33	5,86
Moyenne	0,35	1,44	0,35	0,45	0,89	0,47	38	6,18
Ecart-type	0,02	0,05	0,04	0,04	0,07	0,04	6	0,47
CV	6,0	3,4	10,4	9,4	8,0	8,9	14,5	7,6

TM VG (CL)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,37	1,34	0,30	0,47	0,73	0,49	46	5,35
	0,42	1,36	0,37	0,47	0,84	0,52	38	6,78
	0,26	1,45	0,35	0,45	0,75	0,56	48	5,34
	0,33	1,45	0,37	0,49	0,82	0,49	43	6,33
	0,33	1,48	0,33	0,45	0,84	0,47	43	6,06
	0,28	1,38	0,37	0,40	0,84	0,47	39	5,37
	0,35	1,48	0,33	0,42	0,80	0,54	46	6,29
	0,40	1,22	0,40	0,45	0,73	0,56	40	5,95
	0,33	1,31	0,33	0,40	0,84	0,52	36	5,09
	0,35	1,34	0,35	0,47	0,66	0,54	51	5,66
Moyenne	0,34	1,38	0,35	0,45	0,79	0,52	43	5,82
Ecart-type	0,05	0,08	0,03	0,03	0,06	0,03	5	0,55
CV	14,2	6,1	8,2	6,9	8,1	6,7	11,1	9,4

AG Ao 2D	AG	Ao	AG/Ao
	0,77	0,71	1,08
	0,81	0,74	1,09
	0,76	0,67	1,13
	0,91	0,67	1,36
	0,88	0,66	1,33
	0,89	0,68	1,31
	0,80	0,70	1,14
	0,89	0,66	1,35
	0,83	0,66	1,26
	0,84	0,66	1,27
Moyenne	0,84	0,68	1,23
Ecart-type	0,05	0,03	0,11
CV	6,3	4,0	8,8



TM VM	DE	EF	E-S
	15,94	8,86	0,16
	20,04	10,74	0,14
	15,47	13,86	0,16
	14,24	10,31	0,16
	15,47	13,86	0,16
	15,94	11,72	0,14
	15,29	9,84	0,16
	22,50	9,28	0,16
	18,08	7,38	0,14
	18,08	9,20	0,16
Moyenne	17,11	10,51	0,15
Ecart-type	2,56	2,11	0,01
CV	15,0	20,1	6,3

TP	Vmax	Ta	Ao	TP
	0,77	80	0,70	0,63
	0,73	60	0,72	0,70
	0,84	60	0,74	0,59
	0,79	80	0,78	0,66
	0,97	70	0,69	0,58
	0,90	80	0,77	0,58
	0,90	80	0,73	0,59
	0,89	80	0,72	0,58
	0,86	70	0,68	0,72
	0,99	60	0,80	0,68
Moyenne	0,86	72	0,73	0,63
Ecart-type	0,08	9	0,04	0,05
CV	9,7	12,8	5,4	8,7

TM Ao	Ao	AG	sep cusp	AG/Ao	TPE	TE	TPE/TE
	0,91	0,94	0,75	1,03	20	120	0,17
	0,68	0,75	0,54	1,10	20	160	0,13
	0,56	0,84	0,47	1,50	20	130	0,15
	0,66	0,80	0,61	1,21	10	130	0,08
	0,73	0,70	0,61	0,96	20	120	0,17
	0,77	0,96	0,61	1,25	20	130	0,15
	0,77	0,77	0,61	1,00	20	130	0,15
	0,68	0,84	0,56	1,24	20	120	0,17
	0,75	0,80	0,61	1,07	20	140	0,14
	0,63	0,73	0,63	1,16	20	140	0,14
Moyenne	0,71	0,81	0,60	1,15	19	132	0,14
Ecart-type	0,10	0,08	0,07	0,16	3	12	0,03
CV	13,4	10,5	11,9	13,7	16,6	9,3	18,8

Flux mitral	E	A	Td	TRIV
	0,70	0,39	80	30
	0,71	0,39	70	40
	0,73	0,43	50	40
	0,83	0,59	70	50
	0,75	0,46	60	50
	0,81	0,53	70	50
	0,78	0,50	80	50
	0,79	0,57	70	50
	0,72	0,44	70	60
	0,75	0,53	90	40
Moyenne	0,75	0,48	71	46
Ecart-type	0,04	0,07	11	8
CV	5,8	14,6	15,5	18,3

Simpson	Vol 4C d	Vol 4C s	Vol 2C d	Vol 2C s
	2,37	0,66	3,03	0,88
	1,84	0,53	2,39	1,01
	1,91	0,57	2,98	1,06
	2,19	0,56	2,60	0,87
	2,02	0,71	2,95	1,02
	2,07	0,82	2,30	0,55
	2,33	0,43	2,07	0,81
	2,18	0,67	2,04	0,74
	1,94	0,78	2,44	1,06
	1,63	0,66	2,65	1,08
Moyenne	2,05	0,64	2,55	0,91
Ecart-type	0,23	0,12	0,36	0,17
CV	11,2	18,5	14,2	19,0

Flux aortique	V max	Ta	Te
	1,13	50	*
	1,18	30	170
	1,18	40	150
	1,19	40	150
	1,09	50	170
	1,20	50	170
	1,23	70	170
	1,15	60	160
	1,11	30	160
	1,14	40	160
Moyenne	1,16	46	162
Ecart-type	0,04	13	8
CV	3,7	27,5	5,1

Flux tricuspide	E	A	Td
	0,58	0,34	110
	0,54	0,37	90
	0,62	0,41	80
	0,57	0,33	110
	0,65	0,42	60
	0,65	0,35	120
	0,64	0,44	100
	0,58	0,36	90
	0,62	0,46	90
	0,59	0,39	70
Moyenne	0,60	0,39	92
Ecart-type	0,04	0,04	19
CV	6,1	11,0	20,4

\* : Donnée non disponible

ANNEXE 5 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°5.

TM VG (CT)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,35	1,62	0,42	0,42	1,15	0,66	29	8,42
	0,37	1,48	0,47	0,45	1,03	0,54	30	8,29
	0,37	1,62	0,49	0,49	0,98	0,59	40	9,75
	0,33	1,52	0,42	0,54	0,89	0,66	41	7,41
	0,33	1,59	0,35	0,45	1,05	0,54	34	6,99
	0,35	1,69	0,45	0,52	1,05	0,59	38	9,43
	0,33	1,62	0,37	0,42	0,91	0,63	44	7,45
	0,33	1,71	0,45	0,40	0,98	0,59	43	9,28
	0,35	1,55	0,37	0,52	0,96	0,56	38	7,23
	0,33	1,59	0,40	0,45	1,05	0,61	34	7,64
Moyenne	0,34	1,60	0,42	0,47	1,01	0,60	37	8,19
Ecart-type	0,02	0,07	0,05	0,05	0,08	0,04	5	1,00
CV	4,8	4,4	11,1	10,4	7,7	7,3	14,0	12,2

TM VG (CL)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,37	1,57	0,40	0,40	0,98	0,59	38	8,04
	0,33	1,66	0,35	0,47	0,94	0,63	43	7,45
	0,33	1,69	0,42	0,52	1,03	0,52	39	8,67
	0,35	1,43	0,37	0,47	0,87	0,56	39	6,44
	0,33	1,52	0,33	0,45	0,91	0,52	40	6,3
	0,37	1,45	0,40	0,45	1,05	0,56	28	7,17
	0,37	1,43	0,42	0,47	0,98	0,56	31	7,27
	0,40	1,41	0,40	0,47	0,91	0,59	35	7,25
	0,33	1,62	0,35	0,47	1,03	0,61	36	7,19
	0,33	1,52	0,42	0,42	0,94	0,56	38	7,41
Moyenne	0,35	1,53	0,39	0,46	0,96	0,57	37	7,32
Ecart-type	0,03	0,10	0,03	0,03	0,06	0,04	4	0,69
CV	7,2	6,7	8,7	7,1	6,2	6,2	12,1	9,4

AG Ao 2D	AG	Ao	AG/Ao
	1,07	0,79	1,35
	1,00	0,81	1,23
	1,00	0,72	1,39
	0,90	0,77	1,17
	1,02	0,77	1,32
	0,88	0,81	1,09
	0,92	0,74	1,24
	0,91	0,80	1,14
	0,93	0,73	1,27
	0,95	0,85	1,12
Moyenne	0,96	0,78	1,23
Ecart-type	0,06	0,04	0,10
CV	6,4	5,3	8,4

TM VM	DE	EF	E-S
	18,68	8,09	0,23
	40,78	7,46	0,12
	35,86	11,12	0,16
	18,68	15,47	0,19
	33,75	8,11	0,16
	18,98	9,70	0,16
	24,47	8,02	0,21
	15,19	15,67	0,14
	26,16	12,66	0,12
	24,47	9,84	0,14
Moyenne	25,70	10,61	0,16
Ecart-type	8,52	3,06	0,04
CV	33,1	28,8	22,6

