

SOMMAIRE

I. LE SON	page 3
I.A. INTRODUCTION	page 3
I.B. RAPPELS SUR L'ACOUSTIQUE	page 5
I.B.1. Le son et notre oreille	
I.B.2. Les caractéristiques primaires d'un son	
I.B.3. L'enveloppe du son	
I.C. REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES BRUITS	page 15
II. LES BRUITS CARDIAQUES	page 27
II.A. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES BRUITS CARDIAQUES NORMAUX	page 27
II.A.1. Le premier bruit cardiaque	
II.A.2. Le petit silence	
II.A.3. Le deuxième bruit cardiaque	
II.A.4. Le grand silence	
II.A.5. Le troisième bruit	
II.A.6. Le quatrième bruit	
II.A.7. Le bruit de galop par sommation	
II.A.8. Variation du volume sonore de l'auscultation	
II.B. REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES BRUITS CARDIAQUES NORMAUX	page 41
II.B.1. Le spectre des bruits cardiaques	
II.B.2. L'enregistrement PCG	
II.B.3. Le sonagramme	
II.C. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES BRUITS CARDIAQUES ANORMAUX	page 47
II.C.1. Les souffles systoliques	
II.C.2. Les souffles diastoliques	
II.C.3. Les souffles continus	
III. MATERIEL & METHODE	page 65
III.A. MATERIEL UTILISE	page 65
III.A.1. Le stéthoscope : <i>Pediatric Littmann</i> ®	
III.A.2. Le microphone à condensateur	
III.A.3. L'enregistreur numérique : <i>VS 840 EX</i> Roland®	
III.A.4. L'éditeur Audionumérique : Sound FORGE ®	
III.A.5. Les représentations graphiques du son par l'éditeur audionumérique Sound FORGE ®	

III.B. METHODE **page 83**

III.B.1. Les animaux enregistrés

III.B.2. Méthode d'enregistrement

III.B.3. Obtention du phonogramme

III.B.4. Obtention d'un sonogramme

III.B.5. Optimisation de l'enregistrement en vue de sa rediffusion

III.B.6. Rediffusion des enregistrements

IV. RESULTATS **page 93**

IV.A. LES ENREGISTREMENTS **page 93**

IV.B. LES TRACES NORMAUX **page 94**

IV.B.1. Le phonogramme

IV.B.2. Le spectre

IV.B.3. Le sonogramme

IV.C. LES SOUFFLES CARDIAQUES **page 101**

IV.C.1. Les souffles systoliques

IV.C.2. Les souffles diastoliques

IV.C.3. Les souffles continus

IV.D. QUELQUES ACCIDENTS RYTHMIQUES DU CHIEN ET DU CHAT **page 133**

IV.D.1 L'arythmie sinusale respiratoire

IV.D.2. Les extrasystoles

IV.D.3. La fibrillation atriale

V. DISCUSSION & CONCLUSION **page 139**

V.A. DISCUSSION **page 139**

V.B. CONCLUSION **page 143**

Annexe 1 : BIBLIOGRAPHIE **page 145**

Annexe 2 : Avertissements, Plages et CD Audio **page 151**

I/ LE SON

I.A. INTRODUCTION

L'étude que nous avons réalisée a deux buts essentiels. Le premier but est de pouvoir donner des repères aux étudiants qui sont parfois perdus quand ils utilisent pour les premières fois leurs stéthoscopes sans bien comprendre ce qu'ils entendent. Ces repères devront être simples à comprendre et facile à obtenir pour un cas donné.

L'enregistrement des auscultations permet de les rediffuser en amphithéâtre pour illustrer le cours magistral parfois abstrait lorsqu'il s'agit de décrire des sensations auditives par des mots ou même quelque métaphore. C'est le premier repère à fournir.

Le deuxième but est de compléter l'étude stéthoscopique des bruits et du rythme cardiaques par l'obtention de tracés graphiques de ces bruits, le phonogramme et le sonagramme. Ceci nous permet de traduire les renseignements subjectifs de l'oreille de l'examineur en éléments objectifs inscrits sur papier ou visibles sur écran. Les phonogramme et sonagramme, à leurs tours, étayeront les descriptions de l'auscultation et contribueront à son meilleur apprentissage. C'est le deuxième repère à fournir aux étudiants.

Nous nous proposons donc, après de brefs rappels sur l'acoustique et ses termes particuliers, de rassembler les données bibliographiques sur l'auscultation cardiaque. Nous décrirons, ensuite, le matériel et la méthode employés pour obtenir les enregistrements, le phonogramme et le sonagramme cardiaque. Nous étudierons, enfin, les auscultations et tracés obtenus chez des individus normaux et chez d'autres, représentant un ensemble de défauts auscultatoires fréquents en cardiologie vétérinaire. Nous étudierons d'abord les anomalies auscultatoires impliquant des bruits surajoutés tels que les souffles puis, quelques défauts auscultatoires rythmiques enregistrés lors des consultations de cardiologie de l'ENVA.

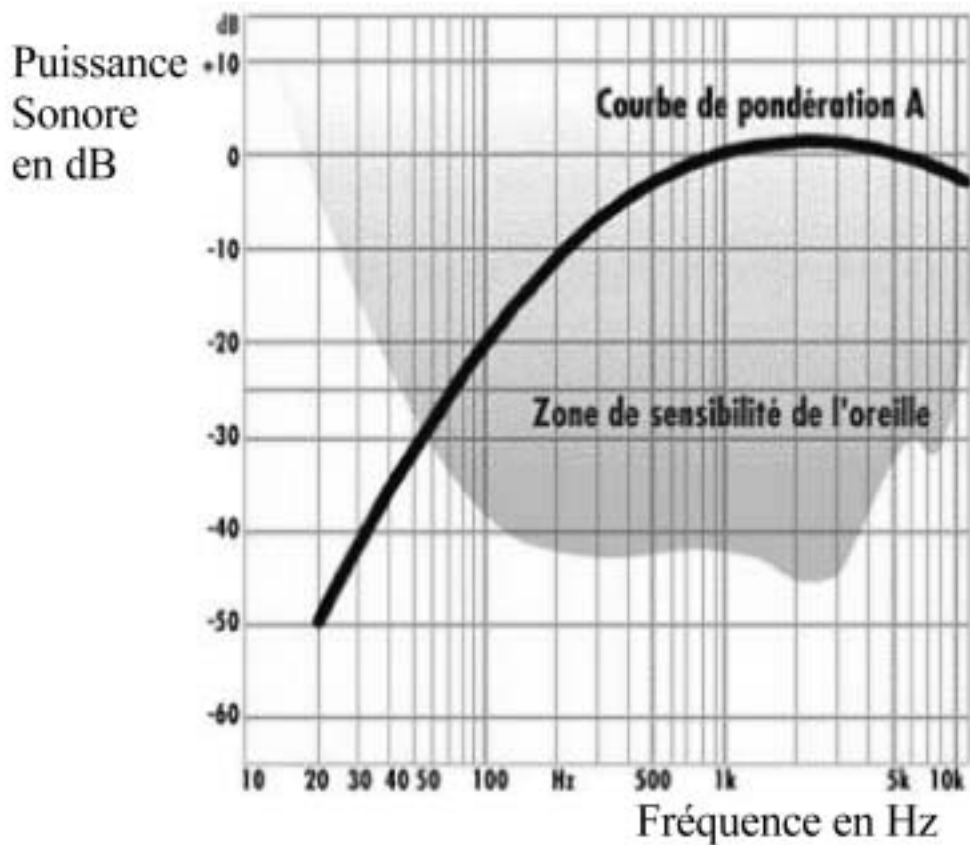


Figure 1 : Courbe d'isotonie de Fletcher et Munson. Courbe de pondération A.

La zone la plus sensible de l'oreille humaine se situe entre 100 Hz et 3000 Hz. Il s'agit justement des fréquences sur lesquelles s'étale la voix humaine.

La courbe de pondération A est la courbe de réponse d'un amplificateur audio phonique de classe A (la meilleur). Cette pondération peut, généralement, être commutée sur la façade de l'ampli grâce à un interrupteur appelé Loudness (suivant les marques...). L'écoute sera restituée avec la même sonie sur l'ensemble du spectre. (14) (50).

I.B. RAPPELS SUR L'ACOUSTIQUE

I.B.1. Le son et notre oreille

Nous sommes en permanence environnés de sons qui sont en fait des « ondes » ou vibrations de l'air. Quand ces vibrations arrivent à atteindre notre oreille et qu'elles sont interprétées par notre cerveau, elles deviennent du « son » - Il faut préciser qu'une faible partie des ondes existantes est audible -. Par simplicité, on prête à l'oreille la capacité d'entendre les fréquences allant de 20 Hz à 20 kHz. En réalité, cette perception est moins étalée (en moyenne de 32 Hz à 18 kHz (48).) et très fluctuante d'un individu à un autre, par exemple, un homme de 40 ans entend beaucoup moins bien les aigus (fréquences hautes) qu'un jeune adolescent (phénomène de presbyacousie = vieillissement de l'oreille).

De plus, sur l'ensemble des fréquences perçues par l'oreille, une même puissance sonore ne donnera pas une même impression de « force sonore » ou sonie. La sensibilité de l'oreille est fonction de la fréquence. Ainsi, tandis qu'à 4000 Hz (médium/aigu) une pression acoustique de moins de 2×10^{-5} Pa suffit à provoquer une sensation auditive, à 50 Hz (grave), une pression de 2×10^{-2} Pa est nécessaire, soit 1000 fois plus. (47). Il est possible de définir la courbe d'iso sensation ou iso sonie en fonction de la fréquence. Elle a été réalisée en 1918 par Fletcher et Munson et a été affinée pour obtenir la courbe visible sur la figure 1. (14) (50).

I.B.2. Les caractéristiques primaires d'un son.

Elles sont au nombre de trois : le volume, la hauteur et le timbre. (46). Pour expliquer ces trois caractéristiques, on utilisera la notion de forme d'onde qui est l'enregistrement du son représenté graphiquement par une courbe avec la puissance sonore mesurée en ordonnée (l'unité du système international est le bel mais on emploie le décibel pour manipuler des valeurs simples) et le temps en abscisse (en seconde ou milliseconde suivant la précision voulue).

I.B.2.a. Le volume.

Le volume dépend de l'amplitude de la forme d'onde. Plus cette amplitude est élevée et plus le son est fort. La comparaison de deux formes d'onde de même fréquence mais à volumes différents est simple comme on peut le voir sur la figure 2 ci-dessous. (4).

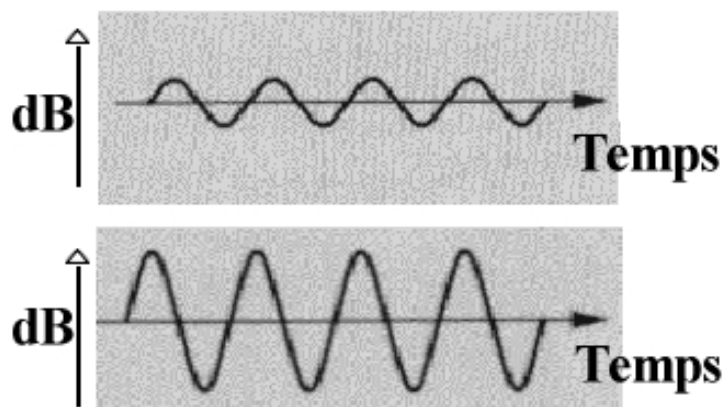


Figure 2 : Comparaison de deux formes d'onde

L'une est forte, elle a une grande amplitude. L'autre a un faible volume, l'amplitude est faible. (46)

I.B.2.b. La hauteur

La hauteur d'un son correspond à la fréquence de la forme d'onde. Plus la fréquence est élevée et plus le son est haut. Par exemple le LA4 (le LA du milieu d'un piano ou du téléphone décroché) a une fréquence de 440 Hz. Des formes d'onde ayant même volume mais fréquences différentes sont là encore simples à comparer sur la figure3. (4).

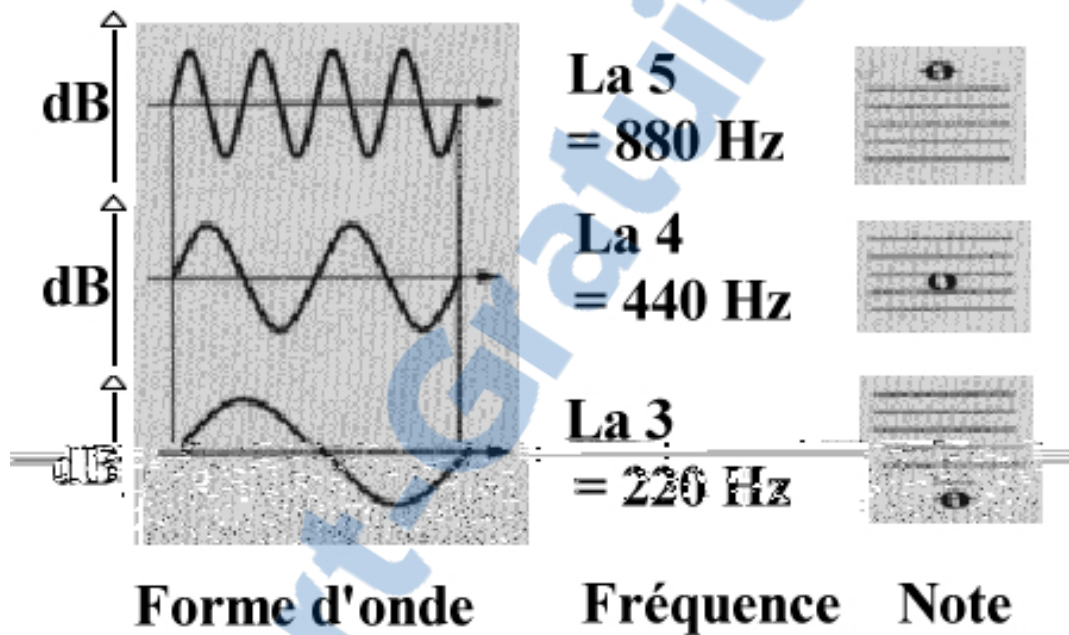


Figure 3 : Comparaison de trois formes d'onde

Elles sont toutes les trois séparées d'une octave, leur fréquence est donc multipliée par 2 par octave montée. Sur la droite du graphique, la note (ou hauteur) est placée sur une portée musicale. (46)

Remarque : on peut faire la différence entre un son et un bruit. Sensu Stricto, un bruit n'a pas de fréquence. Il n'est pas « mélodieux contrairement au son ». A titre de comparaison, un bruit est une consonne alors qu'un son est véritablement une syllabe contenant des voyelles. Ce que l'on appelle les bruits cardiaques sont en fait des sons tous comme les souffles cardiaques. On entend d'ailleurs souvent parler de BOUM pour B1 et de TA pour B2. On peut décrire les souffles par d'autres syllabes comme FOUF, FROUF, PAM... L'étude des bruits ne peut donc être faite que sur leurs rythmes et leurs enveloppes alors que les sons possèdent des caractéristiques plus nombreuses dont la fréquence et le timbre visibles sur phonogramme et sonagramme

I.B.2.c. Le timbre.

Le timbre est déterminé par l'allure de la forme de l'onde. Si on compare, sur la figure 4, une forme d'onde de piano avec une forme d'onde sinusoïdale, on peut voir qu'elle est plus complexe. Cette complexité est interprétée par nos oreilles comme caractéristique d'un son. Le timbre est aussi lié aux partiels (harmoniques) envisagés plus loin. (4).

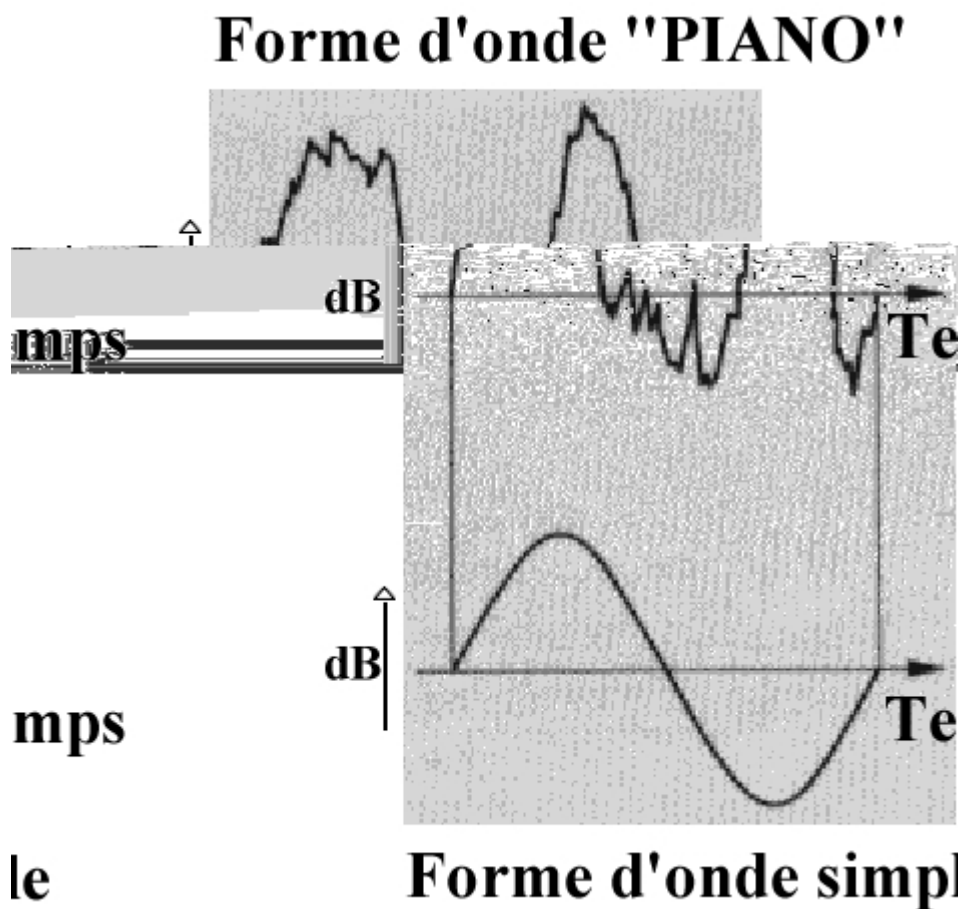
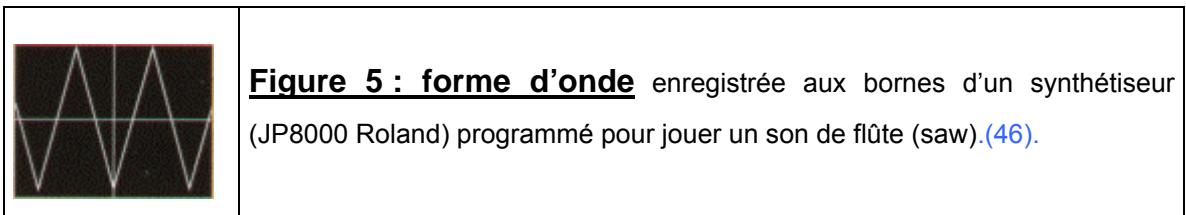


Figure 4 : Comparaison de deux formes d'onde

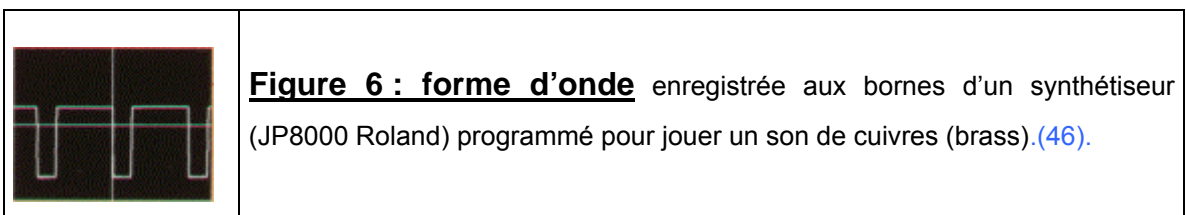
Elles ont la même fréquence, le même volume mais l'oreille mettra l'étiquette piano sur la première tandis qu'elle mettra l'étiquette sonnerie synthétique de téléphone sur la deuxième. C'est le timbre du dispositif sonore qui est différent. (46)

On peut voir les liens qu'il existe entre telles impressions sonores et telles formes d'onde :
Ces liens sont à la base des synthétiseurs analogiques des années 70.

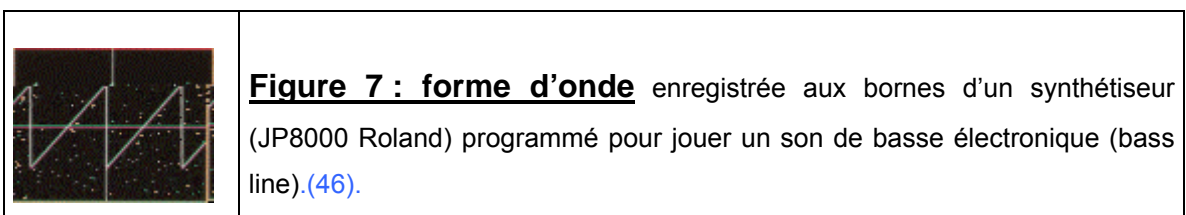
- Une forme d'onde triangulaire sera interprétée comme un son de flûte :



- Une forme d'onde carrée sera interprétée comme un son de cuivres :



- Une forme d'onde en dents de scie n'est pas naturelle mais peut être obtenue par enregistrement de la plupart des synthétiseurs analogiques beaucoup employés dans la musique techno :



La forme d'onde est en partie déterminée par les partiels ou harmoniques. Les formes d'ondes complexes peuvent être assimilées à une addition de formes d'ondes sinusoïdales simples. Par exemple, les formes d'onde en dents de scie correspondent à l'addition d'une fondamentale qui donne la hauteur de la note de par sa fréquence, et de formes d'ondes multiples de cette fréquence ($\times 2$ $\times 3$...) qui sont les partiels et qui déterminent le timbre dent de scie de l'instrument. Ces formes d'onde sont décomposées sur la figure 9.

Les multiples entiers de la fréquence fondamentale sont des partiels harmoniques ou harmoniques et ceux qui ne sont pas des multiples entiers sont dits inharmoniques. En les combinant ensemble, on peut obtenir une infinité de timbres instrumentaux et de notes différents.

Plus le son comporte de partiels de haute fréquence et plus il semble clair. Au contraire, plus il comporte de partiels de basses fréquences et plus le timbre est doux ou sombre. (4).

- Une forme d'onde « Super Saw » ressemble aux sons de cordes très riches. Cette forme est l'équivalent de 7 ondes en dents de scie additionnées et harmoniques :

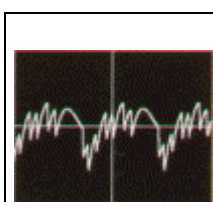


Figure 8 : forme d'onde enregistrée aux bornes d'un synthétiseur (JP8000 Roland) programmé pour jouer un son de violons (strings).(46).

Certaines équipes d'ingénieurs et de médecins ont tenté de réaliser l'algorithme et la synthèse des sons cardiaques (Notamment B1). Plus loin, nous étudierons un modèle réalisé sur l'homme et sur le chien réalisé à partir d'oscillateurs proches de ceux des synthétiseurs classiques.