TP	Vmax	Ta	Ao	TP
	0,84	80	0,75	0,72
	0,78	60	0,72	0,67
	0,77	70	0,73	0,65
	0,77	60	0,73	0,62
	0,88	60	0,71	0,62
	0,82	60	0,77	0,66
	0,82	60	0,72	0,62
	0,81	50	0,77	0,71
	0,83	70	0,82	0,69
	0,82	60	0,77	0,69
Moyenne	0,81	63	0,75	0,67
Ecart-type	0,03	8	0,03	0,04
CV	4,2	13,1	4,5	5,6

TM Ao	Ao	AG	sep cusp	AG/Ao	TPE	TE	TPE/TE
	0,63	0,87	0,66	1,38	40	130	0,31
	0,70	0,89	0,61	1,27	20	130	0,15
	0,68	1,03	0,66	1,51	30	130	0,23
	0,75	0,89	0,59	1,19	30	130	0,23
	0,80	0,89	0,66	1,11	40	170	0,24
	0,68	1,03	0,61	1,51	30	130	0,23
	0,80	0,96	0,68	1,20	30	140	0,21
	0,68	0,89	0,56	1,31	30	140	0,21
	0,73	0,98	0,66	1,34	20	120	0,17
	0,70	0,91	0,66	1,30	20	110	0,18
Moyenne	0,72	0,93	0,64	1,31	29	133	0,22
Ecart-type	0,06	0,06	0,04	0,13	7	16	0,04
CV	7,7	6,5	6,2	10,1	25,4	11,8	20,0

Flux mitral	E	A	Td	TRIV
	0,83	0,62	70	20
	0,90	0,57	60	40
	0,83	0,56	70	40
	0,91	0,67	50	30
	0,79	0,59	50	40
	0,80	0,58	60	40
	0,89	0,63	70	30
	0,79	0,56	70	30
	0,84	0,65	70	30
	0,79	0,57	70	30
Moyenne	0,84	0,60	64	33
Ecart-type	0,05	0,04	8	7
CV	5,7	6,5	13,2	20,5

Simpson	Vol 4C d	Vol 4C s	Vol 2C d	Vol 2C s
	4,20	1,71	2,90	1,06
	3,05	1,41	2,96	1,63
	4,62	1,74	2,22	1,16
	3,37	1,57	2,73	0,83
	2,48	1,23	2,30	1,05
	3,46	0,79	2,40	0,76
	3,19	1,29	3,30	0,79
	2,44	0,63	2,56	1,02
	4,21	1,14	3,16	1,16
	3,15	1,28	2,52	0,89
Moyenne	3,42	1,28	2,71	1,04
Ecart-type	0,73	0,36	0,37	0,25
CV	21,3	28,3	13,6	24,6

Flux aortique	V max	Ta	Te
	1,02	40	140
	1,09	30	130
	1,09	40	150
	1,09	30	150
	1,10	30	140
	1,07	40	140
	1,12	50	160
	1,10	30	150
	1,27	50	160
	1,12	50	160
Moyenne	1,11	39	148
Ecart-type	0,06	9	10
CV	5,8	22,5	7,0

Flux tricuspide	E	A	Td
	0,65	0,49	50
	0,68	0,46	60
	0,77	0,60	90
	0,71	0,62	70
	0,68	0,50	90
	0,65	0,48	70
	0,74	0,55	80
	0,68	0,51	90
	0,65	0,53	60
	0,68	0,50	70
Moyenne	0,69	0,52	73
Ecart-type	0,04	0,05	14
CV	5,8	10,2	19,4

ANNEXE 6 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°6.

TM VG (CT)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,26	1,29	0,37	0,40	0,82	0,52	36	4,70
	0,30	1,43	0,28	0,42	1,03	0,45	28	4,92
	0,28	1,43	0,35	0,40	0,96	0,47	33	5,44
	0,30	1,43	0,33	0,47	0,98	0,52	31	5,44
	0,30	1,50	0,33	0,45	0,91	0,47	39	5,83
	0,33	1,50	0,35	0,42	0,91	0,52	39	6,41
	0,26	1,43	0,33	0,40	0,87	0,54	39	5,02
	0,28	1,48	0,30	0,42	0,94	0,42	36	5,18
	0,30	1,52	0,40	0,40	0,98	0,49	36	6,78
	0,28	1,55	0,33	0,45	0,87	0,52	44	5,89
Moyenne	0,29	1,46	0,34	0,42	0,93	0,49	36	5,56
Ecart-type	0,02	0,07	0,03	0,03	0,06	0,04	5	0,67
CV	7,4	5,0	10,0	6,0	6,8	7,8	12,7	12,0

TM VG (CL)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,26	1,52	0,28	0,37	0,89	0,45	41	4,95
	0,23	1,52	0,28	0,30	1,03	0,42	32	4,64
	0,33	1,38	0,30	0,37	0,89	0,47	36	5,17
	0,28	1,36	0,33	0,42	0,87	0,47	36	4,87
	0,30	1,38	0,28	0,35	0,91	0,47	34	4,68
	0,28	1,36	0,33	0,40	0,98	0,56	28	4,87
	0,28	1,34	0,30	0,37	0,80	0,49	40	4,49
	0,26	1,38	0,33	0,42	0,94	0,42	32	4,77
	0,30	1,36	0,35	0,47	0,80	0,51	41	5,26
	0,26	1,45	0,37	0,35	0,89	0,45	39	5,55
Moyenne	0,28	1,41	0,32	0,38	0,90	0,47	36	4,93
Ecart-type	0,03	0,07	0,03	0,05	0,07	0,04	4	0,32
CV	10,0	4,8	10,1	12,4	8,0	8,9	12,3	6,5

AG Ao 2D	AG	Ao	AG/Ao
	1,06	0,77	1,38
	1,14	0,83	1,37
	1,02	0,77	1,32
	1,15	0,83	1,39
	1,03	0,82	1,26
	1,14	0,80	1,43
	0,99	0,73	1,36
	1,11	0,75	1,48
	1,08	0,77	1,40
	1,04	0,80	1,30
Moyenne	1,08	0,79	1,37
Ecart-type	0,06	0,03	0,06
CV	5,3	4,4	4,7

TM VM	DE	EF	E-S
	33,75	8,44	0,14
	20,04	14,77	0,19
	21,80	9,49	0,16
	41,13	11,12	0,14
	15,61	12,05	0,12
	18,46	7,73	0,19
	29,53	10,78	0,16
	26,02	6,90	0,21
	25,31	9,70	0,16
	16,87	9,59	0,21
Moyenne	24,85	10,06	0,17
Ecart-type	8,10	2,27	0,03
CV	32,6	22,6	18,4

TP	Vmax	Ta	Ao	TP
	0,82	60	0,79	0,67
	0,84	70	0,72	0,53
	0,79	90	0,79	0,62
	0,85	40	0,73	0,57
	0,82	80	0,69	0,60
	0,80	90	0,77	0,68
	0,88	90	0,72	0,64
	0,81	80	0,72	0,64
	0,86	70	0,75	0,70
	0,75	50	0,77	0,66
Moyenne	0,82	72	0,75	0,63
Ecart-type	0,04	18	0,03	0,05
CV	4,6	24,3	4,6	8,3

TM Ao	Ao	AG	sep cusp	AG/Ao	TPE	TE	TPE/TE
	0,73	0,77	0,63	1,05	20	110	0,18
	0,75	0,84	0,59	1,12	20	120	0,17
	0,63	0,91	0,68	1,44	20	120	0,17
	0,66	0,80	0,63	1,21	20	130	0,15
	0,63	0,98	0,63	1,56	20	140	0,14
	0,68	0,89	0,56	1,31	30	150	0,20
	0,70	0,73	0,56	1,04	20	140	0,14
	0,59	0,96	0,61	1,63	30	140	0,21
	0,73	0,82	0,70	1,12	30	150	0,20
	0,66	0,89	0,63	1,35	30	140	0,21
Moyenne	0,68	0,86	0,62	1,28	24	134	0,18
Ecart-type	0,05	0,08	0,05	0,21	5	13	0,03
CV	7,6	9,4	7,3	16,2	21,5	10,1	15,6

Flux mitral	E	A	Td	TRIV
	0,72	0,63	80	40
	0,73	0,62	90	30
	0,69	0,60	80	40
	0,79	0,62	90	40
	0,72	0,61	80	40
	0,73	0,64	70	30
	0,64	0,54	80	30
	0,73	0,68	70	30
	0,73	0,61	70	30
	0,77	0,70	80	30
Moyenne	0,73	0,62	79	34
Ecart-type	0,04	0,04	7	5
CV	5,8	6,8	9,3	15,2

Simpson	Vol 4C d	Vol 4C s	Vol 2C d	Vol 2C s
	2,87	1,23	2,86	1,40
	2,81	1,66	2,77	1,54
	3,32	1,45	2,96	1,09
	3,30	1,36	2,67	1,24
	2,81	1,42	3,28	1,18
	3,60	1,15	1,94	1,39
	3,15	1,58	2,31	1,49
	2,65	1,08	2,83	1,80
	2,91	1,17	2,79	1,27
	2,41	1,19	2,13	1,35
Moyenne	2,98	1,33	2,65	1,38
Ecart-type	0,36	0,20	0,41	0,20
CV	11,9	14,7	15,4	14,8

Flux aortique	V max	Ta	Te
	0,91	50	160
	1,02	70	160
	1,01	60	160
	0,98	50	160
	1,16	50	160
	1,09	50	160
	0,95	40	160
	0,93	40	150
	1,03	50	160
	1,16	50	150
Moyenne	1,02	51	158
Ecart-type	0,09	9	4
CV	8,7	17,2	2,7

Flux tricuspide	E	A	Td
	0,41	0,31	70
	0,46	0,34	100
	0,53	0,36	90
	0,58	0,39	80
	0,46	0,39	110
	0,49	0,38	70
	0,63	0,52	90
	0,51	0,47	60
	0,57	0,37	80
	0,61	0,41	60
Moyenne	0,52	0,39	81
Ecart-type	0,07	0,06	17
CV	13,4	15,4	20,5

\* : Donnée non disponible



ANNEXE 7 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°7.