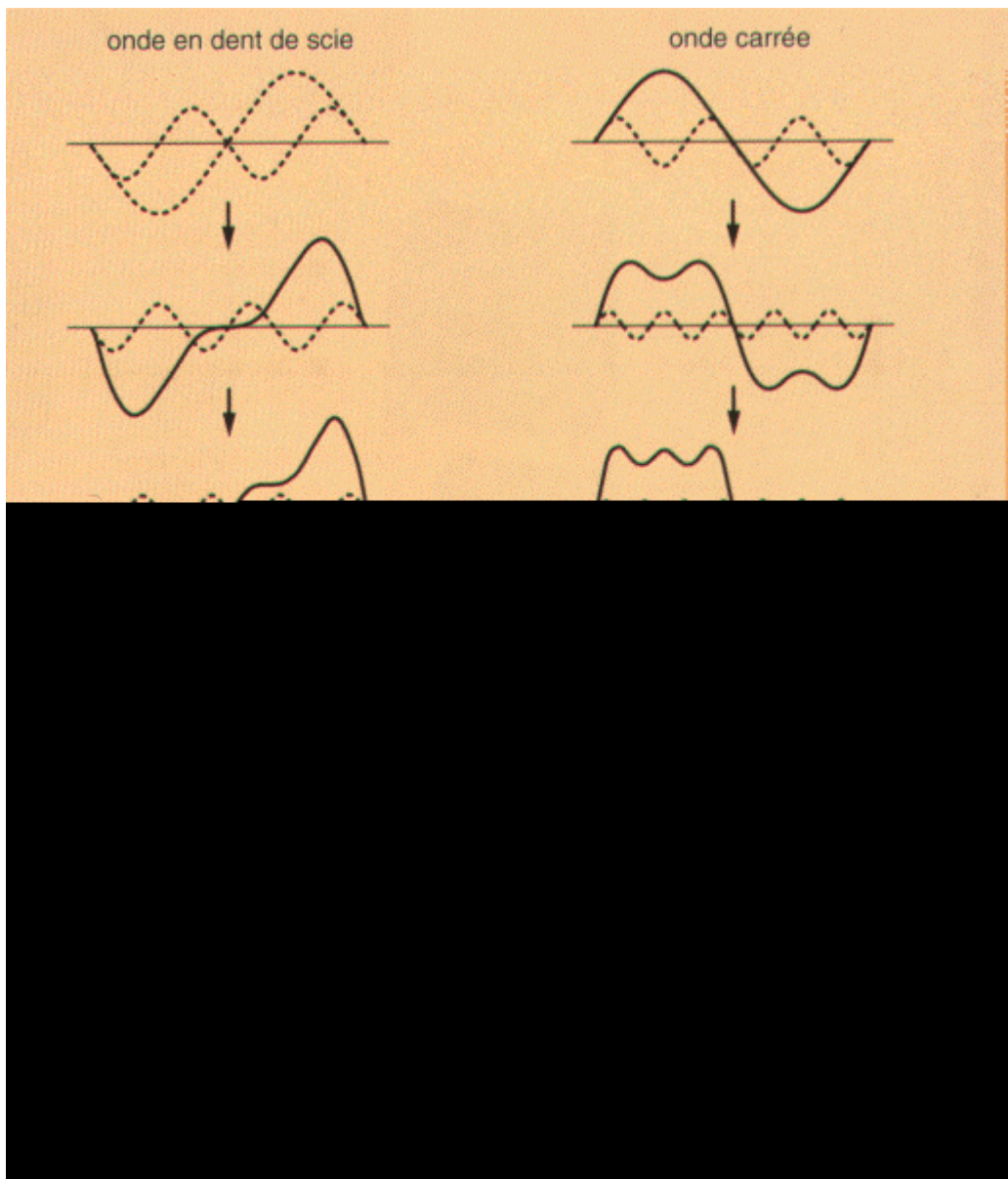


Figure 9 : Décomposition de deux types de formes d'onde en partiels sinusoïdaux simples

Les fréquences des différents partiels sont des facteurs ou des multiples de la fréquence de l'onde fondamentale (courbe du haut). Cette représentation est une déduction de l'analyse par les transformées de Fourier qui permet de mettre en évidence une périodicité donnée dans un échantillon donné.

Cela veut dire que tous les sons peuvent être recréés par un synthétiseur analogique. Seulement, sachant qu'il faut un circuit électronique oscillant (oscillateur) pour chaque partiel, les synthétiseurs sont vite débordés par la complexité du son à reproduire. En effet les meilleurs d'entre eux possèdent 16 oscillateurs. Aujourd'hui, on peut aller plus loin grâce aux émulations de synthétiseurs faites sur ordinateur (les émulations de synthétiseurs avec 24 oscillateurs sont maintenant accessibles (techniquement et financièrement...)). (46).

I.B.3. L'enveloppe du son.

Au cours d'une note, la forme d'onde évolue dans le temps entre son début et sa fin. Chacun des trois éléments (volume, hauteur, timbre) du son varie au cours du temps. On appelle ces changements, l'enveloppe du son. (4). C'est surtout l'enveloppe de volume qui est intéressante pour notre étude. Elle est décomposée sur la figure 10.

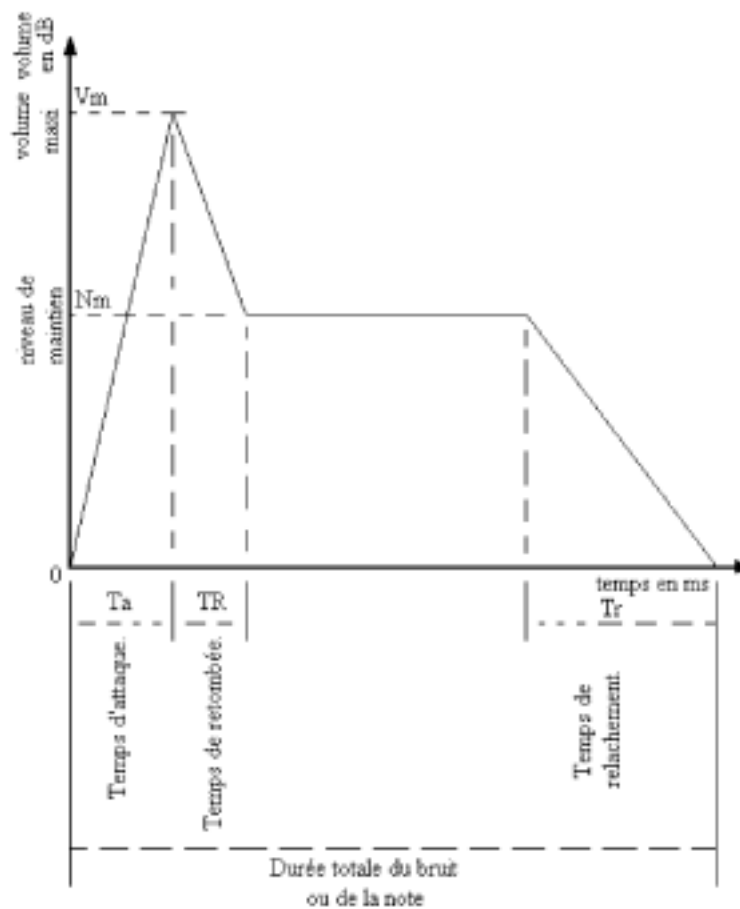


Figure 10 : Décomposition de l'enveloppe d'un son

Cette courbe ne correspond pas à un son donné, c'est un exemple qui permet de bien voir les différentes valeurs que prend le volume d'une forme d'onde au cours du temps. Des exemples plus précis sont présentés sur la figure 11. (26).

I.B.3.a. L'attaque

C'est le temps que met la forme d'onde à atteindre son volume maximum. Il est court sur un piano (corde frappée). Il est plus long sur un violon (mise en vibration d'une corde par frottement) ou sur un orgue (mise en vibration de l'air d'une colonne pipée par une soufflerie). On peut voir cette différence sur la figure 11.

I.B.3.b. La retombée

C'est le temps que met la forme d'onde à descendre de son volume maximum pour atteindre son volume de maintien. Il est d'un peu moins d'une seconde sur un piano. Il est nul sur un orgue d'église pour lequel l'air passant dans les pipes est constant jusqu'à ce que l'on relâche la touche. On peut voir cette différence sur la figure 11.

I.B.3.c. Le niveau de maintien

C'est le niveau produit par l'instrument une fois que son attaque est finie. Il peut être constant comme sur un orgue ou déclinant comme sur un piano (la corde n'est plus sollicitée même si on laisse son doigt sur la touche) ou une guitare. On peut voir cette différence sur la figure 11.

I.B.3.d. Le temps de relâchement

C'est le temps que met l'instrument à ne plus faire de bruit après avoir été sollicité. Sur un même instrument, on peut souvent le faire varier. Un guitariste peut laisser ses cordes vibrer jusqu'à 10 secondes ou étouffer immédiatement le bruit en plaçant sa main sur les cordes pour les empêcher de vibrer et donc de produire un quelconque son. Une fois encore, on peut voir cette différence sur la figure 11.

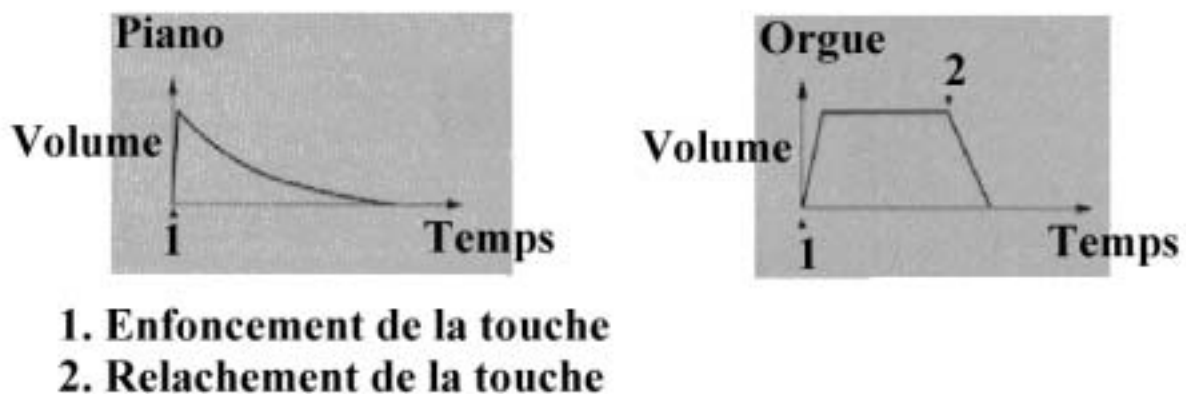


Figure 11 : Comparaison de deux enveloppes de volume

Le volume maximal des deux instruments est égal, la durée de la note aussi. L'attaque est très courte et le niveau de maintien est rapidement décroissant sur le piano.

Sur l'orgue, l'attaque est lente, la forme d'onde est longue à atteindre son volume maximum mais elle y persiste tant que la touche est enfoncée. (46).

I.C. REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES BRUITS

I.C.1. Utilité des graphiques

Comme on a pu le voir sur le graphique issu des calculs de Fletcher et Munson, figure 1, l'oreille n'a pas une sensibilité identique pour l'ensemble de l'audible. De plus, notre mémoire auditive est limitée et très subjective. Ainsi, si on veut comparer des enregistrements sonores tout à fait rigoureusement, il faut s'appuyer sur diverses représentations graphiques du son. Elles ont chacune une utilité spécifique que nous allons maintenant détailler.

I.C.2. La forme d'onde ou le phonogramme

Il s'agit d'une représentation à deux dimensions d'un bruit ou d'un son au cours du temps. La courbe obtenue est la variation de la pression acoustique (en dB) au cours du temps (en ms).

Ce tracé permet de juger l'amplitude d'un son et donc son enveloppe, de reconnaître, avec une certaine habitude, le timbre du son. Il faut cependant bien maîtriser ce tracé pour en dire quoi que ce soit. En effet les conclusions apportées par ce type de graphique sont souvent limitées. Ce type de tracé est utilisé depuis de nombreuses années en cardiologie grâce au phonocardiographe. Nous verrons les petites différences qu'il existe entre les tracés obtenus par cette méthode et les tracés obtenus par notre méthode.

Après avoir obtenu le phonogramme, on en sélectionne une partie pour la faire analyser par ordinateur et obtenir le sonagramme. Un exemple de phonogramme est donné figure 12.

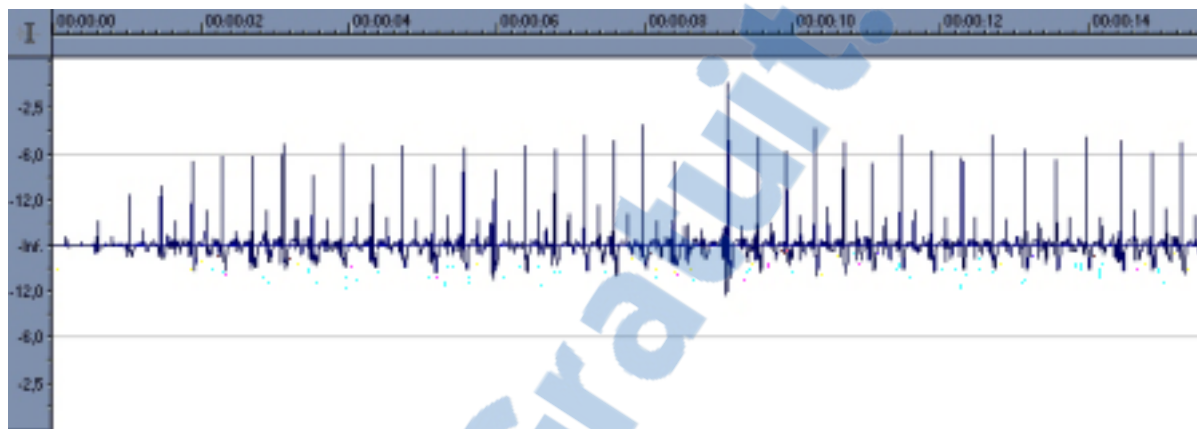


Figure 12 : Un phonogramme d'auscultation

Ce graphique est une capture d'écran sur PC faisant tourner Sound FORGE© (voir plus loin). En ordonnée, est représentée la puissance sonore en dB. En abscisse, le défilement de temps gradué en HH : MM : SS sur ce graphique.

Sur cet exemple, il s'agit de l'auscultation cardiaque d'un chien atteint d'extrasystoles. Chaque pic représente ici un B1 suivi d'un petit pic représentant un B2. On peut voir un accident rythmique du cœur à la 9^{ème} seconde d'enregistrement. La séquence de l'accident est un B1 normal, un B2 normal, un B ?, un grand B1, un B2 normal...

On remarquera que le volume des bruits cardiaques varie cycliquement en fonction de la respiration (un cycle respiratoire toutes les 3 secondes.).

On peut aussi remarquer l'analogie entre le phonogramme et le phonocardiogramme qui sera détaillé plus loin.

I.C.3. Le spectre

Il s'agit d'un graphique à deux dimensions représentant la puissance sonore totale cumulée (en dB) en fonction de la fréquence (en Hz) sur une durée D. Ce graphique ressemble au sonagramme de par sa construction mais perd sa relation avec le temps. Pour réaliser un bon spectre audio, il faut que la durée D soit la plus fine possible. La représentation spectre ne sera utilisée que pour des bruits bien identifiés et bien isolés : exemple : spectre de B1...

Le spectre est surtout utile pour vérifier les harmonies d'un son. Il ne sera que d'un intérêt mineur pour nous puisque les bruits cardiaques sont peu résonnants et peu harmonieux. Ils ne sont composés, généralement, que de leur fréquence fondamentale.

L'obtention du spectre est une étape préliminaire à l'obtention du sonagramme. Un exemple de spectre est donné figure 13.

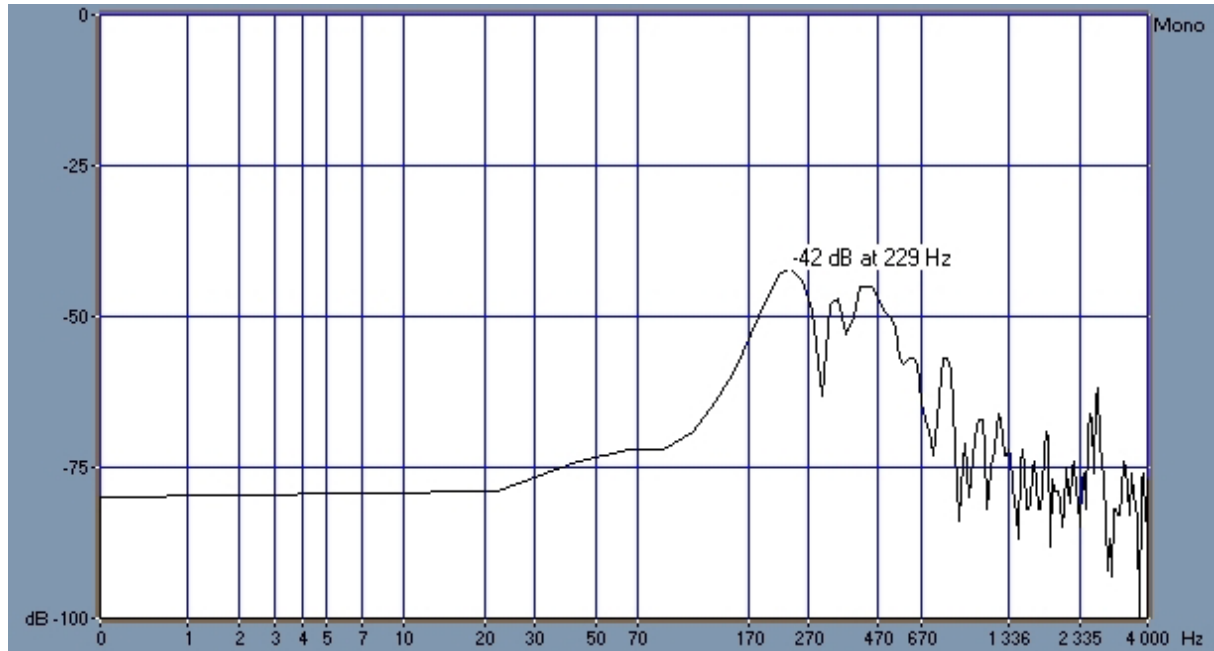


Figure 13 : Spectre d'un morceau de musique classique.

Ce spectre a été réalisé sur l'ensemble d'un mouvement de musique classique (environ 12 secondes). Lorsque le bruit ou le son analysé est complexe (ici un orchestre philharmonique), on peut voir que la courbe est elle-même complexe. On pourra lire sur ce graphique que le morceau est écrit dans la gamme du LA car le plus gros pic de ce spectre est proche de 220 Hz (fréquence du LA). C'est en fait la fondamentale du morceau (note la plus rencontrée dans la partition) et la fondamentale de l'orchestre jouant cette partition. Les autres pics sont dus aux autres notes de la partition et aux harmoniques des instruments jouant la partition. Même si on avait réalisé le spectre sur la durée d'une seule note, on aurait obtenu le même genre de petits pics. Ils sont les harmoniques des instruments de musiques : Par exemple : Une flûte donne la note fondamentale plus une série d'harmoniques impaires limitées à 10 (c'est à dire : $\times 3$ $\times 5$ $\times 7$ et $\times 9$). Contrairement, un piano donnera des harmoniques paires limitées à l'audibilité (c'est à dire $\times 2$ $\times 4$ $\times 6$ $\times 8$ $\times 10$... jusqu'à ce que la fréquence obtenue soit inaudible (supérieure à 20 000 Hz)). (23).

I.C.4. Le sonagramme

Il s'agit d'une représentation du son à trois dimensions permettant de connaître la répartition des fréquences le constituant en fonction du temps. Le graphique est construit de la façon suivante : En abscisse, le temps défile en millisecondes. En ordonnée, les fréquences défilent de la plus basse (grave) à la plus haute (aigu). Le plan du graphique est découpé en petits carrés (dont la surface est réglable suivant la précision que l'on veut obtenir : ceci est appelé le fenêtrage.). Suivant les règles mathématiques de la transformée de Fourier, FFT ou TFR, chacune de ces fenêtres est colorée suivant le volume relatif de la fréquence qu'elle représente à l'instant T. (7).

Ce graphique est beaucoup plus simple à interpréter que le phonogramme. Il est comme une portée musicale sur laquelle on place les notes de la plus grave à la plus aiguë en fonction du temps. Seul un critère se surajoute à cela, il s'agit de la couleur qui représente la force avec laquelle la note est jouée. Voir figure 14.

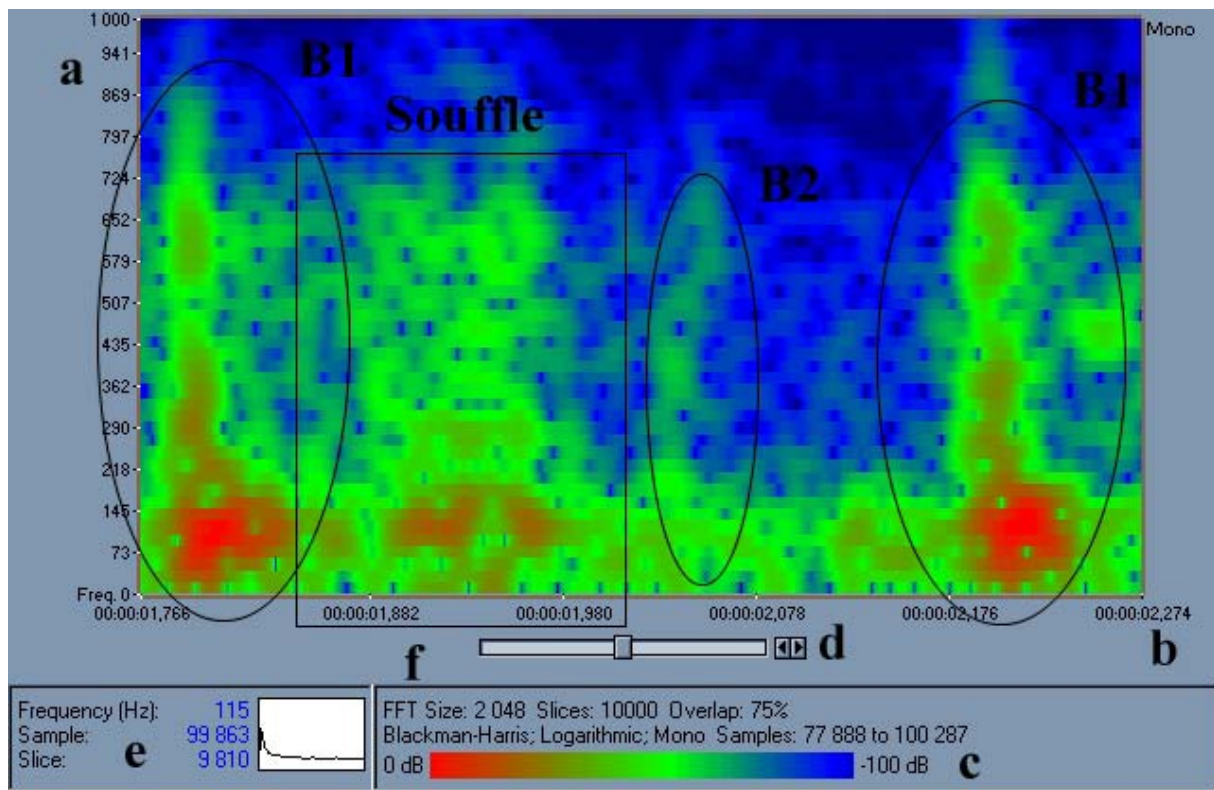


Figure 14 : Un sonogramme d'auscultation

Ce graphique est une capture d'écran sur PC faisant tourner Sound FORGE© (voir plus loin). En ordonnée, est représentée la fréquence en Hz. En abscisse, le défilement de temps gradué en HH : MM : SS : mS sur ce graphique.

Sur cet exemple, il s'agit de l'auscultation cardiaque d'un chien présentant un souffle systolique apexien gauche de régurgitation mitrale.

On peut voir sur ce tracé : a) L'échelle des fréquences b) Le défilement du temps c) L'échelle de puissance sonore relative d) le curseur permettant de faire varier l'échelle de couleur e) les paramètres de l'enregistrement f) les paramètres du sonogramme.

Le premier pic vert à noyau rouge est un B1 (au repère 1.766). Pour respecter le cycle cardiaque, le B1 suivant est aussi présent (au repère 2.176). On peut remarquer le B2 alors très diminué par l'affection (entre les repères 1.980 et 2.078). Ce sonogramme est intéressant puisqu'il représente le souffle et l'ensemble de ses propriétés acoustiques (entre les repères 1.882 et 1.980)

I.C.5. Le sonagramme, une représentation graphique incontournable (9)

La forme d'onde est la représentation graphique sonore la plus utilisée. Aujourd'hui, les élèves de seconde étudient les propriétés du son et il n'est pas rare que, dans les manuels scolaires, la seule représentation en soit le phonogramme. Nous allons cependant essayer d'en prouver les limites.

Voici deux phonogrammes sur la figure 15 :

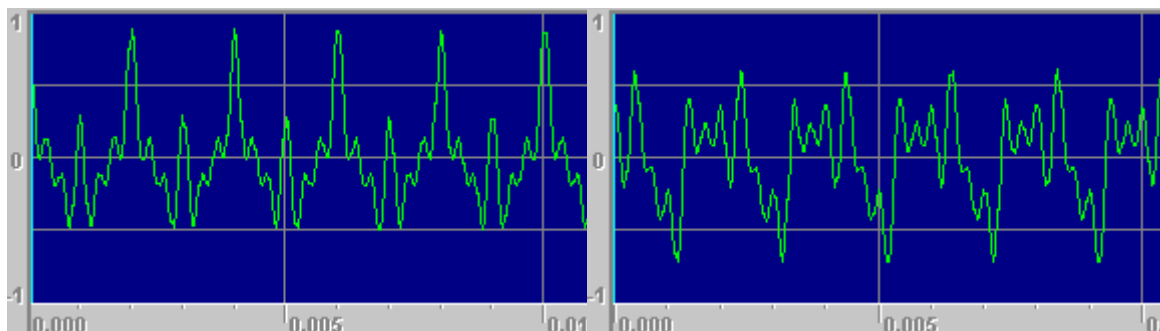


Figure 15 : Phonogrammes de deux formes d'ondes

Chaque forme d'onde est composée de quatre ondes sinusoïdales mixées dont les fréquences sont de 500, 1000, 2000 et 3000 Hz. Sur le premier phonogramme, les quatre ondes sont en accord de phase. Sur le second, l'onde la plus grave est en opposition de phase par rapport aux trois autres ondes. (9).

Si on compare les deux tracés sans connaître leur origine, on peut assez vite dire que ces deux bruits présentent un volume sonore identique (l'amplitude de la courbe est la même à gauche et à droite). Ils sont composés de basses fréquences identiques car les tracés présentent une symétrie par motif d'une durée de 0.0025 seconde. Ils sont, aussi, composés de moyennes et hautes fréquences qui sont les petits pics parcourant l'ensemble du tracé. Avec un peu d'habitude, on peut même dire que ces ondes sont harmonieuses car les motifs de la symétrie sont rigoureusement identiques et donc que les basses, les moyennes et les hautes fréquences composant ce son sont multiples l'une de l'autre.

En fait, si on écoute ces deux sons, ils sont rigoureusement identiques à l'oreille. Il s'agit d'un son synthétique composé de trois ondes harmonieuses dont on a décalé la phase de l'une par rapport à l'autre suivant l'enregistrement. Cependant, l'oreille ne fait pas la différence entre les phases et ne fait une différence que sur les composantes de ces sons.

Voici les spectres, figure 16, des deux sons de la figure 15 :

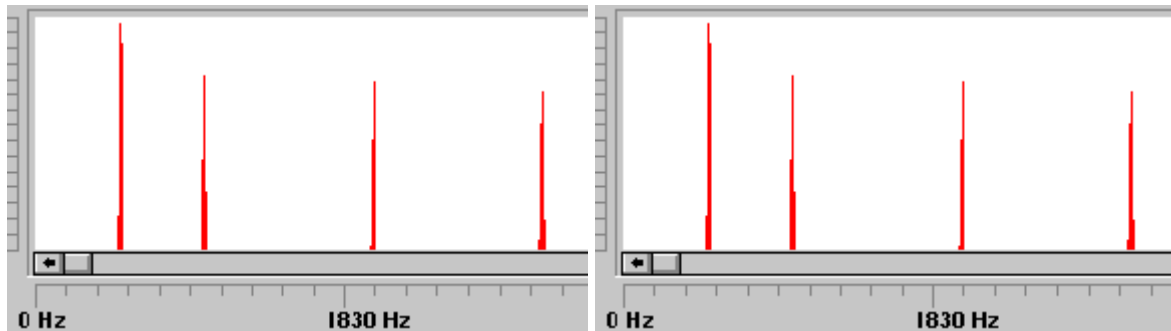


Figure 16 : Spectre des deux phonogrammes précédents

Ils sont rigoureusement identiques on peut lire les pics aux valeurs précitées : 500, 1000, 2000 et 3000 Hz. (9).

Grâce à ce graphique, en plus des conclusions déjà émises à partir du phonogramme, on peut tout de suite voir que ces deux sons sont composés des mêmes quatre fréquences dont le volume relatif est identique. On peut voir clairement que les fréquences sont harmonieuses entre elles (la 2^{ème} = 2x 1^{ère} ; la 3^{ème} = 4x 1^{ère} = 2x 2^{ème} ; la 4^{ème} = 6x 1^{ère} ...). Il est déjà plus facile de dire que ces deux sons sont identiques.

Voici deux autres phonogrammes (ils ont la même échelle) sur la figure 17 :

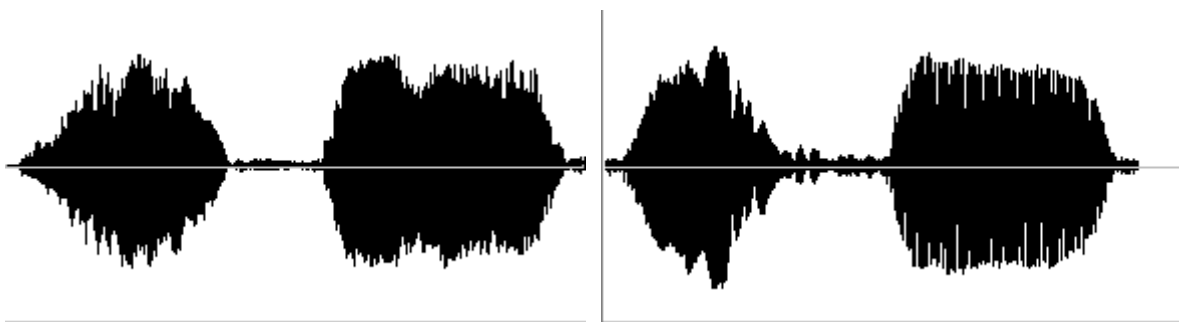


Figure 17 : Phonogrammes de deux formes d'ondes

Ils sont de deux origines totalement différentes. (9).

Lorsque le zoom n'est pas adapté, l'étude du phonogramme est très difficile car on peut en tirer des conclusions totalement fausses. L'enveloppe des deux sons paraît quasiment identique sur la figure 17, le volume aussi, ainsi que la durée totale des sons. Il ne faut surtout pas en déduire que ces deux sons sont identiques. En effet, le premier est un barrissement d'éléphant enregistré à une distance de 5 mètres tandis que le deuxième son est l'enregistrement d'un coucou à une distance d'un mètre.

Voici les sonagrammes de ces deux sons sur la figure 18 :

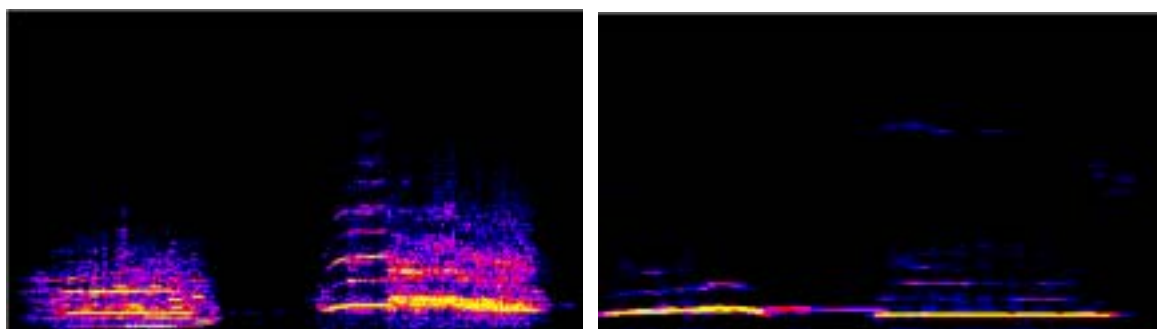


Figure 18 : Sonagrammes des deux phonogrammes précédents

Les sonagrammes de gauche et de droite ont la même échelle.

L'échelle des fréquences s'étale de 0 à 22100 Hz (la moitié de la fréquence d'échantillonnage) en abscisse et la durée s'étale de 0 à 3000 ms en ordonnée.

Les couleurs varient ici du noir (-00 dB) jusqu'au jaune (0dB).

Ces sonagrammes ont été obtenus par le logiciel COOL EDIT version 1.53 de 1996. (8) (9).

Ces deux sonagrammes sont manifestement différents. Ils sont véritablement une empreinte facile à étudier et à reconnaître.

I.C.6. Exemples d'utilisations médicales du sonagramme

Le sonagramme est utilisé dans tous les domaines où l'étude des sons produits renseigne sur une affection ou un état particulier.

Il est souvent utilisé pour étudier la fonction respiratoire : Des classifications des auscultations réalisées chez des personnes insuffisantes respiratoires et enfants asthmatiques ont été produites au cours des années 90. En 1991, l'étude était basée sur l'enregistrement de la toux produite par des enfants asthmatiques (52). En 1998, une méthode a permis la détection et la classification automatiques des sifflements produits par une respiration anormale. (56). En 1999, la simple auscultation pulmonaire a permis la reconnaissance du type et du degré d'asthme qui a pu être corrélée à plus de 95 % aux données cliniques. (43). En 1993, l'enregistrement des pleurs à la naissance a permis de distinguer les enfants ayant une bonne capacité respiratoire de ceux ayant des difficultés et nécessitant un suivi médical particulier. (41).

Le sonagramme a été utilisé pour étudier les langues et la diversité des sons de la langue anglaise en particulier. Cette étude permet de distinguer les personnes parlant l'anglais en tant que langue maternelle de celles qui ont appris l'anglais plus tard. Certaines consonnes, notamment, présentent des différences significatives. (13). Le sonagramme permet de constater objectivement les progrès des personnes en thérapie pour dysphonie. (34).

Enfin, le domaine de la cardiologie compte bon nombre d'études présentant le sonagramme comme un outil diagnostique utile. Dès 1974, des études portent sur les auscultations de patients portant des prothèses valvulaires. (2) (31).

II/ LES BRUITS CARDIAQUES

II.A. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES BRUITS CARDIAQUES NORMAUX

Par convention, lorsque l'on parle de systole ou de diastole, nous parlons des états ventriculaires, sinon, la précision sera faite. De plus, le cycle débute à l'onde P sur un ECG. Mais pour simplifier cet exposé, nous détaillerons le cycle cardiaque suivant les bruits cardiaques (B1, B2, B3 et B4), en commençant par B1. Nous verrons les relations et les repères qu'il y a entre l'électrocardiogramme, l'état du cœur et les sons, ici représentés par phonocardiographie (PCG), phonogrammes et sonagrammes.

II.A.1. Le premier bruit cardiaque

Chez le chien, il dure entre 0,08 et 0,10 seconde suivant la fréquence cardiaque. Il apparaît environ 0,04 seconde après le pic Q de l'ECG (11) suivant la localisation du microphone (0.035 à 0.07 s à gauche et 0.04 à 0.08 s à droite (55)). On peut aussi localiser B1 par rapport au pic R situé 0.02 seconde avant le bruit. C'est le plus fort des quatre bruits cardiaques. La chronologie est proche chez le chat, B1 dure entre 0,04 et 0.08 secondes.

On peut remarquer que les bruits cardiaques canins sont proches des bruits cardiaques humains. Le volume, la durée du cycle sont très semblables à l'homme adulte tandis que les fréquences des sons, assez hautes, sont proches de celles relevées chez l'enfant (11).

B1 a une enveloppe de volume caractéristique. Chaque phase occupe un quart de la durée totale du bruit. L'attaque est lente (premier quart), la retombée aussi, le maintien dure environ 0.02 seconde et enfin, le relâchement est lent et occupe le dernier quart du bruit.

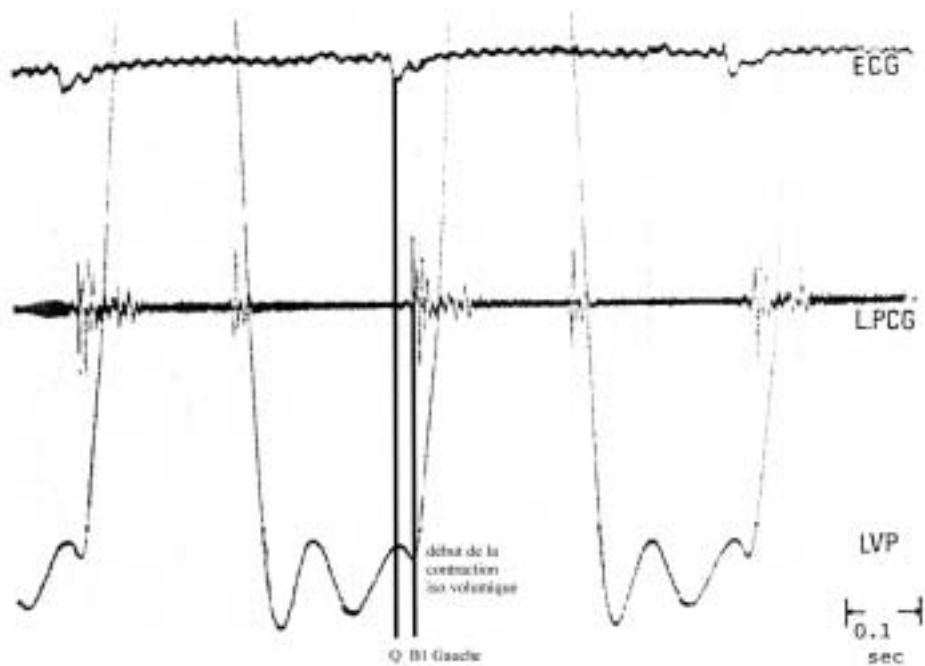
De nombreuses théories ont été énoncées sur l'origine de ce bruit. LEATHAM, en 1975, stipulait que les bruits étaient émis par les valves cardiaques au cours de leurs ouvertures et fermetures (16). Des études par cinangiocardigraphie et PCG synchronisées ont infirmé cette hypothèse. En effet, les valves mitrales sont en position fermées 10 millisecondes avant que le début de B1 ne soit capturé par le micro de la PCG (11).

Une autre théorie, émise par RUSHMER en 1952 puis reprise par LUISADA & al en 1971, est basée sur l'hémodynamique. Les bruits cardiaques sont produits par l'ensemble de la structure cardiaque, par la masse de sang intracardiaque ou même intrathoracique et par leurs interactions respectives au cours des accélérations et décélérations de cette masse sanguine. A partir de 1982, DURAND & al et WOOD & al ont repris cette idée. (16). Le bruit cardiaque est produit par la mise en tension des valvules et du myocarde ainsi que par la brusque interruption du flux sanguin. (11).

Cette origine explique le décalage qu'il existe entre un enregistrement PCG droit et un enregistrement PCG gauche. En effet, la différence de temps entre B1 gauche et B1 droit est due à la différence de temps qu'il existe entre le début de la contraction iso volumique gauche et la contraction iso volumique droite ; Ces différences de temps sont d'ailleurs quasiment égales. Elles sont visibles sur les deux tracés de la figure 19, l'un gauche, et l'autre droit, rassemblant ECG, PCG et Pression intra ventriculaire (obtenue par cathétérisme chez un chien anesthésié). (55).

Cette différence entre les chronologies droite et gauche implique l'apparition sur certains tracés d'un dédoublement du B1. Celui ci reste normal, en particulier, chez les grandes races. Il peut être plus facilement observé en région apexienne gauche.

Tracé Gauche



Tracé Droit

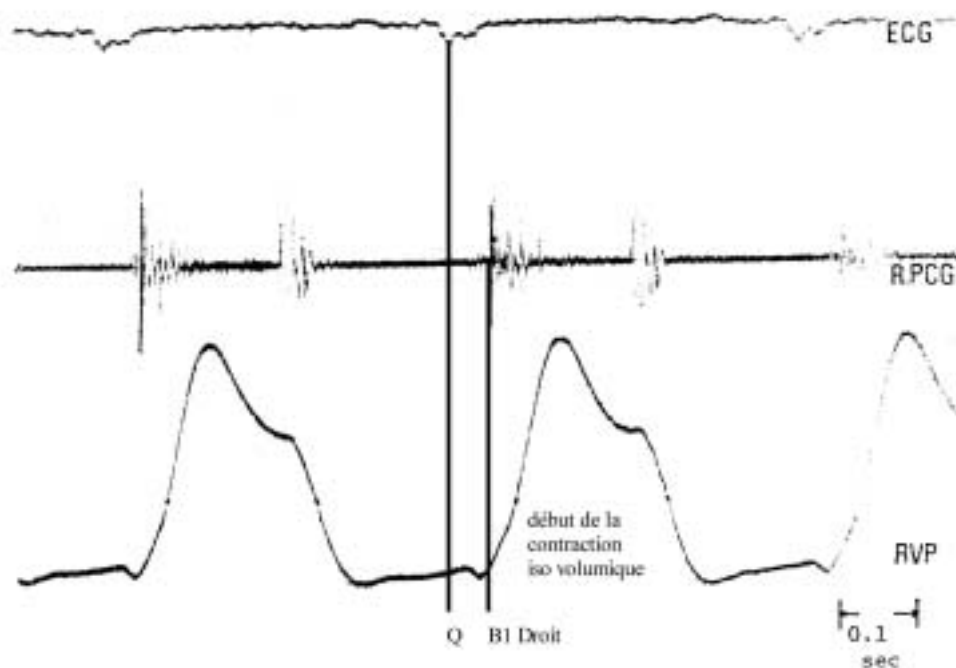


Figure 19 : Courbes d'ECG, PCG et PV gauches et droits:

Les repères tracés sur les deux courbes permettent de visualiser Q sur l'ECG, B1 et le début des contractions iso volumiques. La différence des intervalles Q-B1 est facilement remarquable.

LPCG = PCG Gauche ; LVP = Pression intra Ventriculaire Gauche ; RPCG = PCG Droit ; RVP = Pression intra Ventriculaire Droite. (55).

L'enregistrement de B1 et son analyse par les techniques mathématiques de transformées de Fourier (TFR ou FFT) ont permis de trouver trois partiels du son B1. Elles

sont détaillées sur la figure 20. Deux sont d'origine valvulaire (mitrale et tricuspide) et la troisième est d'origine myocardique. (16). Ces trois formes d'ondes ont été synthétisées puis mixées pour obtenir un B1 synthétisé. Il est encore éloigné du vrai B1. Une synthèse plus proche de ce son nécessiterait la connaissance d'au moins 5 partiels. Cette approche de l'étude des sons est rendue complexe par la lourdeur de la TFR.

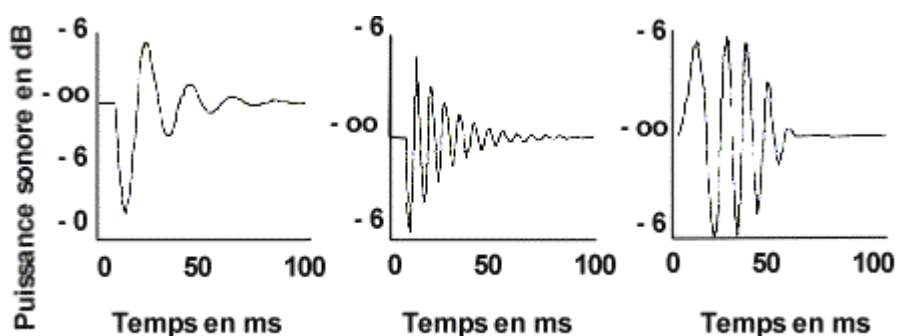


Figure 20 : Les partiels de B1

Les deux premières formes d'onde sont dues aux valves mitrale et tricuspide La troisième est due à la mise sous tension du myocarde. (16).

Nous pouvons nous attarder quelques instants sur le spectre de B1. Cette représentation, elle aussi issue des analyses TFR, permet de voir quelles sont les fréquences des partiels qui compose le bruit. La figure 21 nous donne un phonogramme de B1 de chien suivi du spectre de ce phonogramme. Ce spectre montre que le bruit B1 est composé de 2 partiels majeurs, un pic se forme aux valeurs de fréquence entre 40 et 50 Hz ; un deuxième pic, moins grand, se forme entre 90 Hz et 100 Hz. La figure 22 nous donne un spectre de B1 chez le chat. L'allure de la courbe est tout à fait comparable. La valeur des pics est de 45 à 50 Hz pour le premier pic et de 80 à 90 Hz pour le deuxième pic.

Lorsque le bruit B1 doit être mieux entendu, on augmente le gain des fréquences mises en avant par ces spectres par le biais d'une égalisation. Si on cherche à effacer ou réduire la présence de B1, on baisse le gain de ces fréquences.

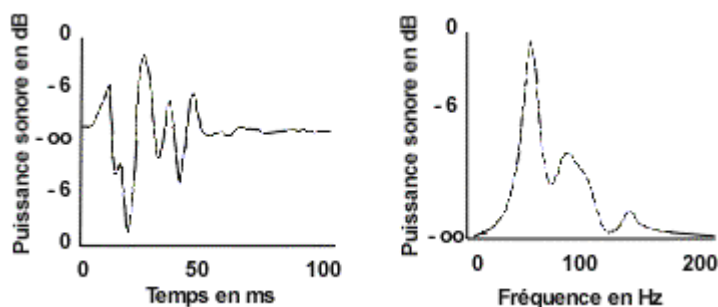


Figure 21 : Phonogramme et Spectre du premier bruit cardiaque canin

On note l'aspect du phonogramme normal de B1. On remarque, sur le spectre, les pics à 50 et 100 Hz. (16).

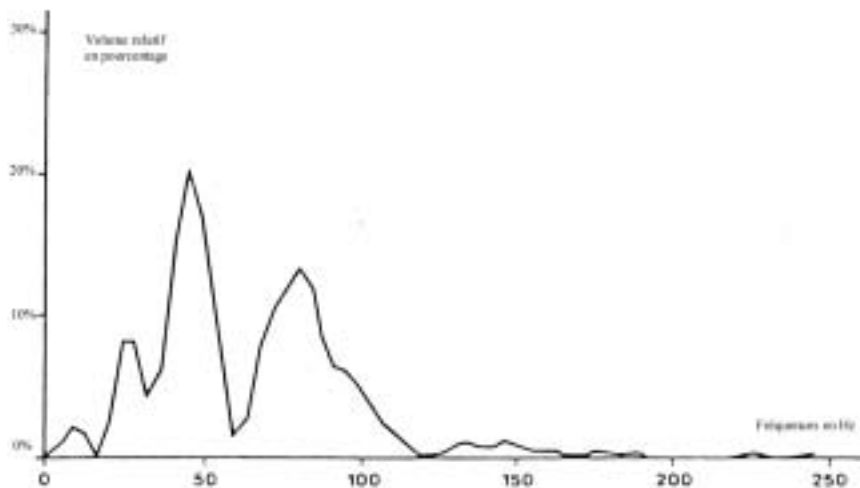


Figure 22 : Spectre du premier bruit cardiaque félin

L'allure générale du spectre est identique au spectre canin, seules les valeurs des pics changent : ici 45 et 80 Hz. (24).