TM VG (CT)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,28	1,52	0,26	0,33	0,94	0,45	38	4,95
	0,28	1,62	0,30	0,40	0,91	0,49	44	5,92
	0,33	1,41	0,35	0,42	0,96	0,47	32	5,86
	0,28	1,71	0,28	0,42	0,96	0,52	44	6,17
	0,28	1,45	0,28	0,40	0,89	0,42	39	4,82
	0,35	1,36	0,40	0,35	0,89	0,52	35	6,32
	0,30	1,55	0,33	0,45	0,75	0,47	52	6,12
	0,26	1,62	0,35	0,42	0,84	0,59	48	6,29
	0,28	1,24	0,35	0,37	0,73	0,52	41	4,45
	0,28	1,50	0,33	0,42	0,89	0,59	41	5,61
Moyenne	0,29	1,50	0,32	0,40	0,88	0,50	41	5,65
Ecart-type	0,03	0,14	0,04	0,04	0,08	0,06	6	0,67
CV	9,4	9,3	13,2	9,3	9,2	11,1	14,3	11,9

TM VG (CL)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,33	1,41	0,40	0,45	0,75	0,52	47	6,42
	0,28	1,29	0,37	0,42	0,63	0,56	51	4,89
	0,28	1,38	0,40	0,49	0,82	0,52	41	5,69
	0,23	1,57	0,30	0,40	0,84	0,49	46	5,09
	0,30	1,43	0,30	0,42	0,70	0,54	51	5,13
	0,28	1,24	0,37	0,37	0,75	0,47	40	4,63
	0,26	1,48	0,37	0,35	0,84	0,47	43	5,72
	0,26	1,29	0,28	0,37	0,80	0,47	38	3,91
	0,28	1,22	0,26	0,42	0,73	0,42	40	3,63
	0,26	1,31	0,28	0,45	0,75	0,45	43	4,00
Moyenne	0,28	1,36	0,33	0,41	0,76	0,49	44	4,91
Ecart-type	0,03	0,11	0,05	0,04	0,07	0,04	5	0,89
CV	9,7	8,2	16,2	10,4	8,7	8,8	10,4	18,2

AG Ao 2D	AG	Ao	AG/Ao
	0,87	0,63	1,38
	1,08	0,74	1,46
	1,00	0,64	1,56
	0,98	0,75	1,31
	0,95	0,79	1,20
	1,10	0,78	1,41
	0,93	0,73	1,27
	1,01	0,74	1,36
	0,98	0,72	1,36
	1,00	0,76	1,32
Moyenne	0,99	0,73	1,36
Ecart-type	0,07	0,05	0,10
CV	6,8	7,3	7,4

TM VM	DE	EF	E-S
	22,78	14,06	0,14
	17,48	14,34	0,14
	18,28	14,34	0,23
	15,47	13,36	0,14
	12,66	12,66	0,19
	25,31	10,85	0,14
	30,59	11,95	0,16
	20,39	11,25	0,16
	17,48	12,66	0,19
	10,98	6,33	0,19
Moyenne	19,14	12,18	0,17
Ecart-type	5,89	2,40	0,03
CV	30,8	19,7	18,4

TP	Vmax	Ta	Ao	TP
	0,90	70	0,72	0,64
	0,82	90	0,68	0,60
	0,84	60	0,81	0,68
	0,93	60	0,65	0,68
	0,97	70	0,77	0,74
	0,83	60	0,72	0,61
	0,88	50	0,71	0,65
	0,84	60	0,70	0,66
	0,89	80	0,61	0,63
	0,88	60	0,66	0,58
Moyenne	0,88	66	0,70	0,65
Ecart-type	0,05	12	0,06	0,05
CV	5,4	17,8	8,3	7,2

TM Ao	Ao	AG	sep cusp	AG/Ao	TPE	TE	TPE/TE
	0,73	0,75	0,56	1,03	20	100	0,20
	0,68	0,82	0,61	1,21	30	110	0,27
	0,68	0,77	0,54	1,13	20	100	0,20
	0,59	0,73	0,49	1,24	30	120	0,25
	0,63	0,89	0,49	1,41	30	140	0,21
	0,66	0,87	0,49	1,32	20	120	0,17
	0,61	0,94	0,56	1,54	30	130	0,23
	0,59	0,75	0,52	1,27	30	130	0,23
	0,56	0,89	0,61	1,59	20	140	0,14
	0,77	0,87	0,59	1,13	20	150	0,13
Moyenne	0,65	0,83	0,55	1,29	25	124	0,20
Ecart-type	0,07	0,07	0,05	0,18	5	17	0,05
CV	10,3	8,9	8,8	14,1	21,1	13,8	22,2

Flux mitral	E	A	Td	TRIV
	0,77	0,58	80	40
	0,72	0,54	90	60
	0,81	0,68	60	40
	0,71	0,54	70	40
	0,72	0,57	70	40
	0,68	0,53	90	40
	0,72	0,63	60	40
	0,71	0,56	60	40
	0,76	0,60	70	40
	0,68	0,53	70	60
Moyenne	0,73	0,58	72	44
Ecart-type	0,04	0,05	11	8
CV	5,6	8,5	15,8	19,2

Simpson	Vol 4C d	Vol 4C s	Vol 2C d	Vol 2C s
	2,30	0,82	2,18	0,76
	2,07	0,82	2,24	0,96
	1,86	0,88	2,27	1,04
	2,40	1,07	2,74	1,03
	2,61	0,89	2,73	0,93
	2,42	1,15	2,54	0,76
	2,26	0,75	2,81	0,89
	2,09	0,68	2,67	0,86
	1,96	0,98	2,68	0,91
	2,00	0,86	2,18	0,51
Moyenne	2,20	0,89	2,50	0,87
Ecart-type	0,24	0,14	0,26	0,16
CV	10,9	16,0	10,3	18,2

Flux aortique	V max	Ta	Te
	0,98	50	180
	0,97	40	190
	1,02	30	180
	1,03	60	180
	1,04	30	170
	1,08	40	160
	1,09	40	170
	1,01	50	180
	1,09	30	170
	1,09	40	170
Moyenne	1,04	41	175
Ecart-type	0,05	10	8
CV	4,4	24,3	4,9

Flux tricuspide	E	A	Td
	0,75	0,59	80
	0,66	0,52	80
	0,76	0,50	80
	0,72	0,64	80
	0,68	0,55	130
	0,75	0,53	90
	0,70	0,49	70
	0,68	0,59	80
	0,70	0,59	80
	0,73	0,54	80
Moyenne	0,71	0,55	85
Ecart-type	0,03	0,05	16
CV	4,8	8,6	19,4

ANNEXE 8 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°8.

TM VG (CT)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,33	1,41	0,35	0,42	0,98	0,40	30	5,86
	0,30	1,45	0,40	0,49	0,87	0,56	40	6,33
	0,33	1,45	0,30	0,47	0,84	0,52	42	5,55
	0,33	1,29	0,35	0,47	0,73	0,54	43	5,17
	0,33	1,27	0,33	0,52	0,80	0,52	37	4,88
	0,35	1,24	0,37	0,47	0,91	0,45	27	5,28
	0,37	1,36	0,35	0,47	0,84	0,54	38	5,99
	0,33	1,36	0,35	0,47	0,87	0,49	36	5,57
	0,30	1,36	0,42	0,49	0,87	0,54	36	5,99
	0,33	1,43	0,42	0,52	0,77	0,61	46	6,79
Moyenne	0,33	1,36	0,36	0,48	0,85	0,52	38	5,74
Ecart-type	0,02	0,08	0,04	0,03	0,07	0,06	6	0,57
CV	6,2	5,5	10,7	6,0	8,4	11,4	15,4	9,9

TM VG (CL)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,33	1,45	0,40	0,45	0,91	0,52	37	6,68
	0,33	1,50	0,37	0,40	0,94	0,52	37	6,65
	0,33	1,38	0,28	0,37	0,91	0,47	34	4,97
	0,30	1,52	0,35	0,40	0,98	0,56	36	6,18
	0,33	1,50	0,35	0,40	1,01	0,47	33	6,41
	0,35	1,36	0,33	0,45	0,87	0,52	36	5,57
	0,28	1,43	0,35	0,42	0,91	0,49	36	5,44
	0,30	1,41	0,37	0,42	0,89	0,52	37	5,75
	0,30	1,43	0,35	0,42	0,84	0,47	41	5,65
	0,30	1,41	0,35	0,42	0,91	0,54	35	5,54
Moyenne	0,32	1,44	0,35	0,42	0,92	0,51	36	5,88
Ecart-type	0,02	0,05	0,03	0,02	0,05	0,03	2	0,57
CV	6,9	3,7	8,8	5,8	5,4	6,2	5,9	9,7