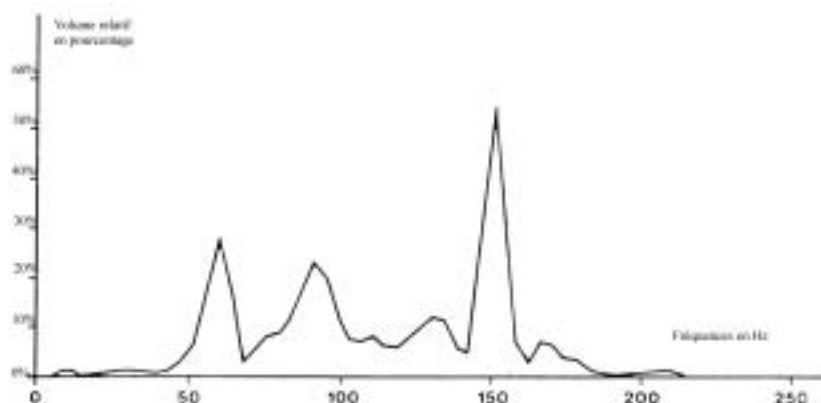


Figure 23 : Spectre du premier bruit cardiaque félin réalisé sur un enregistrement œsophagien

L'allure générale du spectre diffère un peu de la figure 22. Les deux pics sont moins hauts et deux autres pics sont présents à 135 et 165 Hz. On remarquera la fréquence de résonance du tube œsophagien : ici 150 Hz. (24).

Ces spectres peuvent varier d'un individu à un autre. Ils sont fortement dépendants de l'âge de l'animal (nos deux exemples sont à l'âge adulte) et peuvent aussi varier en fonction du sexe chez le chien.

Chez le chat, par exemple, si on réalise un enregistrement du B1 par une sonde œsophagienne, le spectre sera totalement différent du spectre d'un phonogramme réalisé par voie externe (capsule posée directement sur la peau). La figure 23 montre le spectre de l'enregistrement œsophagien du chat enregistré par voie externe à la figure 22. Les deux pics sont beaucoup moins importants. La cavité thoracique a un effet Passe Bas. C'est à dire qu'elle amplifie les basses fréquences et gomme les hautes fréquences. (24).

Ainsi les pics à 135 Hz et 165 Hz de la figure 23 sont inexistantes sur la figure 22. Le pic à 150 Hz de la figure 23 est un artefact dû à la résonance du son dans le tube de plastique composant la sonde œsophagienne. (Cette fréquence de résonance est facilement mesurable avant même de réaliser les enregistrements. Il ne faut pas oublier d'en tenir compte pour interpréter le spectre). Ainsi, plus la cavité thoracique est importante, plus l'effet passe bas se fait sentir.

Cet effet implique l'impression de matité lors de l'auscultation de gros chiens par rapport à l'auscultation de petits chiens ou de chats. La composition en graisse de la cavité

thoracique est aussi un élément important. Elle gommara de façon très intense les hautes et moyennes fréquences (supérieures à 200Hz). Cet effet est valable pour l'ensemble des bruits cardiaques.

L'analogie que l'on peut faire entre les sons canins et les sons infantiles humains provient de l'analogie que l'on peut faire entre le thorax canin et le thorax infantile (taille et dimensions semblables bien que le thorax canin soit aplati latéro-latéralement et que le thorax humain soit aplati dorso-ventralement.).

II.A.2. Le petit silence

Il n'est pas constant, il varie faiblement suivant la fréquence cardiaque. Son minimum est de 0.02 seconde chez le chien. Il peut être virtuel ; sur un tracé de chat tachycarde en particulier. Bien qu'il existe, les parois thoraciques et l'air pulmonaire sont encore résonants du bruit B1 lorsque le bruit B2 commence. C'est un effet de caisse résonnante.

Il arrive que le tracé montre un click au cours du petit silence. Le mécanisme donnant ces clicks mésosystoliques n'est pas clair et est souvent attribué à des causes extra thoraciques. Chez le chien normal, les clicks peuvent apparaître transitoirement.

II.A.3. Le deuxième bruit cardiaque

Il est plus court que B1. Chez le chien, il dure entre 0,05 et 0,06 seconde suivant la fréquence cardiaque. Il apparaît à la fin de l'onde T de l'ECG. La chronologie est, là encore, proche chez le chat.

Plus aigu que B1, son spectre montre des pics entre 100 et 200 Hz. Son enveloppe de volume est différente de celle de B1. L'attaque est très courte, il y a une faible retombée, le niveau de maintien est plus bas que celui de B1. Le temps de relâchement est aussi plus bref que pour B1. Ce son est plus sec que B1. Ainsi B1 est souvent comparé à un BOUM et B2 à un TA.

Le deuxième bruit se produit après la fermeture des valves aortiques et pulmonaires, lorsque la pression hydrostatique est plus importante dans les gros vaisseaux que dans les ventricules (partie initiale de la diastole).

Physiologiquement, on peut constater un dédoublement de B2 au cours de l'inspiration. Ce délai entre les deux composantes de B2 n'est pas audible mais grâce au phonogramme, on peut voir ce délai. Le début du deuxième bruit, chez le chien et l'homme, est formé par la composante aortique : A2. Pendant l'inspiration, la pression intra thoracique diminue. Le retour du sang veineux dans le cœur droit s'en trouve donc accru. La systole droite s'en retrouve prolongée alors que la systole gauche s'en trouve facilitée et donc raccourcie. Ceci entraîne donc un retard de la composante pulmonaire P2. A l'expiration, on ne perçoit plus qu'un seul bruit. Ceci est mieux visible chez l'homme qui a des fréquences respiratoire et cardiaque moindres que le chien et une capacité respiratoire plus grande. Pour ces deux espèces et pour le chat, ce phénomène est majoré en cas d'hypertension pulmonaire mais nous reviendrons dessus plus tard. (11) (22) (27) (32).

II.A.4. Le grand silence

Il varie suivant la fréquence cardiaque. C'est la fraction du cycle qui varie la plus en fonction de la fréquence cardiaque. Le grand silence peut parfois être coupé par deux autres bruits : B3 et B4. Ils sont normalement inaudibles. Leur présence peut être révélée par la PCG ou le phonogramme.

II.A.5. Le troisième bruit

Il n'est, normalement, jamais audible chez le chien et l'est rarement chez le chat. Il a lieu durant le grand silence. Lorsqu'il devient audible, le rythme du cycle cardiaque devient comme le rythme d'un cheval au galop. Ce troisième bruit est donc appelé le bruit de galop. Ce troisième bruit est relativement polymorphe. Aucune constance dans son spectre et dans son enveloppe n'a été mise en évidence. Il est simplement de basse fréquence et sa durée est comprise entre 0.02 et 0.06 seconde. Il apparaît généralement entre 0.08 et 0.14 seconde après B2. (11). Son audibilité détermine un bruit de galop protodiastolique.

Il apparaît au pic du remplissage ventriculaire rapide ou un peu après. Au cours d'une échographie synchronisée à un PCG, il coïncide avec l'ouverture maximale de la valve mitrale. Il est produit par les vibrations des parois ventriculaires qui se distendent (le gauche en premier). (33). Il est possible que la mise sous tension des valvules et le passage du sang autour de celles-ci puissent causer quelques vibrations qui s'ajoutent aux vibrations myocardiques fondamentales. (6) (22) (40) (54).

II.A.6. Le quatrième bruit

Il n'est, normalement, jamais audible chez le chien et l'est rarement chez le chat. Il a lieu durant le grand silence. Comme pour B3, lorsqu'il devient audible, le rythme du cycle cardiaque est donc appelé bruit de galop. Ce quatrième bruit est lui aussi relativement polymorphe. Aucune constance dans son spectre et dans son enveloppe n'a été mise en évidence. Il est de basse fréquence et sa durée est comprise entre 0.04 et 0.09 seconde. Il survient en majorité entre 0.07 et 0.10 seconde avant B1. Lorsqu'il survient chez un animal sain (à priori un chat), son volume reste faible. Il faut bien faire attention pour l'entendre. Son audibilité détermine un bruit de galop présystolique.

Il est provoqué par la systole atriale. Les vibrations entraînées par une forte poussée et une forte éjection des masses sanguines contenue dans les oreillettes produisent ce son de basse fréquence. (6) (11) (22) (54).

II.A.7. Le bruit de galop par sommation

Lorsque la fréquence cardiaque dépasse 160 à 180 bpm, le remplissage rapide des ventricules et la systole atriale sont très proches dans le temps. Il est alors impossible d'entendre correctement et de faire la distinction entre B3 et B4. Dans cette situation, le bruit de galop est alors appelé bruit de galop par sommation. On ne sait pas s'il est composé de B3 uniquement, B4 uniquement ou de B3 et B4. Ceci est fréquent chez les chats. (33).

II.A.8. Variation du volume sonore de l'auscultation

Les bruits cardiaques sont diminués par l'obésité, l'emphysème, les épanchements pleuraux et péricardiques, des masses thoraciques et hernies diaphragmatiques, lorsque la contractilité cardiaque est amoindrie ou lorsqu'un obstacle empêche au cœur d'avoir un débit élevé (dans ce cas, un bruit surajouté sera sûrement audible).

Les bruits cardiaques sont augmentés par le jeune âge, la maigreur, par une fréquence cardiaque élevée et par les états hyper dynamiques : l'hyperthyroïdisme, l'anémie ou la fièvre. (21).

II.B. REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES BRUITS

CARDIAQUES NORMAUX:

II.B.1. Le spectre des bruits cardiaques

Ce spectre, figure 24, est utile pour démontrer que la plupart de bruits cardiaques, qu'ils soient normaux ou anormaux, sont inaudibles.

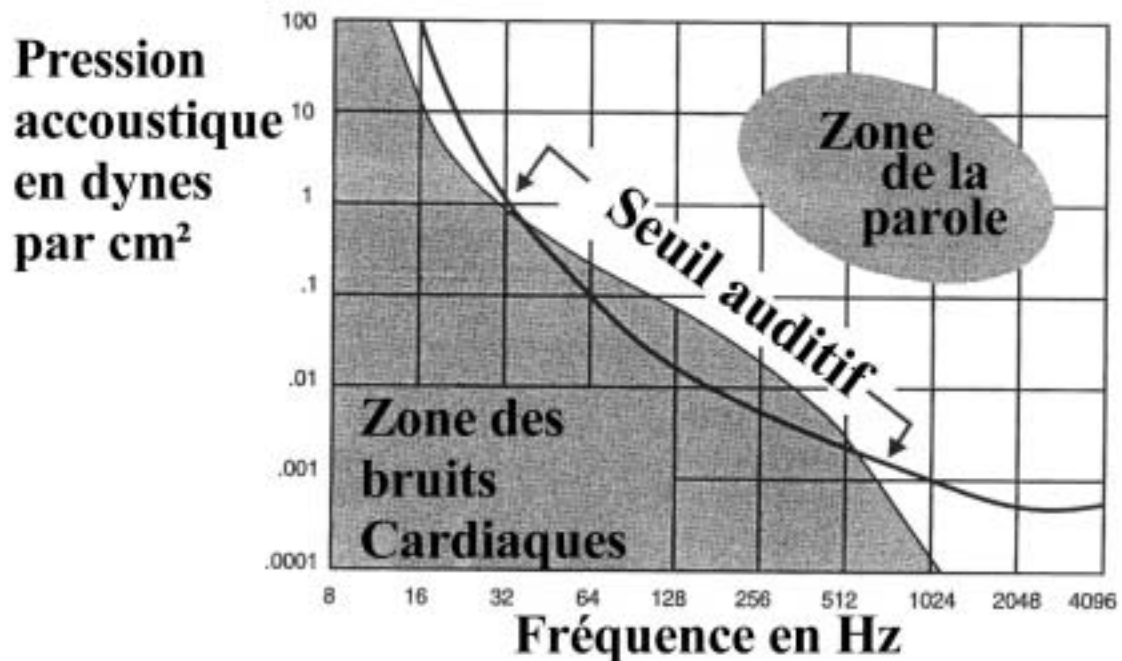


Figure 24 : Spectre des bruits cardiaques.

Seul un petit segment de l'ensemble des bruits cardiaques est audible à cause de la limitation intrinsèque de l'oreille humaine. On peut constater sur ce graphique que l'oreille est particulièrement insensible aux basses fréquences.

II.B.2. L'enregistrement PCG

Nous présentons 2 tracés réalisés chez des chiens normaux :

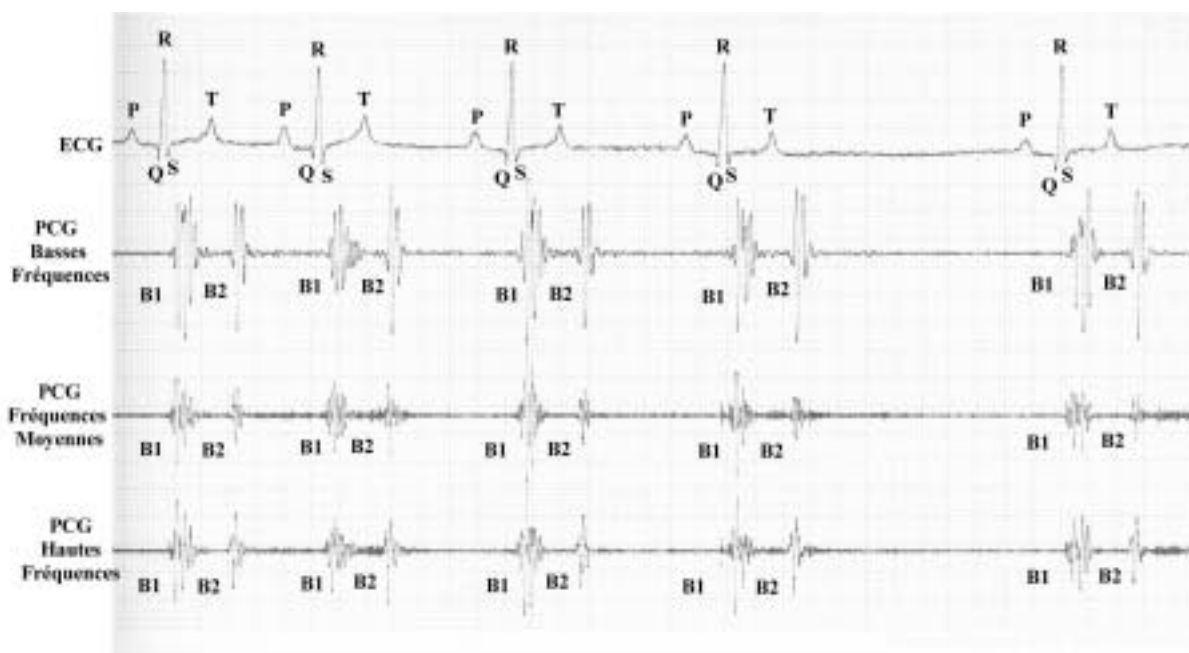


Figure 25 : PCG canin normal (Tracé Pr J.L. Pouchelon)

La PCG présente un certain nombre d'avantages et d'inconvénients par rapport au phonogramme et au sonagramme. Le plus important de ces avantages est la présence du signal ECG synchronisé aux tracés sonores. L'interprétation rythmique est alors très fiable en terme de chronologie. (1).

La deuxième caractéristique est la sensibilité du traceur. Proche de l'oreille humaine, la sensibilité est logarithmique contrairement au phonogramme dont l'échelle est semi-logarithmique. Ainsi, dès qu'un événement est tracé par PCG, cela veut dire qu'il est audible ou proche de l'audible. Cela permet d'effacer beaucoup d'artéfacts cependant encore très nombreux. Sur le phonogramme, c'est l'habitude qui permet de comprendre le tracé. C'est une interprétation plus subjective.

Le gros défaut de la PCG est son impossibilité de zoom. La vitesse de défilement est constante. On ne voit pas forcément la forme de l'onde et donc du timbre. La mesure du volume sonore est compromise car aucun vrai repère n'existe.

De plus, les filtres et préamplificateurs sont exclusivement analogiques. Il faut alors de très bons composants pour permettre une qualité de tracé irréprochable.

Ceci fait le coût élevé des appareils PCG. Le bruit de fond sur une courbe PCG est toujours plus ou moins présent. L'apport d'une compression automatique

numérique est impossible. La qualité de la courbe est fortement dépendante du manipulateur qui règle en permanence le gain du préamplificateur du micro placé sur l'animal.

Enfin, l'appareil ne permet qu'un tracé de l'auscultation et ne permet pas d'enregistrer les auscultations et de les retransmettre.

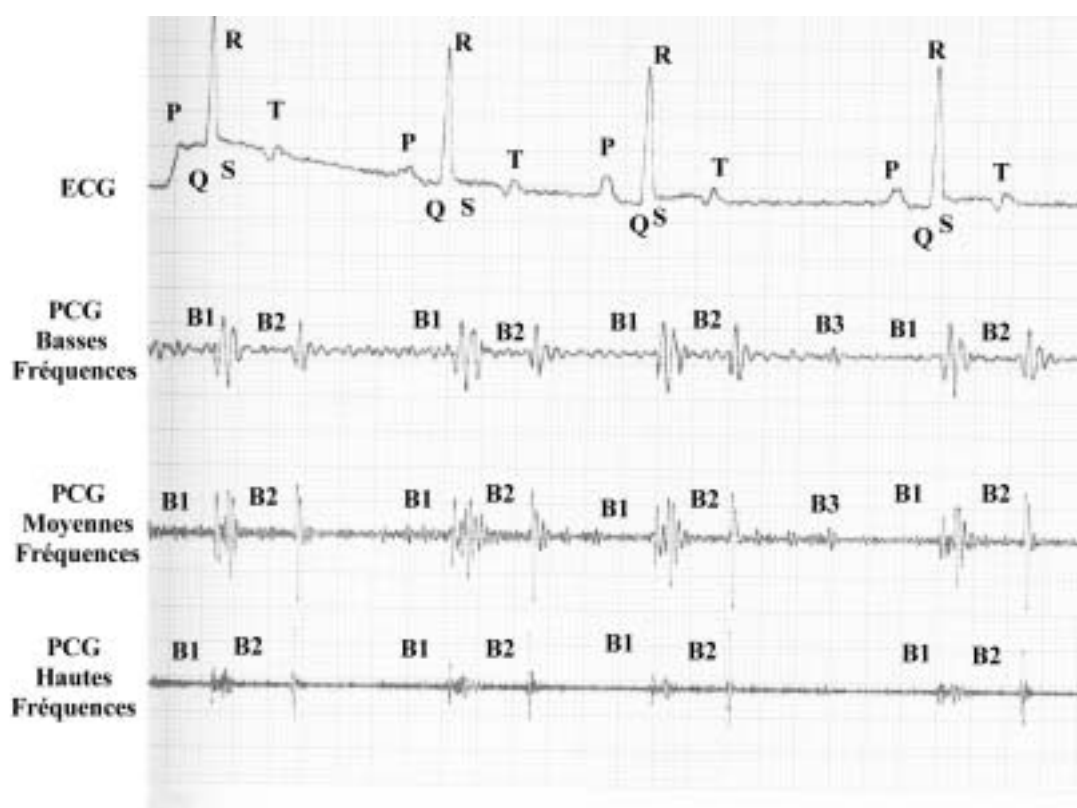


Figure 26 : PCG canin normal (Tracé Pr J.L. Pouchelon)

On remarquera la présence de B3 inaudible au stéthoscope.

II.B.3. Le sonogramme

Nous avons trouvé plusieurs publications sur le sonogramme cardiaque canin. La plupart des articles traite surtout de la méthode employée pour obtenir les tracés plus que de leurs significations. En effet, ces articles remontent au début des années 90. Les ordinateurs de l'époque étaient très peu puissants par rapport à ceux que l'on peut utiliser aujourd'hui et le problème majeur est donc d'obtenir un tracé sensible et précis. G.Jamous et coll. ont écrit un article sur le sonogramme en 1992. (29). Il suffit de comparer leur configuration informatique à celle que nous avons utilisée pour vite comprendre que la puissance de calcul du processeur n'est plus du tout du même ordre. Leur configuration est un PC IBM avec un processeur Intel du type 386 ayant une fréquence de 16 MHz et une mémoire vive de 2Mo (Notre configuration : PC avec un processeur AMD du type K6-2 ayant une fréquence de 350 Mhz et une mémoire vive de 256 Mo).

La résolution des enregistrements sonores n'est pas du tout du même ordre non plus. Ils emploient une résolution sur 12 bits et une fréquence d'échantillonnage de 2 kHz alors que nous avons utilisé une résolution de 16 bits (traitement sur 24 bits) et une fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz (fréquence et résolution dites de qualité CD et 30 fois supérieure à celle utilisée pour l'article de 1992).

Les tracés réalisés durant l'article, figure 27, sont longs à obtenir (Ils parlent d'une heure de calcul pour une seconde d'enregistrement...) donc limités dans le temps ou peu précis, choix que nous n'avons plus à faire aujourd'hui.

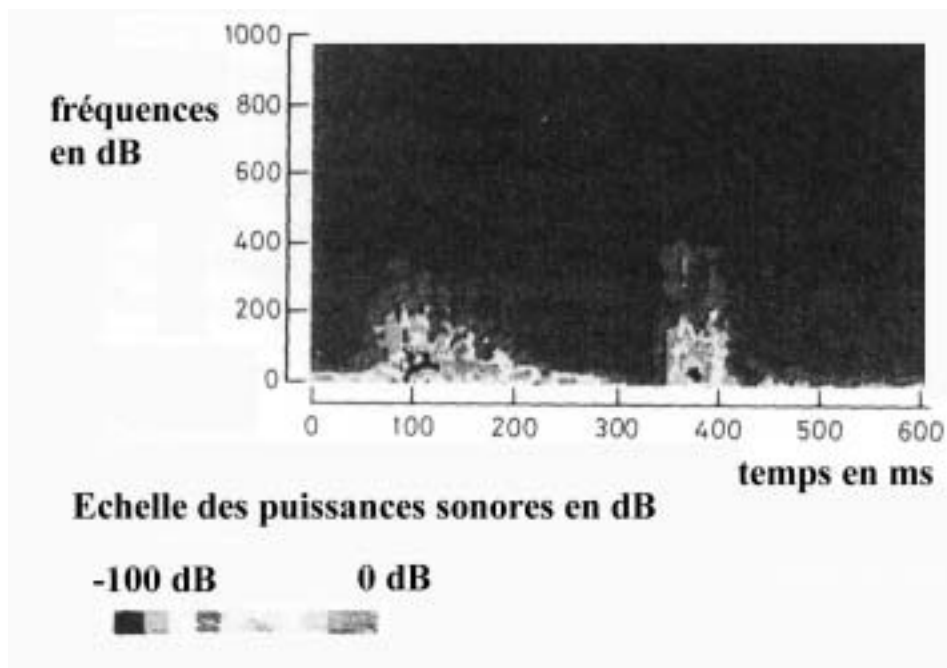


Figure 27 : Sonagramme cardiaque canin

Tracé normal obtenu en 1992 : La résolution des fenêtres est très moyenne et le cycle cardiaque entier ne peut être analysé d'un seul coup. (29).

II.C. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES BRUITS

CARDIAQUES ANORMAUX

Nous pourrions remarquer, dans cette partie de l'étude, qu'aucune publication traitant de ce sujet et intégrant une étude sonographique n'est disponible.

Les souffles cardiaques sont des sons de plus longue durée que les bruits normaux déjà décrits. Ils sont dus à des vibrations induites par un flot turbulent de sang. Ces turbulences ont diverses causes : des insuffisances de fermeture des valves ; des réductions de calibre des passages empruntés par le sang ou sténoses ; des communications anormales entre les diverses chambres du cœur ; des variations de la vitesse et de la viscosité du sang.

Un certain nombre de caractéristiques permettent de connaître l'étiologie du souffle entendu à l'auscultation : sa durée et sa place dans la chronologie du cycle cardiaque (systolique, diastolique, continu...) ; sa localisation anatomique (entendu surtout sur l'aire apexienne gauche...) ; son intensité (degré de 1 à 6 sur 6) ; son enveloppe sonore (en plateau, en diamant...) ; son timbre (rauque, piaulant...). (21) (22) (33).

II.C.1. Les souffles systoliques

II.C.1.a. Les souffles innocents

Ils sont isolés chez les jeunes et disparaissent chez les adultes. Habituellement de faible intensité (1 à 3/6), ils apparaissent dans la première moitié de la systole. Ils ont un timbre dominé par les hautes fréquences. Leur maximum d'intensité se situe en général sur l'aire pulmonaire ou l'aire aortique. Leur origine est mal connue mais peut être imputée à la vitesse du sang dans les ventricules. Typiquement, l'enveloppe sonore du souffle innocent varie si on met l'animal dans une position différente. (21) (22) (33).

II.C.1.b. Les souffles physiologiques

Une anémie suffit à diminuer la viscosité du sang et à produire un souffle. On rencontre ces souffles à partir d'un hémocrite inférieure à 25 % chez le chien et inférieur à 20 % chez le chat.

D'autres états provoquent ces souffles : l'hypertension ; la fièvre ; la gestation. Des souffles semblables sont décrits chez les chats hyperthyroïdiens.

Les caractéristiques de ces souffles sont proches des souffles innocents. (21) (22) (33).

II.C.1.c. Les souffles d'insuffisance mitrale

Ce souffle d'insuffisance est habituellement le plus fort sur l'aire de projection de la valve mitrale et sur celle de l'atrium gauche. Il rayonne communément dorsalement et sur l'hémi thorax droit se confondant à un éventuel souffle d'insuffisance tricuspидienne. Son intensité est très variable, du degré 1/6 à au degré 6/6, mais n'est pas corrélée avec la gravité de la régurgitation. Souvent, les souffles les plus forts résonnent depuis de petites régurgitations et à l'inverse, lors de régurgitation grave, le souffle peut s'atténuer tout comme la différence de pression entre l'atrium gauche et le ventricule gauche.

L'enveloppe de ces souffles est comparée à un plateau. L'attaque est très rapide, le niveau de maintien est égal à celui de l'attaque et particulièrement stable. Enfin le temps de relâchement est court.

Ils occupent généralement l'ensemble de la systole. Ils sont dits holosystoliques. Ils peuvent cependant ne couvrir que la première partie de la systole ou sa partie moyenne (souffles protosystoliques ou mésosystoliques). Lorsque leur degré est important, à partir de 4/6, ils couvrent régulièrement les bruits B1 et/ou B2. Ils sont pansystoliques voire transystoliques.

Deux types de timbres sont fréquemment rencontrés :

- ❑ Majoritairement, le timbre de ces souffles est typiquement rauque. Toutes les fréquences sonores (basses, moyennes et hautes) composent ce souffle de son début jusqu'à la fin.
- ❑ Il arrive que les hautes fréquences (500 Hz à 1000 Hz) soient plus représentées que les autres et qu'au début de la systole, elles opèrent un glissando vers les plus hautes fréquences jusqu'au milieu de la systole puis identiquement vers les moyennes fréquences à la fin de la systole. Ce type de souffle est dit piaulant (onomatopée qui illustre bien ce caractère). A l'autopsie, on peut corrélérer l'apparition de ce caractère avec des ruptures de cordages ou des lésions en grelots sur les valvules mitrales.

En règle générale, le bruit B1 est conservé voire augmenté comme on peut le voir figure 28. Le bruit B2 est, lui, souvent masqué par le souffle. Dans certains cas, la composante pulmonaire (P2) de B2 est accentuée par une hypertension pulmonaire concomitante à l'insuffisance mitrale, figure 29.

Les chiens présentant des régurgitations importantes manifestent quelquefois des bruits de galop protodiastolique (B3) ou présystolique (B4).

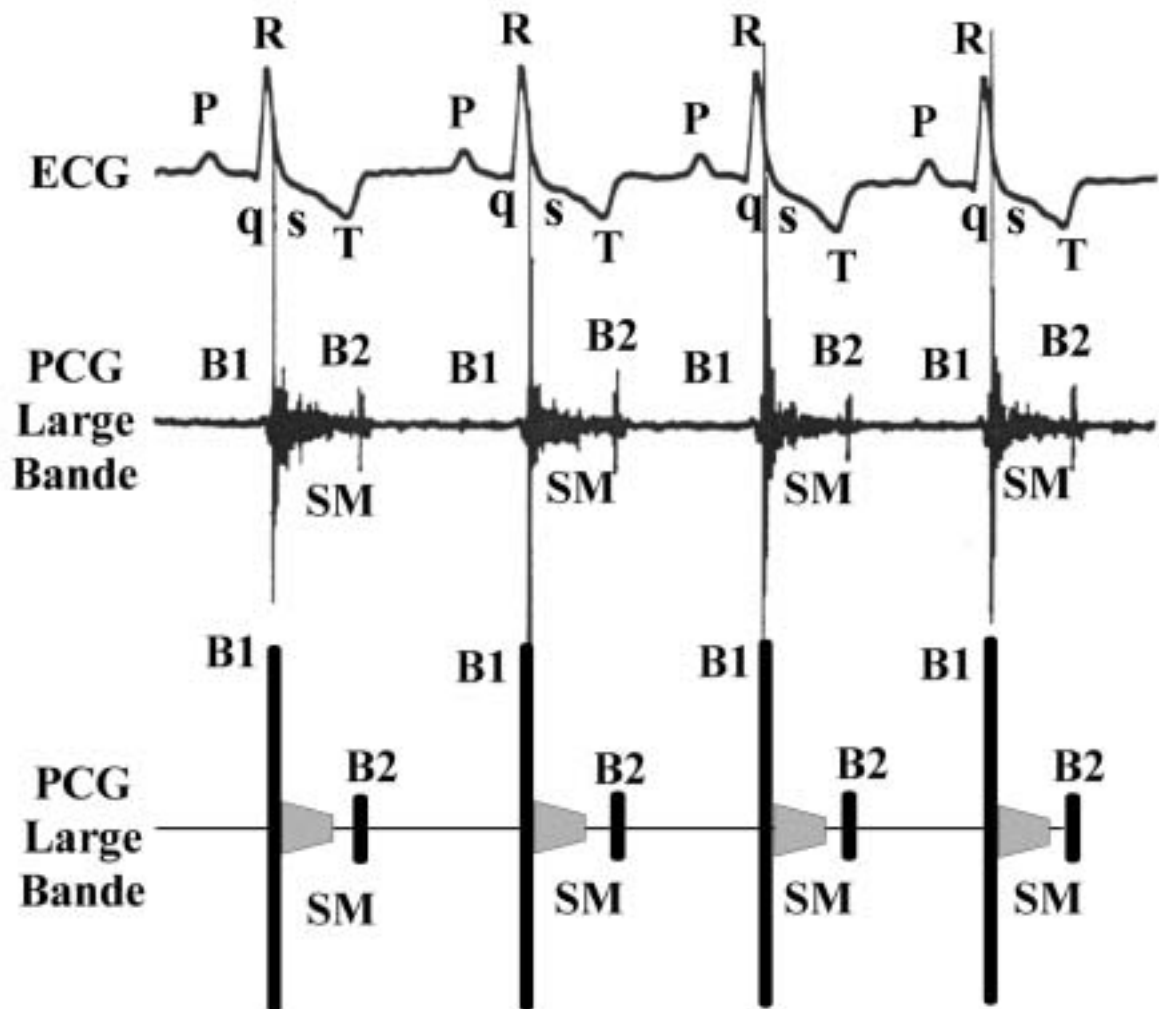


Figure 28 : Tracé ECG, PCG et PCG schématique d'un chien atteint d'un souffle mitral

B1 : 1^{er} bruit cardiaque ; B2 : 2^{ème} bruit cardiaque ; SM : Souffle mitral ; P,Q,S,T : Ondes classiques de l'ECG. Dans ce cas, la PCG nous permet de voir que B1 est renforcé par rapport à B2. On constate la forme de l'enveloppe de volume du souffle en plateau (ici globalement decrescendo). (21).

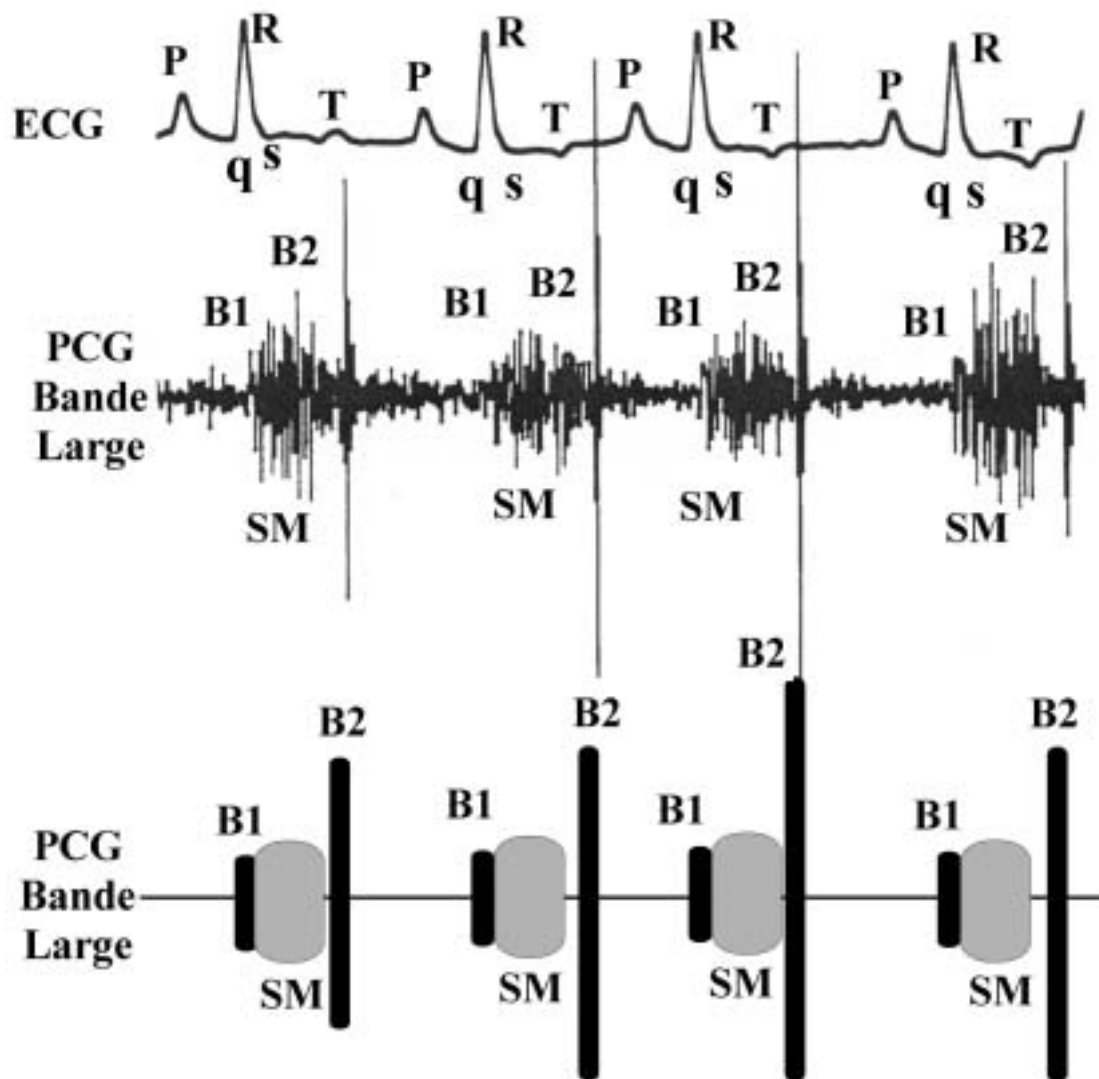


Figure 29 : Tracé ECG, PCG et PCG schématique d'un chien atteint d'un souffle mitral

B1 : 1^{er} bruit cardiaque ; B2 : 2^{ème} bruit cardiaque ; SM : Souffle mitral ; P,Q,S,T : Ondes classiques de l'ECG. Dans ce cas peu fréquent, la PCG nous permet de voir que B2 est renforcé par rapport à B1. Sinon, on constate la forme de l'enveloppe de volume du souffle, ici aussi, en plateau. Le plateau peut s'émoûsser au début et à la fin du souffle si l'affection qu'il accompagne devient grave et que le cœur n'a plus sa capacité d'éjection originelle. (21).

L'insuffisance mitrale a des causes très variées.

- ❑ Chez le chien, la cause la plus commune est une dégénérescence chronique valvulaire. Il s'agit de l'endocardiose nodulaire valvulaire. Elle est caractérisée par une sclérose progressive et déformante des valvules mitrales (la septale en premier lieu). Elle est extrêmement fréquente chez le vieux chien. En effet 100% des chiens de plus de 13 ans ont des signes d'endocardiose à l'autopsie, tableau 1.

Age du chien à l'autopsie	0 à 4 ans	5 à 8 ans	9 à 12 ans	13 à 16 ans
Pourcentage d'animaux trouvés avec une endocardiose mitrale	37 %	80 %	93 %	100%

Tableau 1 : Pourcentage d'animaux trouvés avec une endocardiose mitrale à l'autopsie en fonction de l'âge (17).

- ❑ L'insuffisance peut aussi être due à une dilatation du ventricule gauche associé à un désalignement des muscles papillaires et une dilatation des attaches des valvules : l'anneau mitral. C'est le cas des chiens adultes atteint de cardiomyopathie dilatée (C.M.D.) (en particulier les chiens de grandes races dont le Doberman). C'est aussi le cas des chiots présentant une persistance du canal artériel.
- ❑ La troisième cause d'insuffisance mitrale, et d'apparition d'un souffle mitral, est une malformation congénitale ou dysplasie mitrale. C'est la cause la plus fréquente chez le chat. Certaines races de chiens sont atteintes dont le cavalier King Charles. (37).
- ❑ La dernière cause d'apparition d'un souffle de régurgitation mitrale est l'atteinte de la valve mitrale et de ses cordages par une endocardite bactérienne. Deux races sont particulièrement sensibles : le berger allemand et le boxer. Plus généralement, certains travaux montrent que les grands chiens âgés de plus de 4 ans sont plus sensibles aux endocardites. Le rôle des infections prostatiques est parfois invoqué. Enfin, l'importance de certaines valvulopathies comme facteur de prédisposition est controversé. (La valve aortique est aussi une localisation préférentielle pour un foyer d'endocardite ; L'atteinte des sites mitral et aortique simultanée n'est pas exceptionnelle.)

(21) (22) (33).

II.C.1.d. Les souffles d'insuffisance tricuspидienne

Les souffles d'insuffisance tricuspидienne sont des souffles de régurgitation systoliques dont les caractéristiques sont très proches des souffles de régurgitation mitrale. On l'entend au maximum sur une aire couvrant le thorax droit depuis le 3^{ème} jusqu'au 5^{ème} espace intercostal, au niveau de la jonction costo-chondrale.

Malheureusement, le souffle de régurgitation mitrale rayonne jusqu'à cette aire et il est alors impossible de différencier les deux souffles. De plus, dans la majorité des cas, cette insuffisance mitrale préexiste à l'insuffisance tricuspидienne. Des cas rares de dégénérescence isolée de la valve tricuspide sont connus, en particulier chez les races cockers spaniel.

Les causes de cette insuffisance sont semblables à celles de l'insuffisance mitrale :

- ❑ La dégénérescence par sclérose. L'endocardiose nodulaire valvulaire. Moins fréquente que sur la valve mitrale, l'endocardiose tricuspидienne n'est pas rare, cf. tableau 2.
- ❑ Les dysplasies valvulaires.
- ❑ Les dilatations myocardiques.
- ❑ Les endocardites bactériennes à localisation tricuspидienne sont beaucoup plus rares que celles à localisation mitrale et ou aortique.

(12) (21) (22) (33).

Age du chien à l'autopsie	0 à 4 ans	5 à 8 ans	9 à 12 ans	13 à 16 ans
Pourcentage d'animaux trouvés avec une endocardiose tricuspидienne	7 %	8 %	19%	13%

Tableau 2 : Pourcentage d'animaux trouvés avec une endocardiose tricuspидienne à l'autopsie en fonction de l'age (17).

II.C.1.e. Les souffles de sténose aortique

Chez le chien, la sténose de la valve aortique, qu'elle soit acquise ou congénitale, est rare. Cependant, la sténose aortique sub-valvulaire est l'un des défauts cardiaques congénitaux les plus communs chez le chien. Elle touche surtout quelques races dont le boxer. (28) (35). Cette anomalie est très rare chez le chat.

Le souffle de sténose aortique sub-valvulaire est systolique. Son enveloppe est crescendo-decrescendo. Elle est souvent comparée à une forme en diamant sur les tracés PCG, cf. figure 30. Cette enveloppe est caractéristique de l'ensemble des souffles d'éjection.

Ce souffle est bien entendu en région basale gauche et en région crâniale droite. Lorsqu'il devient plus important, ce souffle rayonne le long des artères carotides.

Les obstructions moyennes causent des souffles faibles. Il est alors difficile de distinguer ce souffle d'un souffle innocent ou d'un souffle physiologique. Son intensité s'accroît substantiellement à la suite d'un exercice puisqu'un plus grand volume de sang est éjecté dans l'aorte. Malheureusement, les souffles innocents et physiologiques ont la même particularité.

Le souffle obtenu en cas de sténose aortique sub-valvulaire grave est un souffle de plus grande intensité et de plus longue durée. Son timbre est généralement rauque. L'ensemble de la gamme des fréquences est représenté. Si le souffle est assez fort, il est accompagné d'un frémissement cathaire. Le degré auscultatoire 6/6 peut être atteint.

L'intensité semble être assez bien corrélée à la gravité de la sténose. (35).

L'obstruction de la chambre de chasse du ventricule gauche (sténose aortique sous-valvulaire) est décrite chez les chiens et les chats atteints d'une cardiomyopathie hypertrophique ou de défauts congénitaux causant une hypertrophie du septum interventriculaire. Dans ce cas, le souffle produit peut être faible voire absent au repos. Il sera de forte intensité pendant et après exercice. Nous reviendrons sur ces affections ci après. (21) (22) (33).

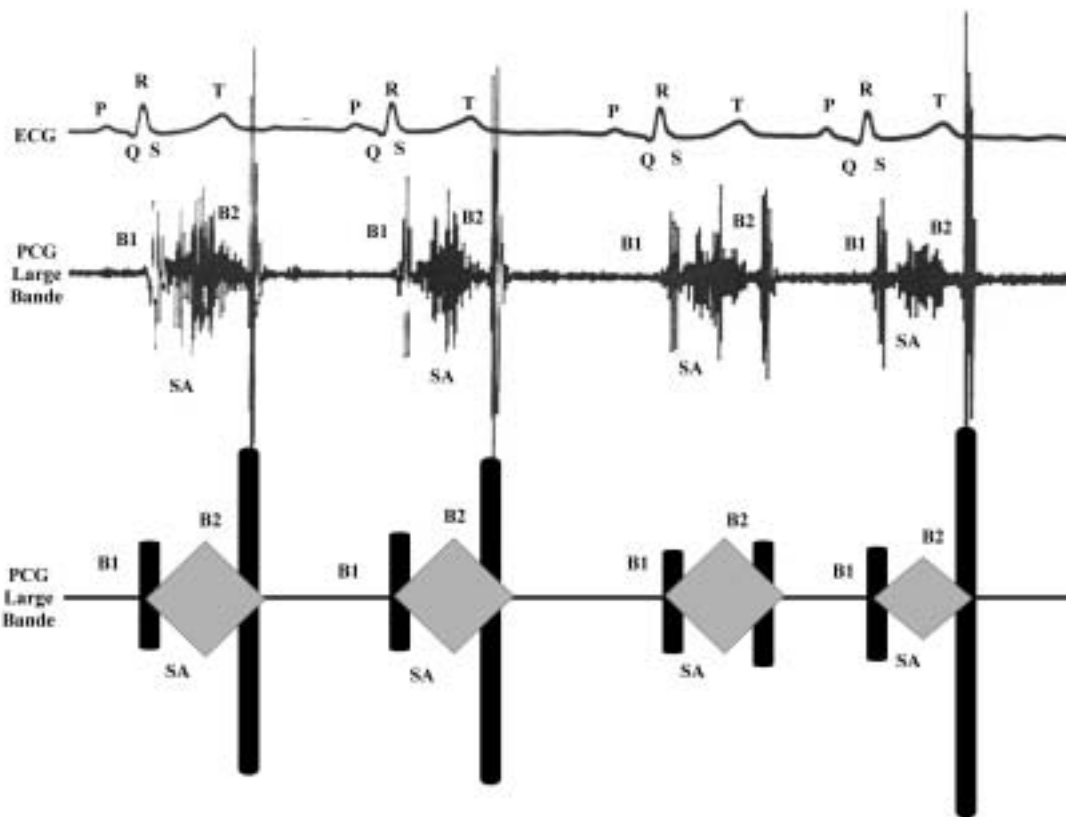


Figure 30 : Tracé ECG, PCG et PCG schématique d'un chien atteint d'un souffle aortique sténotique

B1 : 1^{er} bruit cardiaque ; B2 : 2^{ème} bruit cardiaque ; SA : Souffle aortique ; P,Q,S,T : Ondes classiques de l'ECG. Dans ce cas, on constate la forme de l'enveloppe de volume du souffle en diamant. (21).

Rq : Le tracé de B2 est exceptionnellement plus grand que B1 en raison d'une hypertension pulmonaire. En règle générale, B2 est plus petit que B1

II.C.1.f. Les souffles de sténose pulmonaire

Le souffle causé par une sténose pulmonaire est caractéristique. Son enveloppe est typique des souffles d'éjection, en forme de diamant.

Le timbre de ce souffle est surtout représenté par les hautes fréquences. On entend ce souffle au maximum sur l'aire basale gauche. L'intensité et la durée de ce souffle varient avec la sévérité de la sténose. Lorsque le gradient de pression entre le ventricule droit et l'artère pulmonaire s'accroît, le souffle devient plus fort et la phase d'attaque est rallongée. Le pic de l'enveloppe de ce souffle arrive plus tardivement dans la systole.

Les souffles de forte intensité peuvent être accompagnés par un frémissement cathaire palpable. Tout comme le souffle de sténose sub-aortique, ce souffle rayonne peu.

Dans certains cas de sténose pulmonaire, on peut noter, grâce à la phonocardiographie, que le deuxième bruit cardiaque se dédouble. À l'auscultation, ceci ne peut être entendu à cause du masque établi par le souffle de sténose pulmonaire. (21) (22) (33).

II.C.1.g. Les souffles de communication inter atriale (C.I.A.)

L'auscultation, généralement, permet d'entendre un souffle systolique d'éjection. Son maximum d'intensité se situe sur l'aire pulmonaire. Ce souffle est généralement accompagné d'un dédoublement du second bruit cardiaque.

Le souffle systolique est causé par une augmentation du débit sanguin à travers la valve pulmonaire. Le dédoublement du second bruit cardiaque résulte de la combinaison de facteurs hémodynamique et de facteurs électriques. (21) (22) (33).