AG Ao 2D	AG	Ao	AG/Ao
	0,87	0,75	1,16
	0,96	0,83	1,16
	1,01	0,72	1,40
	0,98	0,79	1,24
	0,87	0,73	1,06
	0,92	0,82	1,19
	0,93	0,77	1,27
	0,88	0,73	1,11
	0,84	0,79	1,06
	0,93	0,79	1,20
Moyenne	0,92	0,77	1,19
Ecart-type	0,05	0,04	0,10
CV	5,9	5,0	8,7

TM VM	DE	EF	E-S
	18,46	8,14	0,14
	23,20	10,85	0,14
	18,98	13,81	0,14
	14,19	12,27	0,12
	17,34	16,41	0,14
	14,19	13,04	0,12
	28,69	10,38	0,16
	18,98	15,19	0,14
	22,30	13,04	0,14
	29,53	13,01	0,14
Moyenne	20,59	12,61	0,14
Ecart-type	5,35	2,39	0,01
CV	26,0	18,9	8,2

TP	Vmax	Ta	Ao	TP
	0,68	60	0,80	0,96
	0,74	70	0,82	0,66
	0,81	60	0,79	0,67
	0,75	80	0,80	0,61
	0,76	80	0,78	0,67
	0,70	70	0,83	0,63
	0,73	110	0,76	0,68
	0,69	70	0,75	0,70
	0,72	70	0,80	0,66
	0,70	90	0,75	0,74
Moyenne	0,73	76	0,79	0,70
Ecart-type	0,04	15	0,03	0,10
CV	5,4	19,8	3,5	14,1

TM Ao	Ao	AG	sep cusp	AG/Ao	TPE	TE	TPE/TE
	0,70	0,94	0,68	1,34	30	160	0,19
	0,80	0,91	0,66	1,14	30	150	0,20
	0,87	0,77	0,68	0,89	20	140	0,14
	0,70	1,01	0,59	1,44	30	170	0,18
	0,75	1,01	0,66	1,35	20	150	0,13
	0,66	0,91	0,63	1,38	30	130	0,23
	0,77	0,84	0,66	1,09	20	120	0,17
	0,73	0,87	0,59	1,19	20	150	0,13
	0,89	0,80	0,73	0,90	20	140	0,14
	0,84	0,80	0,70	0,95	30	170	0,18
Moyenne	0,77	0,89	0,66	1,17	25	148	0,17
Ecart-type	0,08	0,09	0,04	0,21	5	16	0,03
CV	10,1	9,6	6,8	17,8	21,1	10,9	18,9

Flux mitral	E	A	Td	TRIV
	0,63	0,44	70	40
	0,71	0,55	60	40
	0,72	0,56	60	40
	0,71	0,48	70	40
	0,77	0,57	80	30
	0,70	0,52	70	30
	0,69	0,53	60	30
	0,76	0,54	60	40
	0,75	0,54	50	50
	0,61	0,46	60	30
Moyenne	0,71	0,52	64	37
Ecart-type	0,05	0,04	8	7
CV	7,4	8,5	13,2	18,2

Simpson	Vol 4C d	Vol 4C s	Vol 2C d	Vol 2C s
	1,65	0,58	1,03	0,44
	1,54	0,65	1,01	0,41
	1,91	0,69	1,90	0,71
	1,76	0,63	1,60	0,54
	2,43	0,79	1,56	0,57
	2,40	0,93	1,78	0,65
	2,52	0,67	1,63	0,73
	2,35	0,82	1,26	0,59
	1,95	0,90	2,27	0,75
	2,08	0,77	2,03	0,89
Moyenne	2,06	0,74	1,61	0,63
Ecart-type	0,35	0,12	0,41	0,15
CV	17,1	15,8	25,8	23,5

Flux aortique	V max	Ta	Te
	1,03	40	170
	1,03	40	170
	1,02	60	170
	1,02	60	180
	1,04	40	170
	1,00	40	170
	0,95	40	170
	1,04	60	180
	1,02	50	180
	1,02	50	180
Moyenne	1,02	48	174
Ecart-type	0,03	9	5
CV	2,6	19,1	3,0

Flux tricuspide	E	A	Td
	0,68	0,50	130
	0,59	0,42	130
	0,58	0,46	110
	0,61	0,44	70
	0,52	0,43	110
	0,66	0,52	110
	0,58	0,44	90
	0,53	0,44	80
	0,61	0,42	120
	0,59	0,41	80
Moyenne	0,60	0,45	103
Ecart-type	0,05	0,04	22
CV	8,4	8,0	21,0

ANNEXE 9 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°9.

TM VG (CT)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,30	1,78	0,45	0,47	1,08	0,61	39	9,38
	0,28	1,69	0,35	0,52	1,08	0,63	36	6,97
	0,30	1,90	0,40	0,42	1,08	0,63	43	9,52
	0,30	1,78	0,40	0,45	1,03	0,61	42	8,60
	0,33	1,55	0,42	0,52	1,05	0,59	32	7,62
	0,30	1,71	0,40	0,45	1,08	0,59	37	8,09
	0,28	1,80	0,40	0,47	1,10	0,54	39	8,44
	0,26	1,78	0,30	0,42	1,10	0,54	38	6,57
	0,35	1,43	0,37	0,40	1,03	0,59	28	6,44
	0,30	1,57	0,42	0,45	1,10	0,59	30	7,37
Moyenne	0,30	1,70	0,39	0,46	1,07	0,59	36	7,90
Ecart-type	0,03	0,14	0,04	0,04	0,03	0,03	5	1,09
CV	8,5	8,4	10,7	8,8	2,5	5,3	13,7	13,8

TM VG (CL)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,28	1,64	0,42	0,45	1,09	0,59	36	7,59
	0,35	1,41	0,42	0,49	0,89	0,54	37	6,89
	0,28	1,64	0,42	0,52	1,01	0,61	38	5,53
	0,30	1,59	0,37	0,45	1,01	0,59	36	6,86
	0,35	1,48	0,42	0,42	0,94	0,61	36	7,38
	0,35	1,62	0,40	0,54	0,87	0,61	46	8,14
	0,35	1,52	0,35	0,54	0,96	0,59	37	6,78
	0,33	1,52	0,33	0,40	0,91	0,54	40	6,30
	0,28	1,69	0,40	0,45	1,03	0,59	39	7,66
	0,30	1,62	0,35	0,45	0,87	0,66	46	6,79
Moyenne	0,32	1,57	0,39	0,47	0,96	0,59	39	6,99
Ecart-type	0,03	0,09	0,03	0,05	0,08	0,03	4	0,75
CV	10,1	5,5	9,0	10,4	7,8	5,9	9,9	10,7

AG Ao 2D	AG	Ao	AG/Ao
	1,30	0,98	1,33
	1,31	0,89	1,47
	1,28	0,97	1,32
	1,39	0,93	1,49
	1,32	0,92	1,43
	1,35	0,86	1,57
	1,31	0,95	1,38
	1,28	0,96	1,33
	1,25	0,89	1,40
	1,32	0,90	1,47
Moyenne	1,31	0,93	1,42
Ecart-type	0,04	0,04	0,08
CV	3,0	4,3	5,8

TM VM	DE	EF	E-S
	18,75	13,63	0,09
	15,61	12,23	0,07
	19,89	9,34	0,12
	21,62	15,34	0,09
	22,68	8,93	0,14
	20,57	13,04	0,12
	17,40	8,44	0,14
	26,02	8,69	0,14
	29,53	8,17	0,16
	19,51	10,85	0,14
Moyenne	21,16	10,87	0,12
Ecart-type	4,10	2,54	0,03
CV	19,4	23,4	23,8

TP	Vmax	Ta	Ao	TP
	0,76	70	0,89	0,73
	0,78	80	0,84	0,79
	0,82	80	0,82	0,72
	0,79	70	0,83	0,71
	0,75	60	0,77	0,70
	0,79	70	0,80	0,57
	0,73	80	0,82	0,68
	0,70	110	0,88	0,77
	0,72	70	0,86	0,74
	0,78	70	0,87	0,73
Moyenne	0,76	76	0,84	0,71
Ecart-type	0,04	13	0,04	0,06
CV	4,9	17,8	4,5	8,4

TM Ao	Ao	AG	sep cusp	AG/Ao	TPE	TE	TPE/TE
	0,80	1,22	0,68	1,53	30	170	0,18
	0,77	1,20	0,70	1,56	20	160	0,13
	0,82	1,17	0,56	1,43	30	190	0,16
	0,84	1,24	0,70	1,48	40	190	0,21
	0,89	1,17	0,68	1,31	20	160	0,13
	0,87	1,27	0,66	1,46	30	190	0,16
	0,73	1,17	0,63	1,60	30	170	0,18
	0,70	1,08	0,66	1,54	30	180	0,17
	0,82	1,08	0,70	1,32	20	180	0,11
	0,89	1,29	0,75	1,45	30	170	0,18
Moyenne	0,81	1,19	0,67	1,47	28	176	0,16
Ecart-type	0,06	0,07	0,05	0,10	6,325	12	0,03
CV	8,0	6,0	7,5	6,6	22,6	6,7	19,1



Flux mitral	E	A	Td	TRIV
	0,59	0,39	120	50
	0,63	0,43	70	40
	0,57	0,44	80	60
	0,62	0,50	80	50
	0,61	0,53	90	40
	0,63	0,40	80	50
	0,61	0,48	80	50
	0,56	0,43	70	50
	0,55	0,43	100	40
	0,51	0,48	80	40
Moyenne	0,59	0,45	85	47
Ecart-type	0,04	0,04	15	7
CV	6,7	9,9	17,8	14,4

Simpson	Vol 4C d	Vol 4C s	Vol 2C d	Vol 2C s
	2,95	1,26	3,46	1,86
	2,44	1,10	3,49	1,30
	2,59	1,04	3,23	0,98
	2,32	0,97	3,75	1,45
	3,16	1,20	3,68	1,03
	2,41	1,28	3,97	1,71
	2,61	0,98	3,36	1,55
	3,48	1,24	3,65	2,05
	2,59	1,08	4,28	1,28
	2,65	1,12	3,35	1,85
Moyenne	2,72	1,13	3,62	1,51
Ecart-type	0,37	0,11	0,32	0,36
CV	13,5	10,1	8,8	24,1

Flux aortique	V max	Ta	Te
	1,06	40	180
	1,08	50	170
	0,98	60	190
	0,96	40	180
	1,00	60	190
	0,99	50	180
	0,98	40	180
	0,95	30	170
	1,01	40	170
	0,99	40	180
Moyenne	1,00	45	179
Ecart-type	0,04	10	7
CV	4,1	21,6	4,1

Flux tricuspide	E	A	Td
	0,63	0,41	80
	0,64	0,48	90
	0,50	0,31	90
	0,48	0,37	90
	0,48	0,40	60
	0,50	0,48	70
	0,50	0,40	110
	0,50	0,43	70
	0,56	0,44	90
	0,54	0,44	110
Moyenne	0,53	0,42	86
Ecart-type	0,06	0,05	16
CV	11,1	12,3	19,1

ANNEXE 10 : Valeurs mesurées, moyenne, écart-type et coefficient de variation mesuré pour chaque paramètre étudié pour le chat n°10.

TM VG (CT)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,33	1,45	0,37	0,54	0,84	0,56	42	6,33
	0,37	1,41	0,40	0,52	0,77	0,56	45	6,89
	0,35	1,41	0,35	0,49	0,70	0,61	47	5,49
	0,30	1,34	0,40	0,52	0,84	0,54	37	5,66
	0,30	1,31	0,40	0,52	0,77	0,66	41	5,49
	0,33	1,55	0,35	0,61	0,77	0,73	50	6,73
	0,47	1,31	0,40	0,54	0,73	0,54	44	7,35
	0,37	1,48	0,35	0,52	0,75	0,61	49	6,76
	0,35	1,38	0,45	0,52	0,68	0,63	51	7,03
	0,35	1,38	0,40	0,47	0,82	0,61	41	6,45
Moyenne	0,35	1,40	0,39	0,53	0,77	0,61	45	6,42
Ecart-type	0,05	0,08	0,03	0,04	0,05	0,06	5	0,67
CV	13,7	5,4	8,3	7,0	7,2	9,8	10,2	10,4

TM VG (CL)	SIVd	VGd	PPVGd	SIVs	VGs	PPVGs	FR	Masse VG
	0,50	1,52	0,42	0,45	0,84	0,63	45	7,67
	0,26	1,50	0,33	0,45	0,82	0,59	45	5,39
	0,35	1,48	0,45	0,52	0,80	0,63	46	7,76
	0,30	1,45	0,40	0,45	0,77	0,61	47	6,33
	0,35	1,62	0,40	0,45	0,96	0,59	41	8,14
	0,30	1,48	0,33	0,52	0,82	0,61	45	5,72
	0,35	1,34	0,40	0,52	0,70	0,63	48	6,19
	0,37	1,38	0,45	0,61	0,68	0,56	51	7,27
	0,40	1,22	0,40	0,52	0,73	0,63	40	5,95
	0,37	1,34	0,35	0,56	0,75	0,61	44	5,87
Moyenne	0,36	1,43	0,39	0,51	0,79	0,61	45	6,63
Ecart-type	0,07	0,11	0,04	0,05	0,08	0,02	3	0,99
CV	18,5	8,0	11,1	10,9	10,3	3,8	7,1	14,9

AG Ao 2D	AG	Ao	AG/Ao
	1,00	0,90	1,11
	1,06	0,99	1,07
	1,01	1,00	1,01
	1,06	0,95	1,12
	1,01	1,05	0,96
	1,07	1,03	1,04
	1,06	0,98	1,08
	1,05	1,03	1,02
	1,12	1,00	1,12
	1,04	1,04	1,00
Moyenne	1,05	1,00	1,05
Ecart-type	0,04	0,05	0,06
CV	3,4	4,6	5,2

TM VM	DE	EF	E-S
	15,07	7,29	0,14
	19,69	10,85	0,19
	13,12	11,45	0,19
	28,48	15,19	0,14
	19,69	13,50	0,16
	21,09	6,33	0,19
	18,29	6,56	0,21
	15,67	6,68	0,21
	21,94	8,96	0,16
	11,81	7,91	0,16
Moyenne	18,49	9,47	0,18
Ecart-type	4,88	3,13	0,03
CV	26,4	33,1	15,1

TP	Vmax	Ta	Ao	TP
	1,07	60	0,99	0,89
	0,86	60	1,10	0,90
	0,91	60	1,03	0,97
	0,89	60	1,00	0,86
	0,84	50	1,00	0,93
	0,87	60	1,06	0,80
	0,97	70	1,04	0,81
	0,88	70	1,01	0,86
	0,93	80	0,99	0,78
	0,97	70	1,10	0,87
Moyenne	0,92	64	1,03	0,87
Ecart-type	0,07	8	0,04	0,06
CV	7,5	13,2	4,1	6,8

TM Ao	Ao	AG	sep cusp	AG/Ao	TPE	TE	TPE/TE
	1,01	0,94	0,80	0,93	20	140	0,14
	1,08	0,91	0,77	0,84	30	150	0,20
	0,96	0,98	0,73	1,02	20	160	0,13
	0,82	1,05	0,75	1,28	30	160	0,19
	1,15	0,98	0,80	0,85	30	170	0,18
	0,94	1,01	0,82	1,07	30	140	0,21
	1,12	0,98	0,82	0,88	20	170	0,12
	1,05	1,01	0,84	0,96	30	170	0,18
	0,98	1,03	0,82	1,05	30	160	0,19
	1,03	0,87	0,66	0,84	20	110	0,18
Moyenne	1,01	0,98	0,78	0,97	26	153	0,17
Ecart-type	0,10	0,06	0,05	0,14	5	19	0,03
CV	9,5	5,7	7,0	14,2	19,9	12,3	18,7

Flux mitral	E	A	Td	TRIV
	0,98	0,76	80	30
	0,75	0,65	70	40
	0,71	0,61	70	40
	0,71	0,58	70	40
	0,73	0,65	70	30
	0,72	0,57	70	30
	0,75	0,62	70	30
	0,80	0,70	80	30
	0,82	0,67	60	30
	0,83	0,61	60	30
Moyenne	0,78	0,64	70	33
Ecart-type	0,08	0,06	7	5
CV	10,7	9,0	9,5	14,6

Simpson	Vol 4C d	Vol 4C s	Vol 2C d	Vol 2C s
	1,43	0,50	2,19	0,93
	1,48	0,48	2,23	0,86
	1,85	0,69	2,07	0,66
	1,84	0,66	2,17	1,05
	2,04	0,51	2,20	0,67
	1,79	0,74	2,11	0,98
	1,91	0,58	2,55	1,17
	1,82	0,71	2,49	1,37
	2,25	0,80	1,89	0,76
	2,25	0,63	3,18	1,19
Moyenne	1,87	0,63	2,31	0,96
Ecart-type	0,27	0,11	0,36	0,24
CV	14,7	17,4	15,6	24,4