II.C.1.h. Les souffles de communication inter ventriculaire (C.I.V.)

Le souffle causé par une communication inter-ventriculaire est typiquement fort, rauque, et peut être entendu sur l'aire thoracique crâniale droite.

L'enveloppe et le timbre de ces souffles sont très variables. Ils sont de moyennes et hautes fréquences. Leur durée occupe l'ensemble de la systole. Ils sont généralement accompagnés par un frémissement cataire.

L'intensité et la durée de ce souffle peuvent être réduites lorsque la communication inter-ventriculaire est large et si une hypertension pulmonaire se développe. Avec une sévère

hypertension pulmonaire, le souffle est absent et le second bruit cardiaque peut être dédoublé. (21) (22) (33).

II.C.1.i Les souffles de cardiomyopathies restrictive & hypertrophique (C.M.R. & C.M.H.)

Ces affections sont excessivement rares chez le chien. On ne détaillera ces souffles que pour l'espèce féline.

Les souffles produits par ce genre de cardiomyopathie sont systoliques et composés de deux constantes sonores simultanées. Les remaniements du myocarde entraînent des déformations de l'attache mitrale et/ou tricuspide et donc une régurgitation comme on peut l'avoir en cas de C.M.D.. La première constante du souffle est donc un souffle de régurgitation. Son enveloppe, en plateau, et son timbre, rauque, sont classiques. Le degré de classification sonore du souffle ne dépasse que rarement 4/6.

A cela s'ajoute une constante d'éjection. Elle est due, elle aussi, aux remaniements du myocarde qui s'est donc épaissi. A l'échographie, on constate souvent l'apparition d'un bourrelet myocardique septal gauche. L'éjection du sang le long du septum en direction de l'aorte est donc perturbé. Le flux est turbulent dans la chambre de chasse du ventricule gauche sténotique. Le souffle produit par ces turbulences est un souffle d'éjection. Son enveloppe, en diamant, et son timbre, rauque, sont classiques. Le degré auscultatoire est très variable suivant l'affection myocardique et peut varier de l'inaudibilité au degré 5/6. Le degré 6/6 semble ne pas pouvoir être atteint en raison de la régurgitation mitrale qui accompagne l'éjection du sang. La pression intra ventriculaire ne peut donc pas atteindre les valeurs relevées en cas de sténose simple. (21) (22) (33).

II.C.2. Les souffles diastoliques

II.C.2.a. Les souffles de sténose mitrale

La sténose mitrale est rare chez le chien et chat. Les caractéristiques auscultatoires de ce souffle sont mal définies. Chez le chien, la sténose mitrale est communément une anomalie congénitale. Parmi des cas rapportés, on a décelé une sténose sub aortique et une insuffisance mitrale associée.

L'attaque de ce souffle commence au milieu de la diastole. Son enveloppe sonore possède une accentuation pré-systolique qui résulte du flot de sang trans-valvulaire augmenté après la contraction de l'atrium. La forme géométrique du tracé obtenu au cour d'un examen PCG est tout à fait typique de cette affection, cf. figure 31.

Le maximum d'intensité de ce souffle est obtenu sur l'aire apexienne gauche. Le souffle de sténose mitrale est de basse fréquence. En médecine humaine, la durée du souffle est corrélée à la sévérité de l'obstruction. Dans beaucoup de cas, le souffle est présent mais peut ne pas être détectée du fait de sa faible intensité. (21) (22) (33).

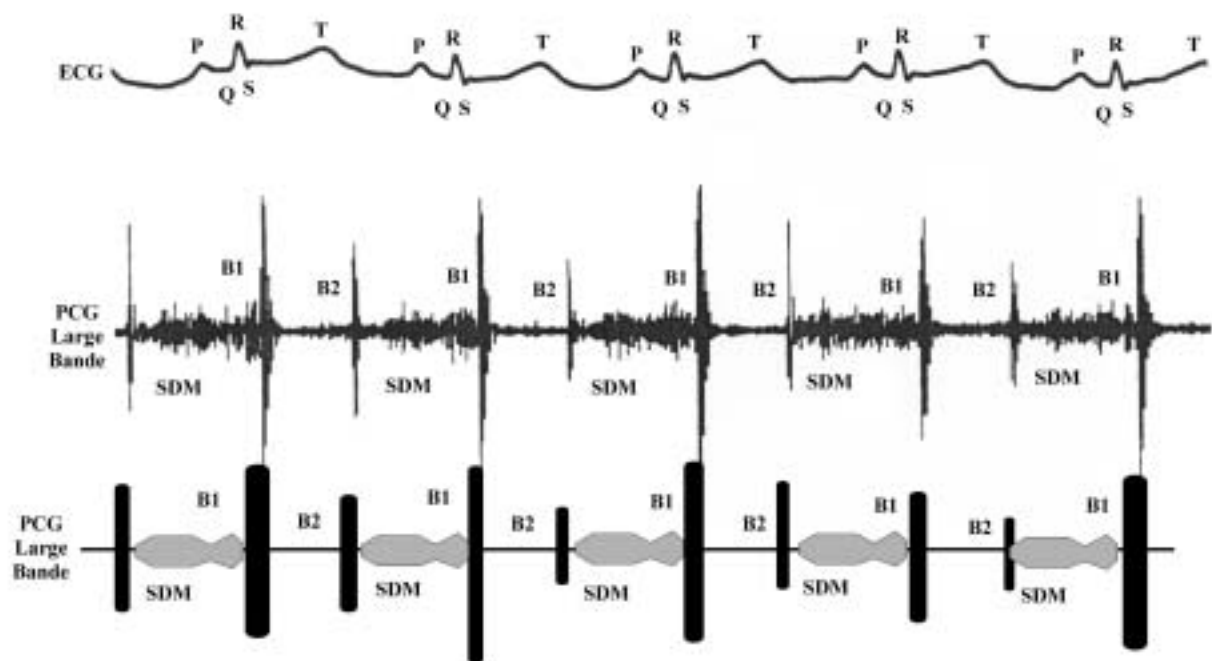


Figure 31 : Tracé ECG, PCG et PCG schématique d'un chien atteint d'un souffle mitral sténotique

B1 : 1^{er} bruit cardiaque ; B2 : 2^{ème} bruit cardiaque ; SDM : Souffle Diastolique Mitral ; P,Q,S,T : Ondes classiques de l'ECG. Dans ce cas, on constate la forme de l'enveloppe de volume du souffle qui possède une accentuation pré-systolique qui résulte du flot de sang trans-valvulaire augmenté après la contraction de l'atrium. (21).

II.C.2.b. Les souffles d'insuffisance aortique

Chez les chiens adultes, une insuffisance aortique résulte le plus souvent d'une endocardite bactérienne. Elle peut aussi être détectée chez des animaux atteints de défauts congénitaux cardiaques. L'insuffisance aortique est alors associée à une sténose sub-aortique et/ou un défaut septal ventriculaire.

L'insuffisance de la valve aortique produit un souffle doux, decrescendo commençant immédiatement après le second bruit cardiaque. Il est fréquemment accompagné par un souffle d'éjection méso-systolique.

Ces souffles sont habituellement mieux entendus sur l'aire aortique et sur l'aire apexienne gauche.

Chez les chiens atteints d'une régurgitation aortique grave, un souffle pré-systolique peut aussi être entendu lorsque les valves mitrales se ferment prématurément par l'égalisation précoce des pressions entre le ventricule gauche et l'atrium gauche. Ceci cause un flux diastolique turbulent dans l'orifice mitral.

La présence d'une composante systolique et d'une éventuelle composante diastolique ne doit pas être confondue avec la présence d'un souffle continu. (21) (22) (33).

II.C.2.c. Les souffles d'insuffisance pulmonaire

Une insuffisance pulmonaire isolée et d'une intensité suffisante pour produire un souffle audible est rare. Quelques chiens présentant une insuffisance pulmonaire isolée congénitale ont été rapportés. La valve pulmonaire est très rarement le site d'une endocardite.

Le souffle diastolique de cette insuffisance commence tôt dans la diastole. Il est doux. Son enveloppe est decrescendo.

Il est habituellement accompagné par un souffle d'éjection lui aussi localisé à l'aire pulmonaire. Le souffle d'insuffisance pulmonaire est quelque fois détecté chez les chiens ayant une sténose pulmonaire ou une persistance de canal artériel.

Lorsque l'insuffisance valvulaire pulmonaire se développe, cause ou conséquence d'une hypertension pulmonaire, le souffle est habituellement plus fort et plus rauque. Sa durée est aussi augmentée. (21) (22) (33).

II.C.3. Les souffles continus

Les souffles continus sont généralement caractéristiques de la persistance du canal artériel. Leur maximum d'intensité est au niveau de l'aire pulmonaire et de l'aire aortique, sur l'aire basale gauche. L'enveloppe du souffle de persistance du canal artériel est caractéristique. Le souffle est en plateau durant la deuxième moitié de la diastole. La croissance de l'intensité sonore du son a lieu en même temps que B1. La décroissance de l'intensité sonore du souffle se fait après B2. La croissance est très rapide alors que la décroissance se fait jusqu'au milieu de la diastole, cf. figure 32. Dans la plupart des cas, le souffle rayonne. Il peut atteindre l'aire apexienne gauche et l'aire basale droite.

Les insuffisances valvulaires pulmonaire et mitrale associées, observées chez ces animaux contribuent à l'ensemble de ces événements acoustique.

Le souffle produit par une persistance du canal artériel peut être discontinu. En effet, le développement d'une hypertension pulmonaire peut causer une atténuation et une éventuelle disparition de la partie diastolique du souffle.

Même si la détection d'un souffle continu est hautement suggestive d'une persistance du canal artériel, elle n'est pas pathognomonique. Une fistule artério-veineuse pulmonaire ou une fistule artério-veineuse coronaire, notamment, produisent aussi un souffle continu. Cependant, ces affections sont excessivement rares. (21) (22) (33).

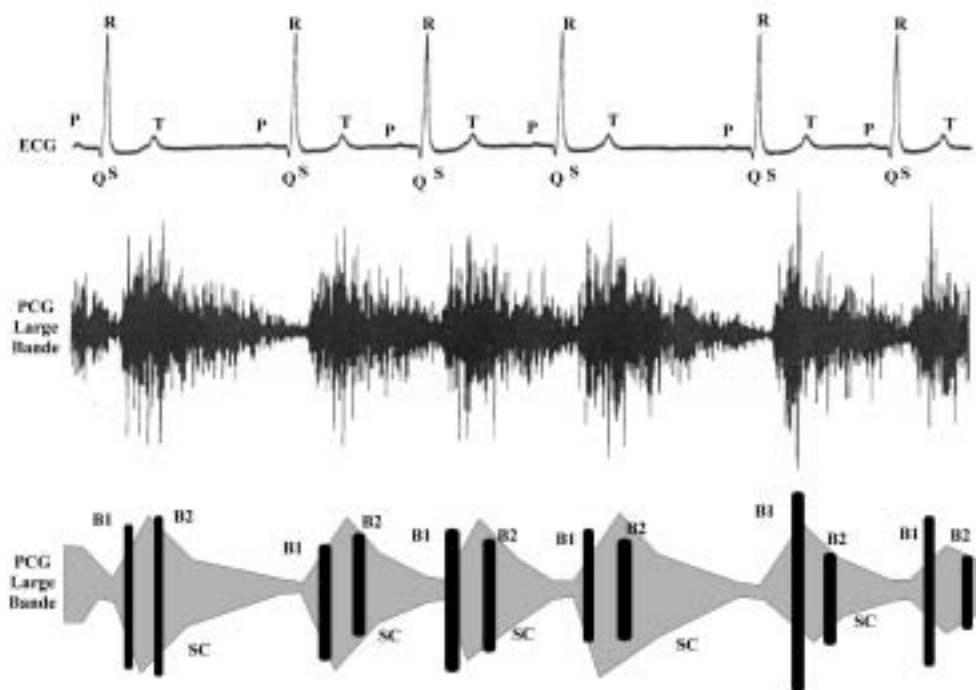


Figure 32 : Tracé ECG, PCG et PCG schématique d'un chien atteint d'un souffle continu

B1 : 1^{er} bruit cardiaque ; B2 : 2^{ème} bruit cardiaque ; SC : Souffle Continu ; P,Q,S,T : Ondes classiques de l'ECG. On voit sur la partie schématique que B1 et B2 sont totalement noyés dans le souffle. Notre oreille ne fait plus la distinction entre le souffle et les bruits cardiaques normaux. Ici aussi, l'enveloppe de volume est caractéristique : un crescendo rapide juste avant B1 et un decrescendo lent (surtout après B2). (21).

III. MATERIEL & METHODE

III.A. MATERIEL UTILISE

III.A.1. Le stéthoscope : *Pediatric Littmann*

Le stéthoscope utilisé est un stéthoscope de la marque 3M Littmann et du type Pediatric. Il est courant d'utilisation pour une auscultation de qualité. La petitesse de son pavillon et de sa cloche permet de bien sélectionner l'aire d'auscultation et d'être précis quant à la localisation d'un bruit anormal. (36).

Celui que nous avons utilisé pour cette étude a été modifié pour pouvoir enlever les écouteurs et les remplacer par un microphone. Il est photographié sur la figure 33.



Figure 33 : Photo du stéthoscope utilisé pour l'étude

Les deux extrémités de la coupure réalisée ont été embouties avec des pièces de cuivres de façon étanche pour ne pas faire perdre en qualité au stéthoscope. Les autres pièces, en laiton, sont filetées et vissées, elles aussi de façon étanche grâce à des joints en caoutchouc. Le filetage de ces pièces permet un démontage rapide et facile pour remplacer les écouteurs classiques par le microphone.

(cliché J.C. DUQUESNE)

Le fait d'utiliser un stéthoscope pour les enregistrements permet d'avoir un timbre proche de celui que l'on a lors de l'auscultation de routine en cabinet et donc de mieux coller à la réalité qu'en utilisant le micro directement posé sur la peau.

III.A.2. Le microphone à condensateur

Un condensateur est tout simplement constitué de deux plaques métalliques, parallèles et séparées par un isolant. Ces plaques servent à stocker une charge électrique, qu'elle soit constante (si la plaque est isolée après sa charge) ou variable (reliée à un circuit électrique variable). La charge du condensateur peut donc varier suivant la formule $Q=CxV$. Q est la charge en coulombs, C est la capacité en farads et V est la tension aux bornes des deux plaques. On peut faire varier la capacité du condensateur en faisant varier la distance entre les deux plaques. Suivant la formule vue précédemment, il en résulte que la tension aux bornes des deux plaques varie.

Un micro à condensateur comprend deux plaques de ce genre, l'une est une pièce de métal, fixe, et l'autre est un très mince diaphragme, flexible, en plastique sur lequel une couche métallique extrêmement mince a été évaporée. L'isolant entre les deux plaques est simplement l'air. Ces détails sont schématisés sur la figure 34. Tout mouvement du diaphragme modifiera la capacité pendant un court instant et, ainsi, la tension aux bornes du condensateur variera proportionnellement au courant qui la traverse et au mouvement qui anime le diaphragme. (3) (30).

Comparé au micro dynamique standard, (c'est à dire à bobine mobile), l'électrostatique semble plutôt compliqué ; Complexité reflétée d'ailleurs par son prix. Néanmoins, par rapport aux autres types de micros, le système offre de nombreux avantages réels et la majorité des travaux d'enregistrement sérieux sont réalisés au moyen de micros électrostatiques. L'avantage primordial de ce système est sans doute que son diaphragme en plastique métallisé est très mince (quelques microns d'épaisseur) et par conséquent très léger. Un moindre poids signifie moins d'inertie, ce qui permet au diaphragme de répondre à de plus hautes fréquences que le micro dynamique classique. De plus, le diaphragme plus facile à mettre en mouvement que la bobine du micro classique, signifie que le système électrostatique en devient d'autant plus efficace. Avec l'aide d'un pré amplificateur incorporé de haute qualité, les micros à condensateur sont donc les meilleurs du point de vue de la réponse à des sons faibles et à des sons de hautes fréquences. Leur réponse excède en effet facilement l'étendue de l'audition humaine, et cela, aux deux extrémités du spectre audio, les graves et les aigus.

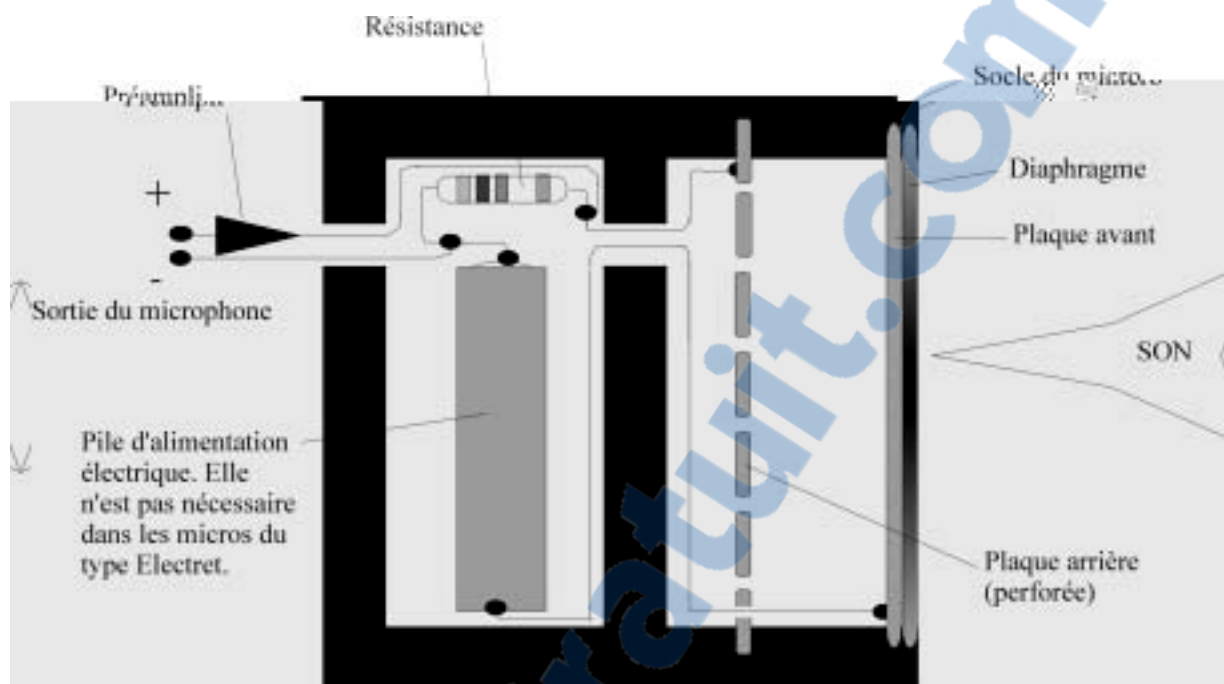


Figure 34 : Schéma d'un micro à condensateur

Les 4 éléments de la tête du microphone sont détaillés. Le diaphragme est très flexible et peut vibrer avec l'air transmettant les sons. La plaque avant est extrêmement fine et solidaire du diaphragme. La plaque arrière est fixe et trouée afin que l'air puisse facilement la traverser sans faire de turbulences génératrices de bruits surajoutés. Le socle est en plastique isolant.

Le circuit électrique est relativement simple. Le pré ampli peut être alimenté par la même pile que le condensateur. A la sortie du micro, le signal est échelonné de 0 à 1 milliwatt sur 0.775 Volts. Cette norme date d'avant guerre, elle a été fixée internationalement pour le domaine de la téléphonie puis de l'audiophilie... (30).

Les micros électrostatiques courants, sont, de plus, connus pour être suffisamment robustes pour être utilisés dans n'importe quelles situations.

Le seul inconvénient est qu'ils sont très sensibles à l'humidité. En effet, l'humidité s'installe entre les deux plaques et peut faire conduction directe. Le micro ne marche alors plus du tout jusqu'à ce qu'il soit de nouveau sec. De même, l'air humide conduit de façon plus rapide l'électricité entre les deux plaques. Ainsi, le micro répondra différemment suivant l'humidité de l'air.

Pour notre étude, le micro a été prévu pour se loger dans un socle de laiton étanche grâce à des joints de caoutchouc, directement en liaison avec le stéthoscope. C'est un micro électrostatique de type Electret, dont la charge du diaphragme et de la plaque arrière sont appliquées de manière permanente au moment de la fabrication. Le procédé exact de fabrication constitue un secret industriel. Nous savons cependant que les éléments porteurs de charges des premiers modèles étaient construits dans le matériel isolant constituant le diaphragme (Plastique nommé Electret, dérivé du Téflon). Le montage du microphone avec le stéthoscope est photographié sur la figure 35.



Figure 35 : Photo du montage de l'étude avec le microphone à la place des écouteurs

L'ensemble est totalement étanche pour conduire le son depuis la membrane du stéthoscope jusqu'au diaphragme du microphone sans perte, et pour protéger le condensateur du microphone de l'humidité. (cliché J.C. DUQUESNE)

III.A.3. L'enregistreur numérique : VS 840 EX Roland®

III.A.3.a. Présentation générale

Il s'agit du VS 840 EX de chez Roland®, visible sur la figure 36. C'est une station numérique possédant tous les modules et fonctions nécessaires à un enregistrement de qualité de l'auscultation. Elle permet, de plus, une restitution parfaite que ce soit au casque ou par le biais d'une sonorisation importante en amphithéâtre.

Trois modules seront particulièrement intéressants de détailler : l'égalisation le vari-pitch et la compression.

Cet appareil enregistre avec une résolution numérique supérieure au CD. (20 bits contre 16 bits pour le CD). La fréquence d'échantillonnage est identique au CD (44 100 Hz). Le processus interne se fait en 24 bits ce qui permet d'appliquer des effets très poussés (nécessitant une forte puissance de calcul) au son sans problème. La bande passante est large, elle s'étale de 20Hz à 21 kHz. Elle couvre donc très largement la bande passante de l'oreille humaine. De plus, il n'y a pas de problème de sonie avec un tel appareil. Si on se réfère au diagramme de Fletcher et Munson vu précédemment à la figure 1, un son de -25 dB à 40 Hz ou de -50 dB à 500 Hz n'est pas entendu à l'oreille alors qu'il est enregistré par cet appareil, sachant que l'on peut ensuite renforcer cette gamme de fréquences pour le rendre audible. Quelle que soit la fréquence, la sensibilité de l'enregistrement est de -50 dB (plus performant que l'oreille humaine, même dans les zones de fréquences où elle est très pointue (la sensibilité de l'oreille à 2 kHz est de -45 dB contre - 50 dB pour le VS)). En conclusion, relié à un microphone à condensateur de qualité tel que nous l'avons vu précédemment, l'ensemble « entend » mieux que nous puissions le faire.

D'un point de vue praticité, l'appareil est un peu gros (5 kg et 40 x 30 cm) pour pouvoir le déplacer tout le temps mais le fait que tout lui soit intégré fait vite oublier ce désagrément. Il est de plus équipé d'une sortie digitale permettant le transfert des sons sur PC et d'un support d'enregistrement au rapport qualité prix parmi les meilleurs : les disquettes opto-magnétiques Zip 250 Mo. Elles contiennent plus de 90 minutes d'enregistrement.

D'autres appareils avaient les mêmes caractéristiques mais ont été écartés. En premier lieu, le DAT (Digital Audio Tape) a été testé. Le rendu sonore était excellent mais le fait que le support soit une cassette, engendre des désagréments qui lui sont liés. On ne peut écouter les enregistrements en boucle. De plus, l'appareil ne possède pas de module de traitement de son. On ne peut donc pas faire ces traitements en « Live » au cours d'une rediffusion en



amphithéâtre. Le deuxième appareil testé est un enregistreur MD (Mini Disc). L'accès aléatoire aux pistes était très pratique et corrigeait les défauts du DAT mais c'est un manque de fiabilité qui nous a fait abandonner cette idée dès le deuxième jour d'utilisation.