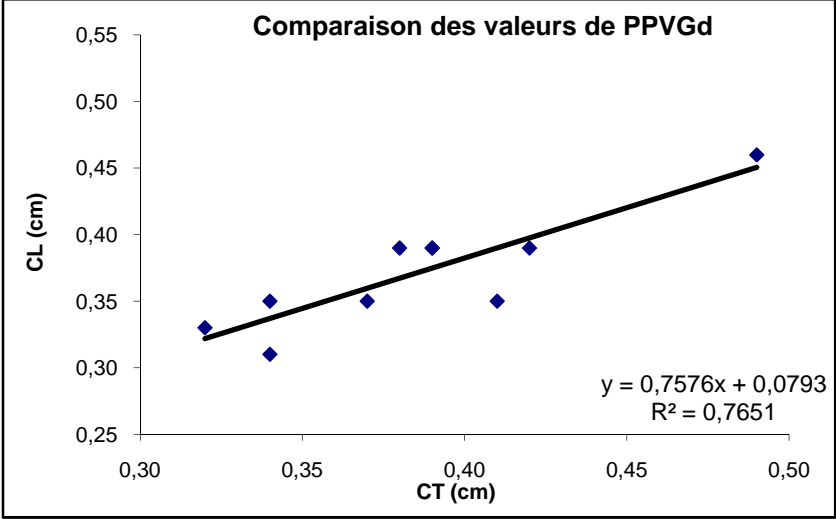
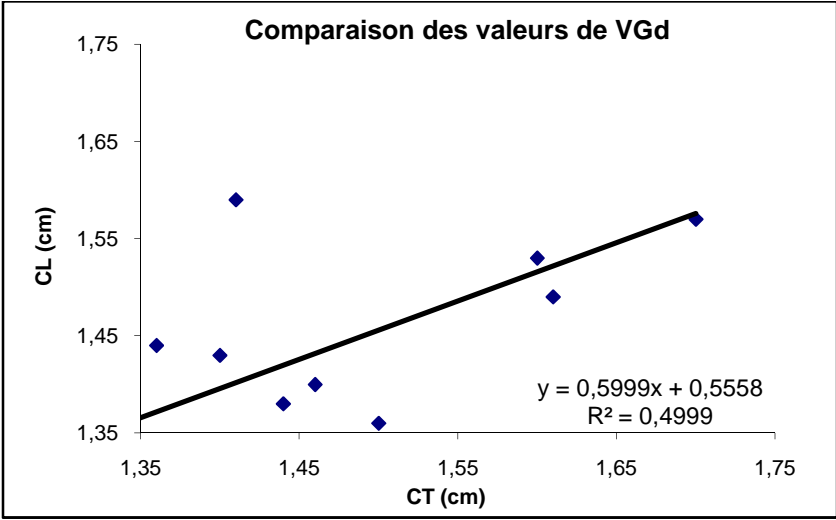
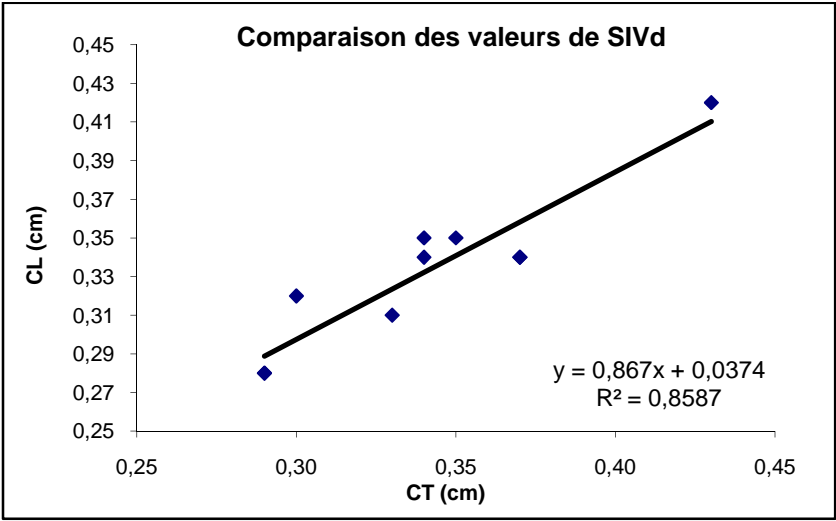
Flux aortique	V max	Ta	Te
	1,28	30	150
	1,34	40	160
	1,19	30	150
	1,26	40	150
	1,40	60	140
	1,31	30	150
	1,45	60	150
	1,41	40	150
	1,31	30	160
	1,44	40	140
Moyenne	1,34	40	150
Ecart-type	0,08	12	7
CV	6,3	28,9	4,4

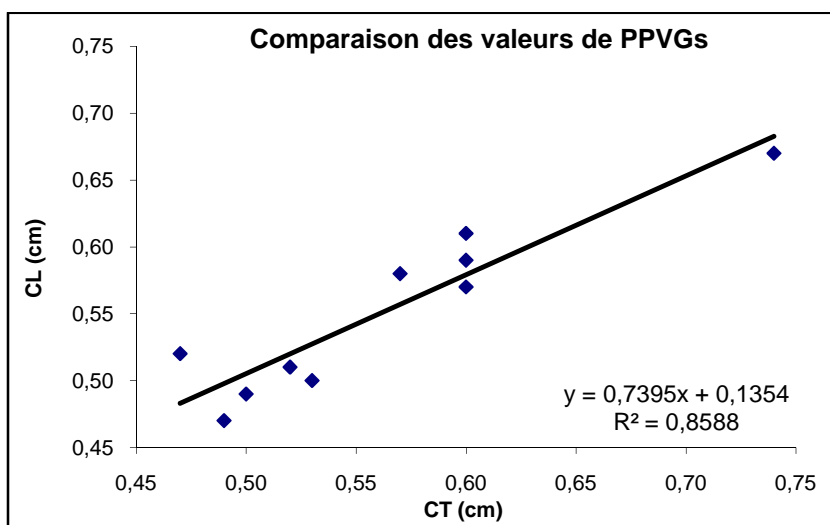
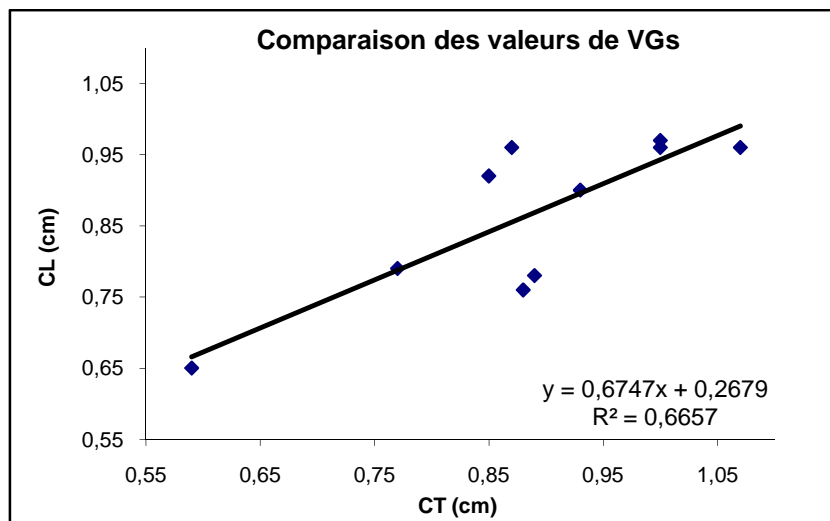
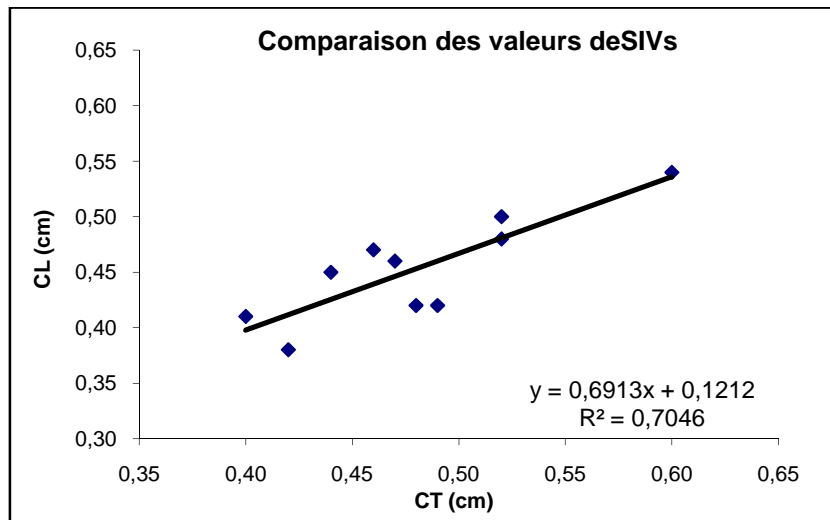
Flux tricuspide	E	A	Td
	0,66	0,55	70
	0,70	0,39	70
	0,65	0,55	70
	0,61	0,45	80
	0,65	0,43	80
	0,57	0,48	60
	0,79	0,55	70
	0,56	0,43	80
	0,54	0,46	100
	0,68	0,46	80
Moyenne	0,64	0,48	76
Ecart-type	0,07	0,06	11
CV	11,7	12,0	14,1

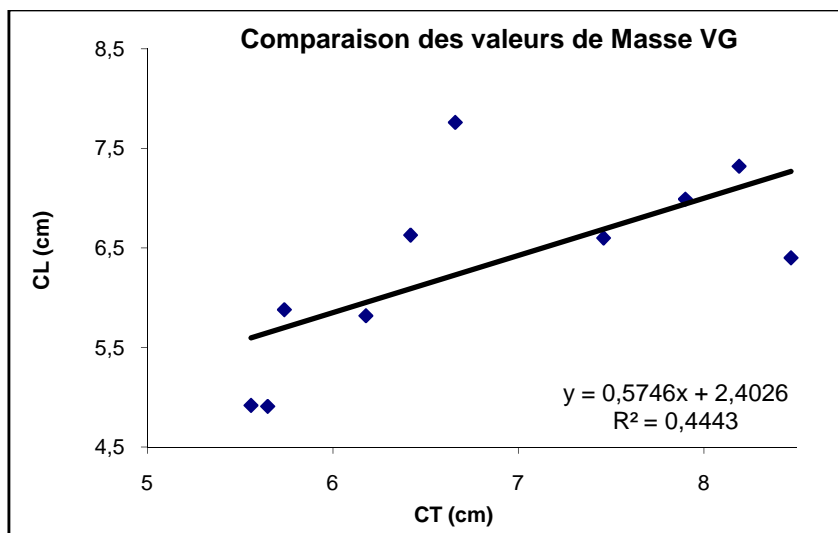
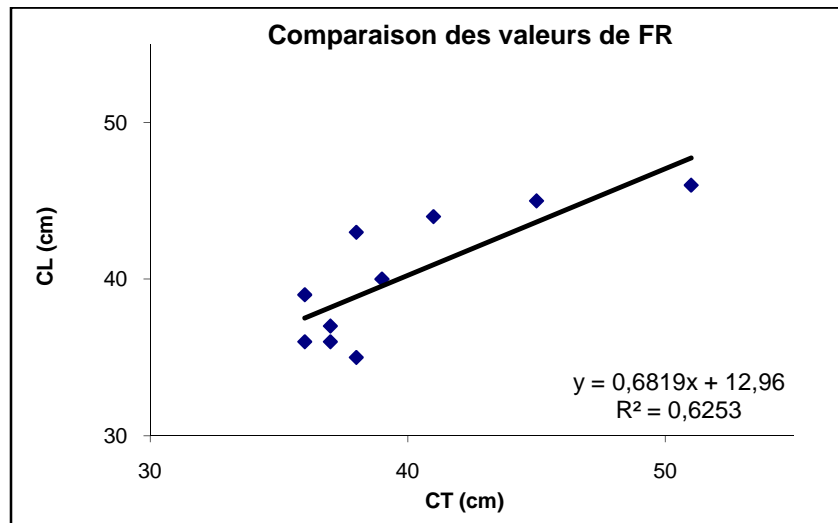
ANNEXE 11: Coefficient de variation de répétabilité moyen (en %) et intervalle de répartition des coefficients de variation de répétabilité (en %) obtenus pour les dix chats.

<b>TM VG (CT)</b>	<b>SIVd</b>	<b>VGd</b>	<b>PPVGd</b>	<b>SIVs</b>	<b>VGs</b>	<b>PPVGs</b>	<b>FR</b>	<b>Masse VG</b>
Moyenne	8,0	6,4	11,3	8,0	8,7	8,7	13,2	11,2
Intervalle	4,8-13,7	3,4-9,3	8,3-14,0	5,8-10,4	2,5-14,4	5,3-11,4	10,2-15,4	7,6-13,8
Ecart-type	2,5	2,0	1,7	1,8	3,3	1,9	1,7	1,8
<b>TM VG (CL)</b>	<b>SIVd</b>	<b>VGd</b>	<b>PPVGd</b>	<b>SIVs</b>	<b>VGs</b>	<b>PPVGs</b>	<b>FR</b>	<b>Masse VG</b>
Moyenne	10,8	5,8	9,6	8,4	8,2	6,7	10,4	11,0
Intervalle	6,9-18,5	3,7-8,2	6,1-16,2	5,7-12,4	5,4-10,5	3,8-8,9	5,9-14,3	6,5-18,2
Ecart-type	3,4	1,5	2,6	2,4	1,7	1,5	2,4	3,6
<b>AG Ao 2D</b>	<b>OG</b>	<b>Ao</b>	<b>OG/Ao</b>					
Moyenne	5,5	5,8	7,6					
Intervalle	3,0-8,8	4,0-9,7	4,7-10,9					
Ecart-type	1,7	1,9	2,1					
<b>TM VM</b>	<b>DE</b>	<b>EF</b>	<b>E-S</b>					
Moyenne	25,6	24,3	16,7					
Intervalle	15,0-33,1	16,7-41,7	6,3-23,8					
Ecart-type	6,5	7,9	5,9					
<b>TP</b>	<b>Vmax</b>	<b>Ta</b>	<b>Ao</b>	<b>TP</b>				
Moyenne	5,4	15,4	5,8	8,3				
Intervalle	2,7-9,7	9,2-24,3	3,5-8,3	5,6-14,1				
Ecart-type	1,9	4,5	1,9	2,3				
<b>TM Ao</b>	<b>Ao</b>	<b>AG</b>	<b>sep cusp</b>	<b>OG/Ao</b>	<b>TPE</b>	<b>TE</b>	<b>TPE/TE</b>	
Moyenne	9,7	7,6	8,1	12,9	21,8	11,3	20,9	
Intervalle	7,6-13,4	3,5-10,5	6,2-11,9	6,6-17,8	14,6-28,3	6,7-21,4	13,6-32,0	
Ecart-type	1,7	2,2	1,8	3,3	4,2	4,1	5,9	
<b>Flux mitral</b>	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>Td</b>	<b>TRIV</b>				
Moyenne	7,2	9,0	12,8	16,6				
Intervalle	5,6-12,1	6,5-14,6	6,7-17,8	14,3-20,5				
Ecart-type	2,3	2,3	3,3	2,3				
<b>Simpson</b>	<b>Vol 4C d</b>	<b>Vol 4C s</b>	<b>Vol 2C d</b>	<b>Vol 2C s</b>				
Moyenne	16,4	22,7	14,9	23,0				
Intervalle	10,9-25,0	10,1-60,7	8,8-25,8	14,8-42,4				
Ecart-type	5,3	14,4	4,7	7,6				
<b>Flux aortique</b>	<b>V max</b>	<b>Ta</b>	<b>Te</b>					
Moyenne	4,9	22,4	4,2					
Intervalle	2,6-8,7	17,2-28,9	2,1-7,0					
Ecart-type	1,7	3,7	1,4					
<b>Flux tricuspide</b>	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>Td</b>					
Moyenne	8,7	11,7	18,3					
Intervalle	4,8-13,4	8,0-17,5	14,0-21,0					
Ecart-type	3,1	3,0	2,7					

ANNEXE 12 : Comparaison des moyennes des mesures obtenues sur la coupe longitudinale en mode TM avec celles obtenues sur la coupe transversale en mode TM. Obtention de la droite de corrélation et du coefficient de corrélation R.

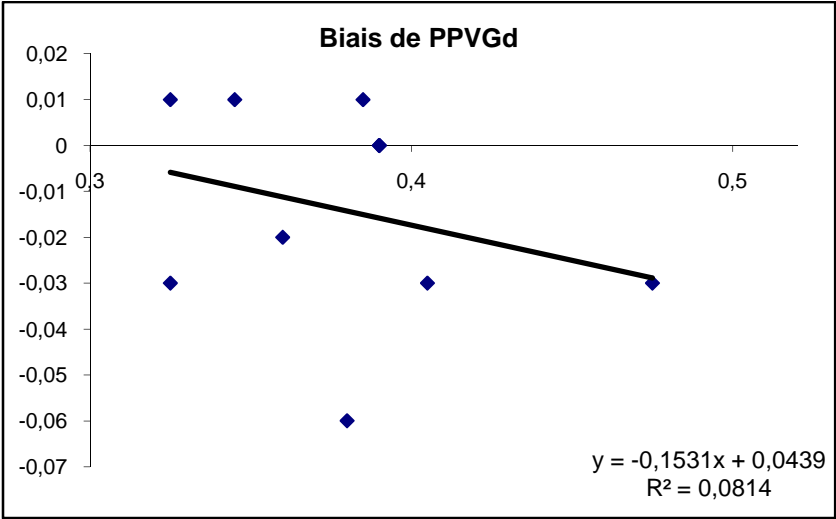
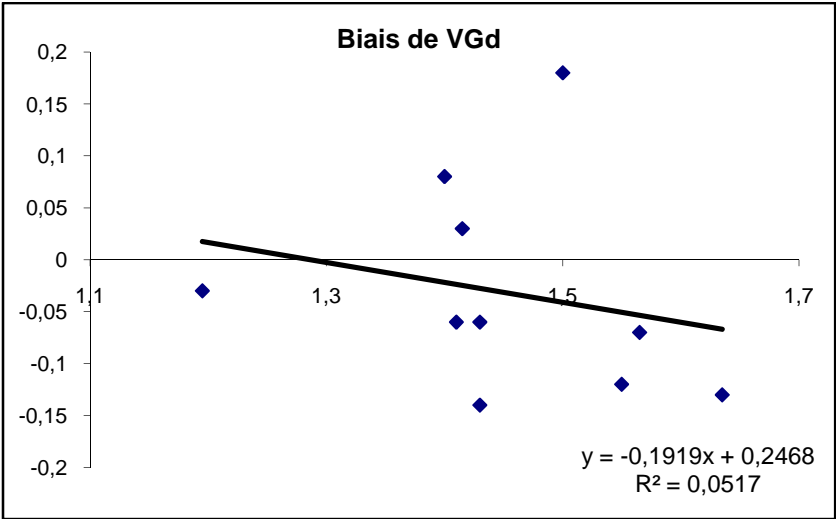
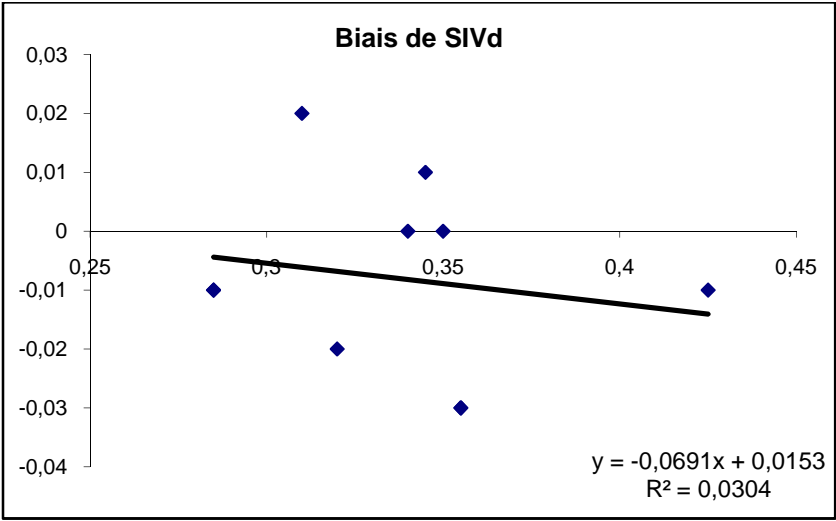