Figure 36 : Photo de la Workstation VS 840 Ex de chez Roland®

Ses dimensions sont généreuses et empêchent de poser l'appareil en bout d'une table pour faire l'auscultation mais il possède un lot d'effets et de modules de traitement sonore qui le rendent toutefois très pratique. (49).

III.A.3.b. Traitement du son

Plusieurs modules de traitement du son sont intéressants de détailler et à comprendre : l'égalisation (ou équalisation si on parle français) agit sur le timbre de l'enregistrement. Elle permet de renforcer ou de diminuer la présence de certaines fréquences choisies dans le spectre sonore. Le vari-pitch ou pitch-shifting est une fonction qui règle la vitesse de lecture de l'enregistrement. Son invention remonte aux années 70 lors de l'utilisation de magnétophones Revox analogiques. On agissait sur la vitesse de défilement de la bande magnétique pour pouvoir « accorder » les différents instruments entre eux. Enfin, la compression est un paramètre qui permet de rendre l'enregistrement moins fatigant lors d'une écoute prolongée. Ce principe est très utilisé en radiodiffusion pour rendre le volume de l'ensemble des chansons programmées homogène.

III.A.3.b.α L'égaliseur paramétrique

C'est un traitement très utile pour l'étude qui nous intéresse. Trois gammes de fréquences sont paramétrables. Les graves (*Low Frequencies*) les médiums (*Med frequencies*) et les aigus (*High frequencies*). Le paramétrage des graves et des aigus est simple et presque identique. On choisit une fréquence principale (*L.Freq* et/ou *H.Freq*) qui sera amplifiée (ou masquée) suivant le *Gain* (plus ou moins 12 dB par pas de 1 dB). Pour les graves, toutes les fréquences entre 20 Hz et la fréquence *L.Freq* choisie recevront le *Gain* choisi. Identiquement, pour les aigus, toutes les fréquences entre 21 kHz et la fréquence *H.Freq* choisie recevront le *Gain* choisi. On peut voir ce que donnent ces deux traitements avec des courbes représentant le gain en fonction de la fréquence sur la figure 37.

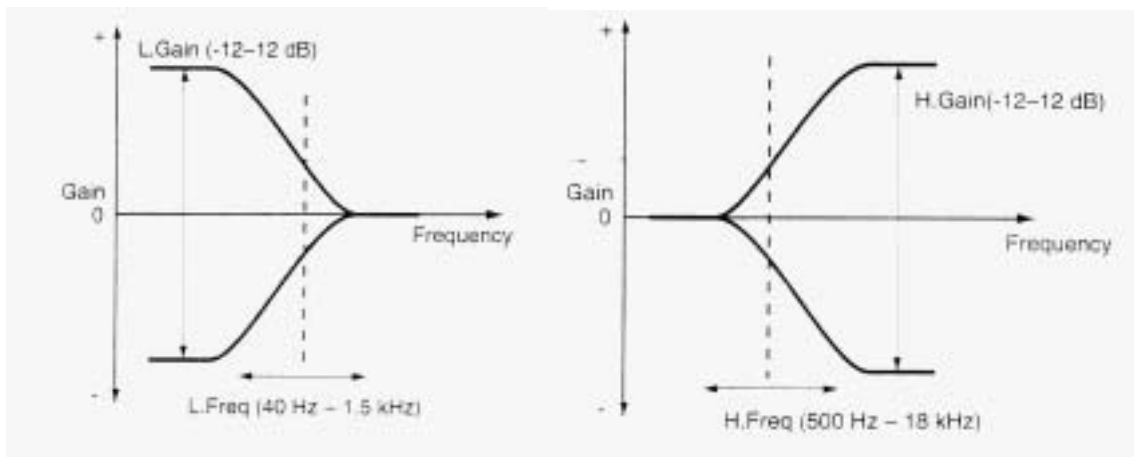


Figure 37 : Courbe représentant le gain en fonction de la fréquence

On peut voir sur ces courbes issues du manuel de l'appareil, que la fréquence *L.Freq* peut être choisie entre 40 et 1500 Hz. Parallèlement, *H.Freq* peut être choisie entre 0.5 et 18 kHz. (44).

Le paramétrage du gain, parmi les fréquences moyennes, comporte un paramètre supplémentaire, cf. figure 38. En effet, on peut choisir la fréquence *M.Freq* (entre 200 et 8000 Hz) sur laquelle sera appliqué le gain (entre -12 et +12 dB). On pourra ensuite choisir « l'étalement » du gain, *M.Q*, sur les fréquences voisines de la fréquence *M.Freq* choisie. On peut voir ce que donne ce troisième traitement avec la même courbe que précédemment représentant le gain en fonction de la fréquence.

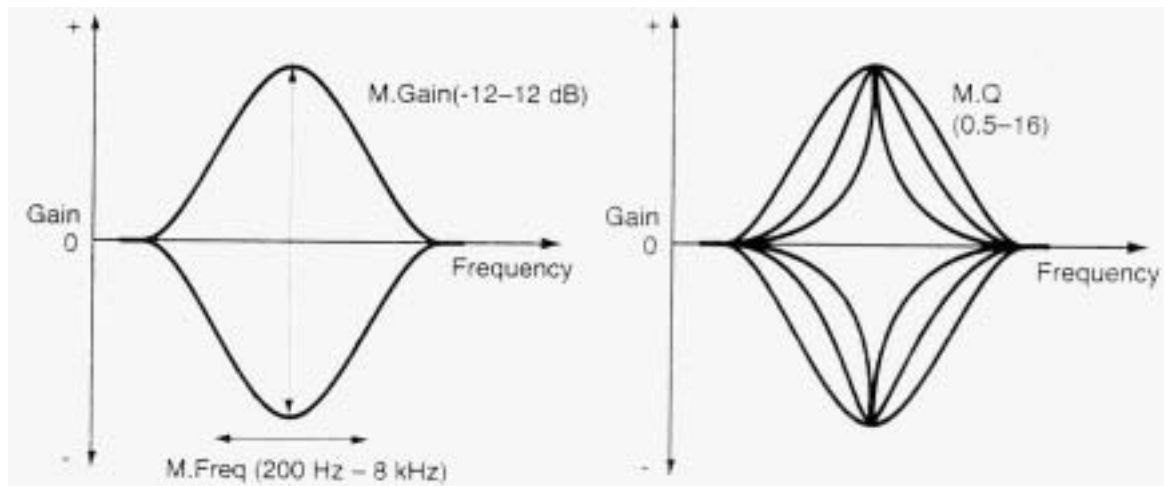


Figure 38 : Courbe représentant le gain en fonction de la fréquence et du paramètre d'étalement Q

On peut voir sur ces courbes issues du manuel de l'appareil, que la fréquence *M.Freq* peut être choisie entre 200 et 8000 Hz. Parallèlement, *M.Q*, l'étalement du gain, peut être choisi entre 0.5 et 16. Ce dernier chiffre n'a pas d'unité. Il représente simplement une allure de la courbe (0.5 sera la courbe la plus étalée). (44).

L'application d'une égalisation à une auscultation permettra de « gommer » certains bruits pour en faire ressortir d'autres. L'audition de l'enregistrement n'en sera que moins fatigante. En effet, l'audition de basses fréquences pendant une longue durée est susceptible de déclencher des migraines (ceci est même utilisé comme une arme technologique).

De plus, on pourra favoriser l'auscultation cardiaque par rapport à l'auscultation respiratoire ou vice versa. On pourra renforcer la présence d'un souffle sachant qu'il n'a pas la même fréquence que les bruits cardiaques normaux (les bruits cardiaques sont plus graves que peuvent l'être les souffles qui sont eux-mêmes plus graves que le souffle respiratoire normal.). (44).

Un ensemble de photos, figure 39, reprend l'affichage explicite du VS.

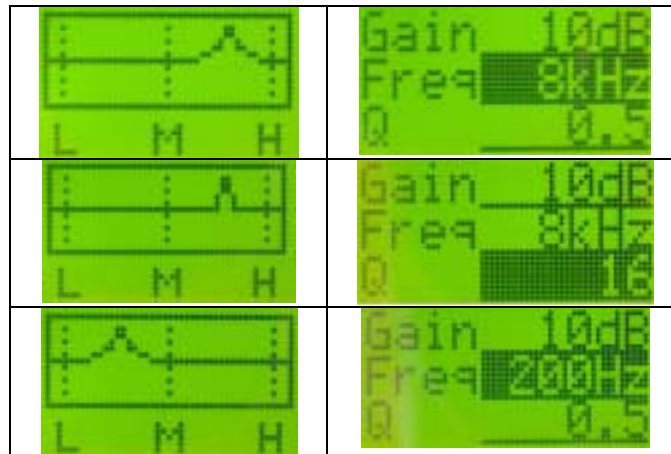


Figure 39 : Courbes représentant les spectres audio modifiés par égalisation paramétrique sur le VS840EX :

Ces graphiques sont des photos prises sur l'écran du VS. La première égalisation est fixée sur 8kHz, le gain est de +10dB. L'étalement aux fréquences voisines de 8kHz est grand puisque la valeur de Q est petite. La deuxième égalisation est identique mais avec un étalement serré, la valeur de Q est grande. Enfin, la troisième ligne représente une égalisation identique à la première mais fixée sur 200Hz. (clichés J.C.DUQUESNE)

Cependant, il faudra faire attention à « l'effet de masque ». Cette effet apparaît lorsque l'on « pousse » trop une fréquence ou une zone de fréquences. Du fait de l'anatomie des oreilles humaines et du système cochléaire, les fréquences voisines de la zone augmentée ne seront plus entendues à leur juste niveau. Elles seront gommées. Ainsi on préférera des valeurs faible pour le paramètre $M.Q.$. (20).

III.A.3.b.β. Le vari-pitch ou pitch-shifting

C'est une autre fonction très intéressante du VS. Cette fonction permet d'ajuster la vitesse de lecture d'un enregistrement déjà réalisé. C'est la fréquence d'échantillonnage qui est ajustée lors de cette lecture. Elle est de 44 100 Hz en enregistrement et peut varier de 24 050 à 47 070 Hz en lecture. (45). On peut donc accélérer mais surtout ralentir l'enregistrement jusqu'à la moitié de sa vitesse initiale. Ceci est très pratique lors de la lecture de l'auscultation d'un animal fortement tachycarde. Une auscultation cardiaque enregistré à une fréquence de 240 bpm pourra être diffusée à un fréquence de 120 bpm. A 240 bpm, certains troubles du rythme ne sont pas discernables à l'oreille. Ramenée à 120 bpm, cette auscultation pourra être analysée dans de meilleures conditions. Le seul inconvénient est que si la fréquence cardiaque est ralentie, la fréquence sonore des bruits l'est d'autant. Pour une auscultation ralentie de moitié, une note enregistrée à 440 Hz (le LA international) sera relue à 220 Hz c'est à dire transposée une octave en dessous de la normale. Ceci peut faire que les sons relus avec le vari-pitch positionné sur des valeurs très basses paraissent sourds et mats.

III.A.3.b.γ. La compression

C'est la dernière fonction utile pour notre étude. Ce traitement permet de remettre dans les limites de l'enregistreur les données envoyées par le microphone. En effet, nous avons vu que l'entrée de l'enregistreur peut gérer des signaux entre -50 dB et $+4$ dB. Si descendre au-dessous de -50 dB ne pose aucun problème (c'est identique à un micro non branché), dépasser $+4$ dB peut détériorer la qualité de l'enregistrement voire les convertisseurs numériques de l'enregistreur qui traitent le signal. Pour se protéger, avant les convertisseurs, il existe un compresseur/limiteur qui permet, après un seuil (threshold) choisi, d'appliquer un ratio choisi au signal. Les éventuelles courbes de volume obtenues sont présentées sur la figure 40. (5).

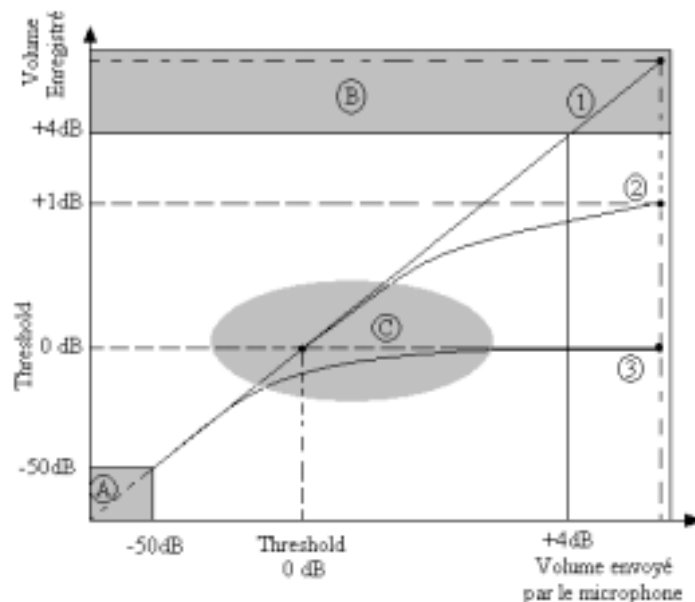


Figure 40 : Courbe représentant le volume enregistré par rapport au volume du signal émis par le micro en fonction du seuil (threshold) et du ratio choisis.

La **zone A** est la zone où l'enregistreur ne détecte aucun signal. La **zone B** est la zone où la sensibilité de l'enregistreur est dépassée. La **zone C** est une zone de transition où le ratio est progressif. La **courbe 1** n'est pas compressée. Le ratio est de 1. Le volume micro est le volume enregistré. Cette courbe pointe rapidement dans la zone B dangereuse. La **courbe 2** est compressée avec un ratio de 1:4. Si le seuil est fixé à 0dB, le volume enregistré pour un signal de +4dB sera de +1 dB. La zone B sera atteinte mais beaucoup plus lentement (en considérant que le micro pourra fournir un signal de +16dB). La **courbe 3** est limitée. Le ratio est $+\infty$, le volume enregistré ne peut dépasser le seuil choisi. (5).

III.A.4. L'éditeur Audionumérique : Sound FORGE©

III.A.4.a. Présentation générale

Il s'agit d'un logiciel fonctionnant sur PC et permettant de très puissants traitements sur les sons et sur ses représentations.

Le plus utilisé et le plus connu au niveau professionnel est **Sound FORGE** © de la marque Sonic Foundry © (Wisconsin, USA). Le choix est vaste pour ce type de logiciels mais nous avons déjà de l'expérience sur l'utilisation de ce logiciel. De plus, un rapport de l'INRP (Institut National pour la Recherche Pédagogique) exprime sa préférence pour ce logiciel (9). Nous l'avons utilisé dans sa version 4.0 XP, sa version 4.5 et sa version 5.0, sans que le changement de version ne change quoi que soit à notre étude. cf. figure 41.

Il « tourne » sur un PC équipé de 256 Mo de mémoire vive et d'un processeur AMD K6/2 à 350 MHz. L'interface numérique S/P Dif qui permet le transfert des enregistrements depuis le VS jusqu'au disque dur du PC est une carte son classique : la Sound BLASTER Live de la marque Creative ©.

C'est par le biais de ce logiciel que l'on va obtenir les phonogrammes et les sonagrammes. Le transfert des données est fait sans aucun traitement préalable du son. Seule la compression (enclenchée à l'enregistrement) est appliquée aux échantillons sonores. Ce respect du timbre de l'enregistrement est très important pour la qualité des phonogrammes et des sonagrammes.

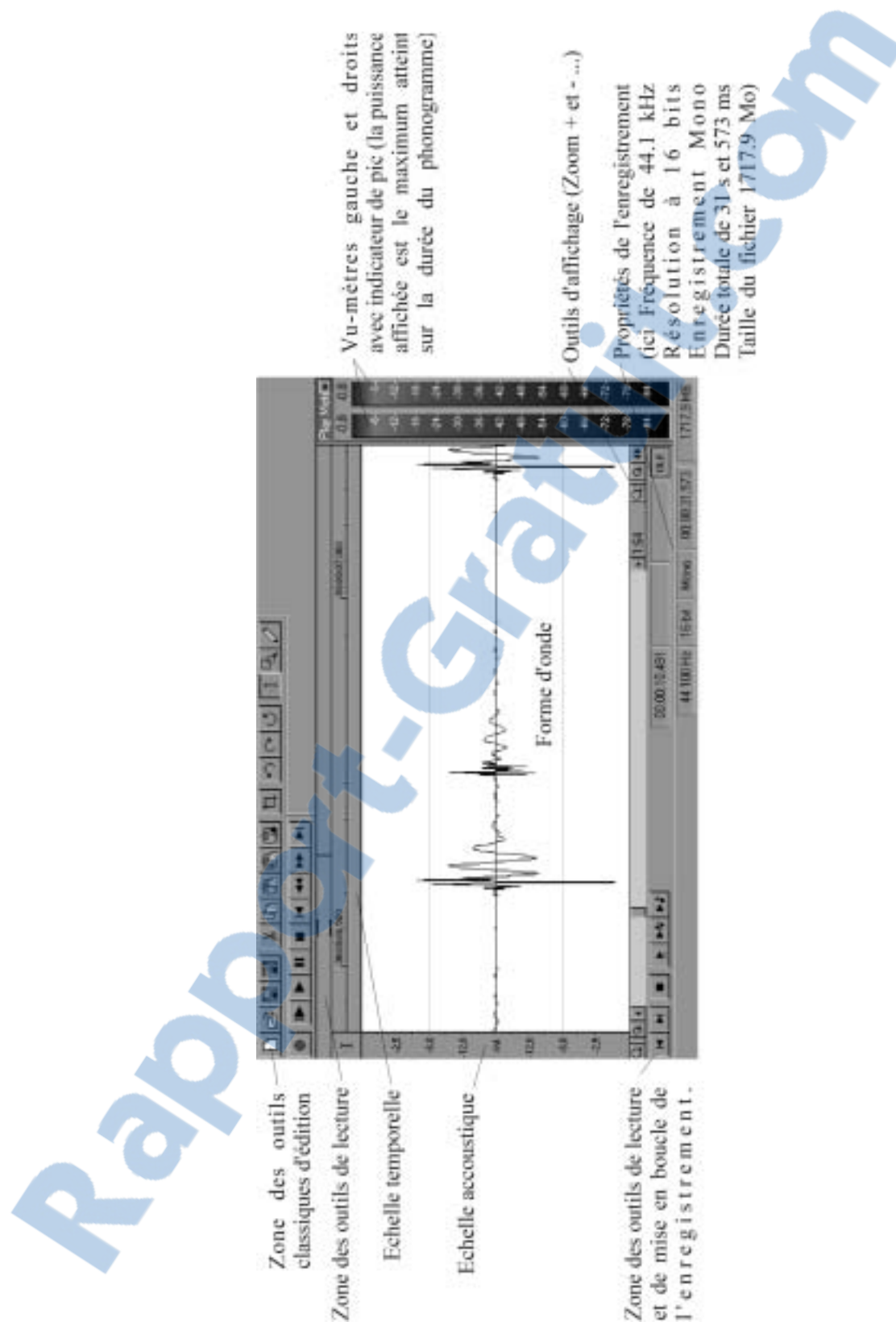


Figure 41 : Capture d'écran sur un PC faisant « tourner » Sound FORGE[®]

III.A.4.b. Traitement du son

L'éditeur présente les mêmes traitements que ceux détaillés précédemment. Nous ne reviendrons donc pas dessus, sachant que seuls quelques réglages sont différents tout en restant dans le même esprit que ceux déjà décrits.

Nous pouvons détailler deux traitements que le VS ne possède pas. Il s'agit de l'égalisation graphique et de l'extension temporelle (time expand).

III.A.4.b.α. L'égalisation graphique

Elle est similaire à la paramétrique. Les écrans de contrôle de l'égalisation paramétrique sur le VS sont détaillés sur la figure 39, à titre de comparaison, l'écran de contrôle de l'égalisation graphique de **Sound FORGE**® est détaillé sur la figure 42. On ne choisit plus les fréquences sur lesquelles on veut travailler mais un éventail de fréquences sont proposées. On choisit pour chacune d'elle le gain que l'on veut lui apporter (le traitement sur PC est plus puissant que sur le VS, on peut choisir un gain allant de -60dB à +20dB par pas de 0.1dB). C'est le type d'égalisation le plus fréquemment rencontré. Il faut avoir un nombre de bandes (nombre de fréquences proposées au réglage) assez important pour que l'égalisation soit correcte (minimum 8, optimum 10 ou 15, il existe des égaliseurs à 31 bandes mais on s'aperçoit vite que l'avantage par rapport à un 15 bandes est minime (20)).

Comme pour l'égalisation paramétrique, « l'effet de masque » existe. Il faudra alors faire attention à ne pas avoir une différence de plus de 20 dB entre les gains de deux bandes voisines si on ne veut pas étouffer ces dernières. (20).

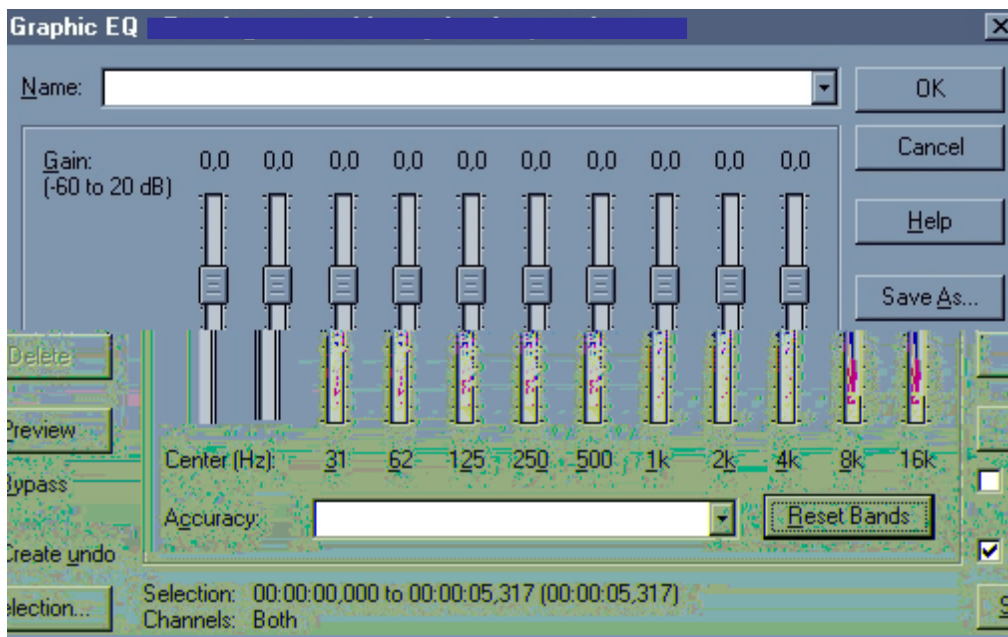


Figure 42 : Ecran présentant l'égalisation graphique dans le logiciel Sound FORGE[®]

Ce graphique est une capture d'écran sur PC faisant tourner **Sound FORGE[®]**. Chaque potentiomètre linéaire représenté permet de choisir le gain apporté à chaque octave du spectre audio audible (20 Hz à 20 kHz). Une fois que nous avons bien réglé son égalisation, le logiciel nous permet de la sauvegarder en lui donnant un nom (premier champ à remplir sur le haut de l'écran.).

III.A.4.b.β. L'extension temporelle

L'extension temporelle est un procédé numérique qui permet d'allonger ou de réduire la vitesse de lecture de l'enregistrement sans en faire varier la hauteur des notes qui le composent. Si on reprend l'exemple de l'auscultation d'un animal tachycarde à 240 bpm, on pourra réduire la vitesse à 120 bpm sans changement du timbre des bruits cardiaques. Il faut préciser que ce traitement très précis sur les enregistrements musicaux connaît quelques problèmes lorsqu'il s'agit d'un enregistrement cardiaque sans que nous en connaissions la raison. Le procédé de la version 5.0 semble plus stable et plus précis cependant ce procédé est très déstabilisant pour le néophyte car il présente le son avec un écho dont il faut savoir faire abstraction. Nous ne l'avons utilisé qu'avec parcimonie.