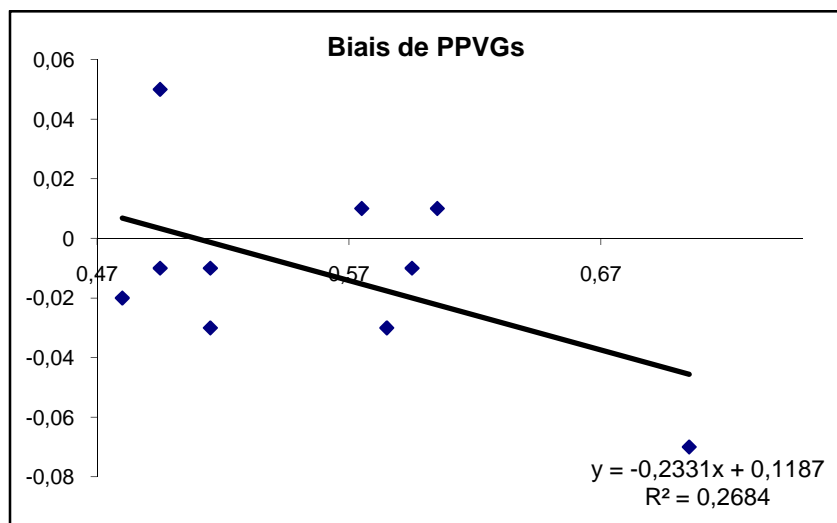
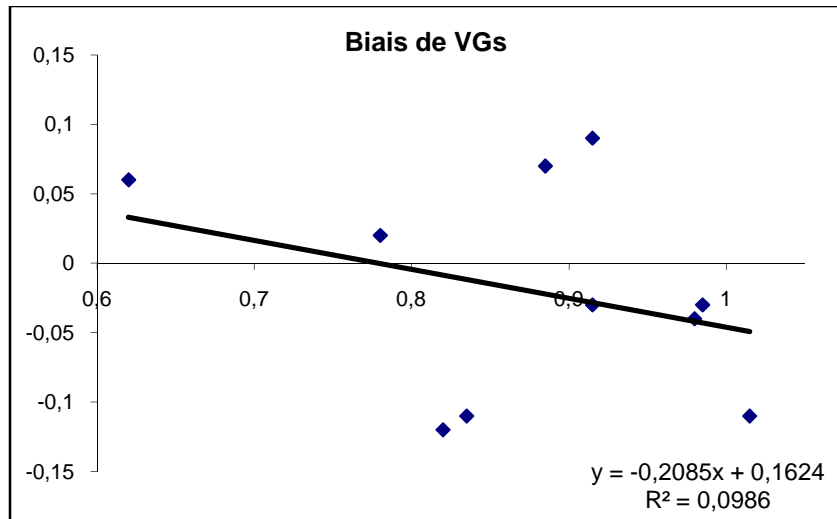
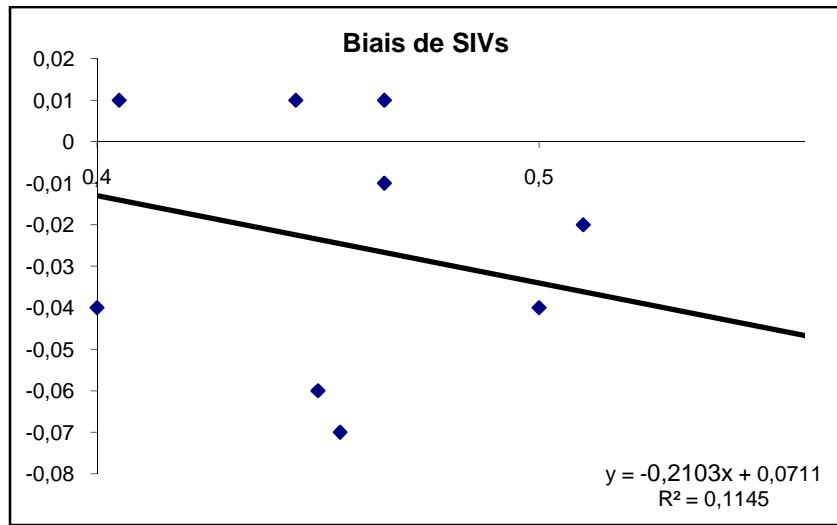


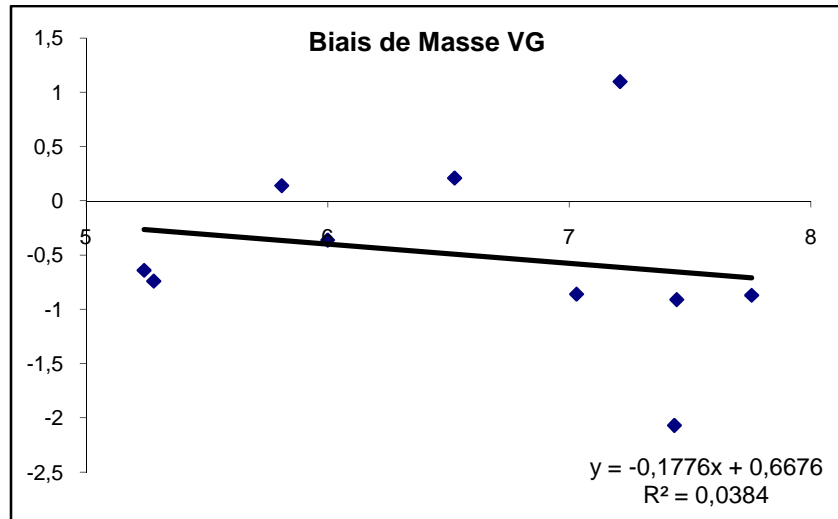
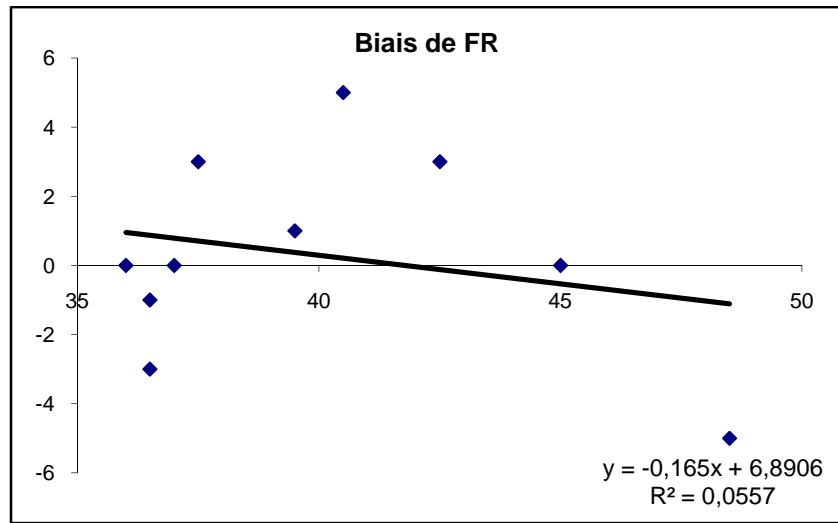




ANNEXE 13 : Courbe de biais présentant la différence des valeurs moyennes entre les 2 incidences (CL-CT) en fonction de moyenne du paramètre mesuré ((CT+CL)/2). Obtention de la droite de biais.







Achévé d'imprimer à TOULOUSE par  
la S.A.R.L. NOTREL



84, chemin des Capelles • 31300 TOULOUSE  
[notrel.sarl@wanadoo.fr](mailto:notrel.sarl@wanadoo.fr)