III.A.5. Les représentations graphiques du son par l'éditeur audionumérique Sound FORGE ©

III.A.5.a Paramétrage du Phonogramme

Peu de paramètres sont réglables pour le phonogramme, figure 43. Seul le zoom que l'on peut faire sur la courbe est vraiment intéressant. Ce zoom est très puissant et permet une qualité d'image inégalée sur un phonocardiogramme.

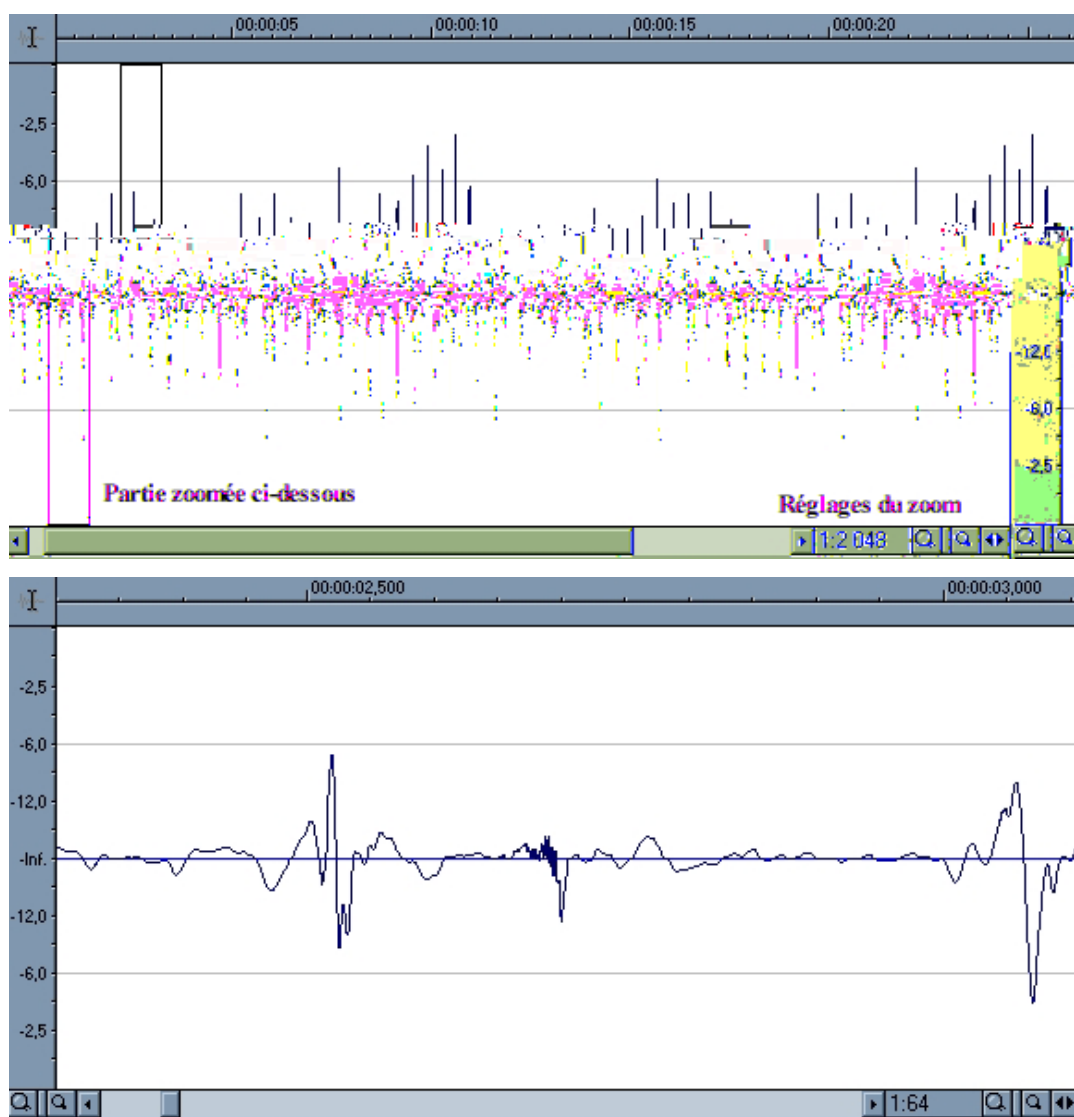


Figure 43 : Phonogrammes par le logiciel Sound FORGE ©

Ce graphique est une capture d'écran sur PC faisant tourner Sound FORGE ©. La partie encadrée sur le phonogramme du haut est la même que celle représentée sur le phonogramme du bas. On comparera la valeur du zoom dans la partie basse droite des écrans.

III.A.5.b. Paramétrage du Sonagramme

Le calcul du sonagramme par FFT est entièrement paramétrable. Une fenêtre permet, dans le logiciel **Sound FORGE**®, de spécifier les valeurs de tous les paramètres : (10).

- Taille et nature de la fenêtre : on peut choisir le nombre et la taille des fenêtrages. Pour améliorer la résolution on peut augmenter la taille de la fenêtre, pour obtenir un calcul rapide on peut diminuer la taille de la fenêtre et/ou le nombre de fenêtres calculées. (Nous utiliserons 2048 fenêtres par défaut).
- Taux de recouvrement : choix quelconque entre 0 et 99 %. (Nous utiliserons un recouvrement de 75% par défaut pour ne pas surcharger le processeur du PC).
- Type de présentation. (Nous utiliserons la représentation de Blackman Harris par défaut (la plus utilisée...)).
- Largeur spectrale visualisée : on peut, par exemple, si on étudie la voix humaine, spécifier une largeur de fréquences allant de 100 à 5.000 Hz pour bien visualiser les détails importants. Dans notre cas, les sons cardiaques enregistrables dépassent rarement 700 Hz mais descendent très loin dans le registre des graves. (Nous utiliserons une bande passante de 0 à 1000 Hz par défaut).
- Echelle de puissance sonore : On peut faire varier la couleur des fenêtres suivant l'arc-en-ciel depuis -150 dB jusqu'à 0dB. (Nous utiliserons la gamme sur -100 dB (bleu noir) à 0dB (rouge) par défaut).
- Autres : nombre de silence affiché de un à soixante-quatre ; choix entre une analyse en lecture avant lecture arrière... Ces derniers critères sont mineurs et compliqueraient cet exposé sans que cela ne soit nécessaire.
- Un curseur peut être déplacé sur l'écran grâce à la souris, il indique alors les différentes valeurs de la représentation à l'endroit visée.
- Un autre curseur permet de faire varier l'échelle des couleurs en temps réel pour visualiser d'éventuels détails masqués par l'échelle de couleur choisie par défaut.

III.B. METHODE

III.B.1. Les animaux enregistrés

Il s'agit des animaux présentés par leurs propriétaires à la consultation de médecine générale du lundi, de cardiologie du jeudi et aux rendez-vous d'échocardiographie de ces deux jours à l'école vétérinaire de Maisons-Alfort. Dans un premier temps, nous avons essayé d'enregistrer un maximum de cas sans préjuger de leur affection, puis, dans un deuxième temps en sélectionnant des cas représentatifs d'affections classiques. Des enregistrements de cas complexes ont été réalisés mais ne seront pas détaillés dans la suite de cet exposé par soucis de clarté.

163 enregistrements ont été réalisés sur des animaux présentant diverses affections. Seuls 53 enregistrements ont été conservés après le tri en fonction de leur qualité (abandon des enregistrements présentant des bruits parasites dus aux frottements des poils, aux mouvements et tremblements trop importants de l'animal, aux vocalises ou à la respiration et aux bruits extérieurs (propriétaires obligés de caresser ou de rassurer par des paroles douces leurs animaux...)).

Les cas sains ont été enregistrés dans la population des chiens et chats des étudiants de l'école. 20 cas ont été enregistrés.

Chaque cas a été ausculté par trois personnes qualifiées par soucis de fiabilité des interprétations.

Un maximum d'exams complémentaires concernant les cas détaillés est conservé et enregistré pour apporter un maximum d'éléments lors des commentaires. Sachant que le CD des auscultations doit permettre l'enseignement, la formule choisie a été de conserver un maximum d'éléments afin de pouvoir présenter les auscultations au cours de revues de cas cliniques simples, explicites et caractéristiques d'une affection cardiaque.

III.B.2. Méthode d'enregistrement

Dans une salle isolée (par souci de non-parasitisme sonore des enregistrements), l'animal est posé sur une table de consultation et est accompagné par son propriétaire. L'auscultation et l'enregistrement sont faits au casque pour ne pas effrayer les animaux. De plus, le casque permet, dès les faibles volumes d'avoir un meilleur retour de ce qui est enregistré. Les réglages de gain et de compression sont alors mieux faits. La compression est en règle générale légère, le seuil est d'environ -2 dB et le ratio de 4:1.

L'enchaînement des aires d'auscultation a été choisi en fonction des aires d'auscultation maximale. Chez le chien, un souffle mitral s'entend au niveau du 6^{ème} espace intercostal gauche, au bas du thorax ; un souffle tricuspide : 5^{ème} espace droit, au bas du thorax ; souffle pulmonaire : 3^{ème} espace, bas du thorax ; souffle aortique : 4^{ème} espace gauche ou droit, milieu du thorax. (42).

L'enchaînement réalisé est donc toujours le même, cf. figures 44 & 45. Le coté gauche puis le droit. L'aire apexienne, medio thoracique puis basale. Pour connaître le changement des zones sur l'enregistrement, nous tapons légèrement la capsule du stéthoscope à deux reprises. Ce bruit est alors facilement repérable sur la forme d'onde ou le phonogramme.

Si, elle est anormale, nous enregistrons aussi l'auscultation pulmonaire. Là aussi, l'enchaînement est toujours le même cf. figures 46 & 47. Le coté gauche puis le droit. L'aire caudale, medio thoracique puis crâniale. Nous finissons par l'auscultation au niveau trachéal. Le changement de zone est matérialisé par le même signal : un double tapotement sur la capsule du stétho.

Les enregistrements pulmonaires accompagnent les revues de cas mais ne seront pas détaillés dans la suite de cet exposé.



Figure 44 : Photos des aires d'auscultation cardiaque chez le chat

- 1 aire apexienne gauche (mitrale)
- 2 aire médio-thoracique gauche
- 3 aire basale gauche (aortique et pulmonaire)
- 4 aire apexienne droite (tricuspide)
- 5 aire médio-thoracique droite (tricuspide)
- 6 aire basale droite (pulmonaire)



Figure 45 : Photo des aires d'auscultation cardiaque chez le Chien

- 1 aire apexienne gauche (mitrale)
- 2 aire médio-thoracique gauche
- 3 aire basale gauche (aortique et pulmonaire)
- 4 aire apexienne droite (tricuspide)
- 5 aire médio-thoracique droite (tricuspide)
- 6 aire basale droite (pulmonaire)

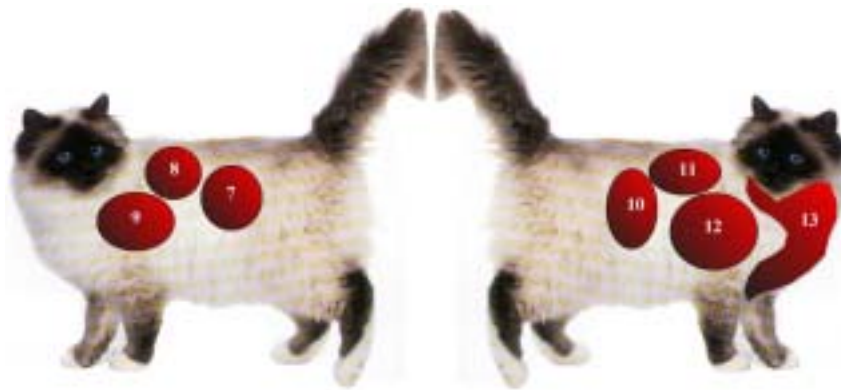


Figure 46 : Photos des aires d'auscultation respiratoire chez le chat

- 7 aire pulmonaire caudale gauche
- 8 aire pulmonaire médio-thoracique gauche
- 9 aire pulmonaire crâniale gauche
- 10 aire pulmonaire caudale droite
- 11 aire pulmonaire médio-thoracique droite
- 12 aire pulmonaire crâniale droite
- 13 aire trachéale

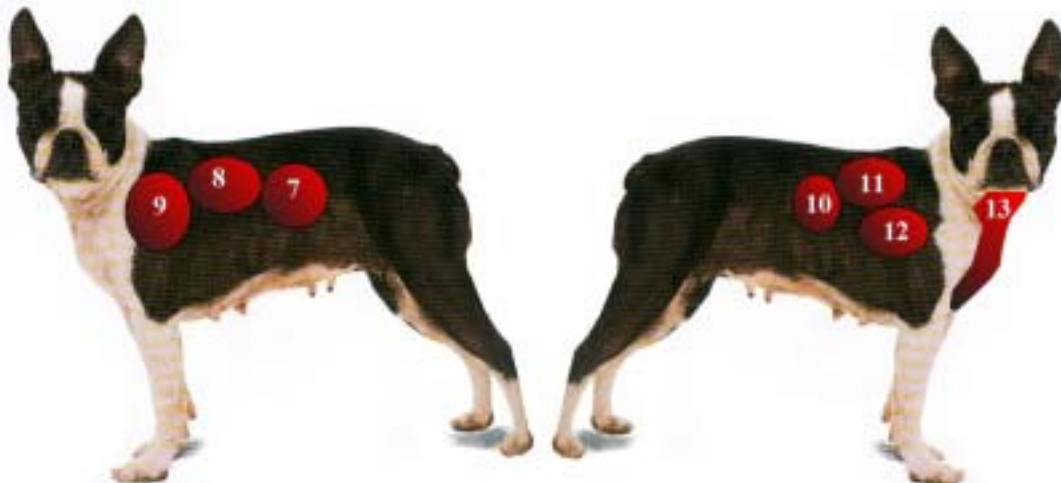


Figure 47 : Photos des aires d'auscultation respiratoire chez le chien

- 7 aire pulmonaire caudale gauche
- 8 aire pulmonaire médio-thoracique gauche
- 9 aire pulmonaire crâniale gauche
- 10 aire pulmonaire caudale droite
- 11 aire pulmonaire médio-thoracique droite
- 12 aire pulmonaire crâniale droite
- 13 aire trachéale

Lors de l'enregistrement, l'égalisation n'est pas modifiée. Elle ne le sera que lors de la relecture de l'enregistrement ou lors de l'optim

Le fait d'enregistrer le cœur par l'intermédiaire d'un micro monté sur un stéthoscope engendre une différence par rapport à la PCG où le micro est placé directement au contact de la peau. Ceci nous permet, comme nous l'avons déjà vu, de réaliser des enregistrements ayant un timbre identique à celui des sons entendus au cours d'une auscultation de routine en cabinet.

Ceci nous permet aussi, suivant les cas, d'utiliser le filtrage sonore obtenu directement grâce à un stéthoscope classique. Le côté cloche, placé sans appuyer, permet d'entendre les basses fréquences ; le côté diaphragme, placé sans appuyer, permet d'entendre les moyennes fréquences, placé en appuyant plus fermement, permet d'entendre les hautes fréquences. Ce filtrage est, bien sur, beaucoup moins fort que le filtrage réalisé par ordinateur ou sur VS mais peut constituer une aide que beaucoup de praticiens n'utilisent pas. En effet, nous avons constaté que la plupart de ces derniers n'utilise que le côté diaphragme du stéthoscope. Ce côté est très sensible pour entendre des souffles par exemple mais n'aide pas à entendre et localiser des bruits de galop, notamment chez le chat. (36).

III.B.3. Obtention du phonogramme

A la fin de la journée, les données enregistrées sur le VS sont transmises numériquement sur PC par le biais d'une connexion S/P DIF (Sony Philips Digital Interface Format). Les enregistrements sont alors réduits à une zone auscultatoire par fichier créé. Les fichiers sons créés sont au format WAVE (extension .WAV). Ils ont la même résolution sonore que les données contenues sur un CD Audio. Le fichier est optimisé, mis en boucle pour les enregistrements de courte durée (nous nous sommes fixés une durée minimale de 30s pour chaque enregistrement). La forme d'onde obtenue à l'écran est alors capturée et convertie en fichier image au format J-PeG (extension .JPG) pouvant être intégré dans la plupart des logiciels de présentation ou de traitement de texte. Le timbre original de l'enregistrement est conservé pendant cette phase.

III.B.4. Obtention d'un sonagramme

Une zone de l'enregistrement est sélectionnée sur la forme d'onde. Elle va subir les traitements pour obtenir le sonagramme.

La zone sélectionnée sera choisie suivant deux critères majeurs. Cette zone ne doit pas être parasitée par un son extérieur à l'auscultation cardiaque. Le bruit extérieur est généralement nul mais comme nous travaillons sur des animaux vigiles, il peut arriver que l'animal soupire, grogne, miaule ou plus simplement bouge et que l'on entende son poil glisser sur la capsule.

La deuxième condition que doit remplir une zone à traiter est un enregistrement de bonne qualité. Le volume sonore doit dépasser au minimum -6 dB pour avoir une belle image sur le sonagramme. Ainsi, lorsque l'animal présente, par exemple, une arythmie sinusale respiratoire, on préférera sélectionner la zone de fin d'expiration, là où la fréquence cardiaque est plus lente et où les battements cardiaques sont les plus forts.

En règle générale, nous sélectionnons une révolution cardiaque entière à partir du début de B1 (repère facile sur la forme d'onde) jusqu'au B1 suivant ($B1^{n+1}$ compris). Cette sélection est optimale pour la compréhension du sonagramme et pour la rapidité de calcul du PC (environ 15 secondes de calcul pour le traitement de 3 secondes d'enregistrement avec les paramètres par défaut que nous avons déjà détaillés). Le graphique obtenu à l'écran est alors capturé et converti en fichier image au format J-PeG (extension .JPG) pouvant être intégré dans la plupart des logiciels de présentation ou de traitement de texte tout comme le phonogramme.

III.B.5. Optimisation de l'enregistrement en vue de sa rediffusion

III.B.5.a. L'égalisation

Elle est apportée à l'enregistrement afin qu'il ne sature pas lors de sa rediffusion. Le registre des graves est donc diminué dans la partie des infra basses (autour de 20 Hz). Si besoin, le registre des médiums, contenant les bruits respiratoires est conservé, sinon, lui aussi est supprimé. Le registre des aigus est totalement supprimé puisqu'il n'est d'aucune utilité et contient le souffle des préamplificateurs et convertisseurs numériques du VS. Cf. tableau 3.

<u>Fréquence</u>	<u>Gain apporté</u>
31 Hz	-60 dB
62 Hz	-30 dB
125 Hz	0 dB
250 Hz	0 dB
500 Hz	0 dB à -20 dB
1 kHz	-20 dB à -60 dB
2 kHz	-40 dB à -60 dB
4 kHz	-60 dB
8 kHz	-60 dB
16 kHz	-60 dB

Tableau 3 : L'égalisation classique pour le traitement des enregistrements cardiaques

Ce tableau représente le gain apporté classiquement pour chaque bande de fréquences lors de l'optimisation des enregistrements. On remarquera le gain de -60 dB sur la gamme des très basses fréquences qui permet de gommer les bruits cardiaques normaux qui feraient saturer facilement n'importe quel installation HI-FI, aussi bonne soit elle.

III.B.5.b. Optimisation du volume sonore

Le volume est optimisé pour obtenir une même sonie entre les diverses plages enregistrées. **Sound FORGE**® possède un outil qui permet de savoir quelle est la puissance sonore du pic le plus élevé sur la forme d'onde. Il suffit, une fois cette valeur connue, d'amplifier l'ensemble de l'enregistrement pour que ce pic atteigne juste le 0 dB qui est, rappelons le, la puissance maximale qu'un enregistrement HI-FI grand public puisse atteindre. (Cette norme passe à +4 dB pour les appareils professionnels & semi-professionnels comme le VS).

III.B.5.c. Optimisation de la vitesse de l'enregistrement

Si besoin, un enregistrement est ralenti par vari-pitch ou par time expand pour le rendre plus compréhensible mais aucun phonogramme ni sonagramme ne seront réalisés sur ce type d'enregistrement sonore.

III.B.5.d. Mise en boucle

Si besoin, un enregistrement est mis en boucle si sa durée est inférieure à 30 secondes (durée nous semblant nécessaire à la compréhension d'une auscultation). Le début de l'enregistrement est alors affecté d'un volume $-\infty$ dB tout comme la fin de l'enregistrement. Lors de la répétition de l'enregistrement par simple copier-coller, le volume de fin de la boucle N sera identique au volume de début de la boucle N+1. Ainsi, aucun décrochage ne s'entendra (claquements sourds ou aigus suivant le type de décrochage). (39).

III.B.6. Rediffusion des enregistrements

Cette rediffusion peut avoir lieu juste après l'enregistrement. Le VS est branché au système de diffusion sonore de l'amphithéâtre. L'enregistrement est rapidement optimisé par nos soins sur le VS. Les paramètres peuvent être changés à tout moment, même en cours de lecture, suivant la demande du professeur expliquant l'auscultation aux élèves. Les enregistrements sont conservés dans leur état d'origine afin de, toujours, ne pas modifier le timbre en vue de la réalisation des phonos et sonagrammes. Les effets ne sont appliqués que temporairement et à la demande sur le VS.

Cette rediffusion, sinon, est faite après gravure d'un CD Audio à partir des fichiers WAVE obtenus et optimisés par **Sound FORGE** [©]. Cette fois c'est un lecteur de CD Audio classique qui lira les auscultations enregistrées.

C'est ce qui est fait lors des revues de cas cliniques faites chaque semaine. S'il est besoin, une égalisation peut être appliquée au CD par le biais de l'amplificateur du système de l'amphithéâtre. C'est une égalisation paramétrique fixe (les fréquences des graves, médium et aigus sont fixes) mais elle peut apporter un plus pour certains enregistrements lorsqu'ils sont diffusés dans un grand volume tel qu'un amphithéâtre.

IV. RESULTATS

IV.A. LES ENREGISTREMENTS

La méthode que nous avons employée nous a permis de « coller » au plus près de la réalité et du son entendu à travers un stéthoscope lors d'une auscultation. Quelques cas sont présentés dans le CD audio fourni avec ce texte. Le sommaire de ce CD et quelques recommandations sont visibles en annexe.

Des CD audio ont déjà été réalisés en médecine humaine mais les auscultations sont différentes pour la médecine vétérinaire et on ne peut donc pas utiliser ces enregistrements pour illustrer la médecine vétérinaire. (38). Des ouvrages accompagnés de cassettes audio ont été réalisées en médecine vétérinaire mais la qualité de la cassette magnétique limite la qualité des enregistrements. (51). Sans ouvrir le débat sur le pour et le contre du son analogique, le son numérique (qualité CD, c'est à dire avec une bonne résolution (16 bits) et une bonne fréquence d'échantillonnage (44 100 Hz)) est capable de retranscrire une large bande passante dont on a besoin pour les sons cardiaques qui sont à la limite et à cheval sur l'in audible bas. (25).

Nous avons fait écouter le CD à quelques vétérinaires et à quelques médecins qui ont trouvé le concept et la qualité très satisfaisants.

IV.B. LES TRACES NORMAUX

IV.B.1. Le phonogramme

Le phonogramme normal permet des tracés très proches de la phonocardiographie large bande, ce tracé nous permet donc d'étudier le rythme du cœur avec une grande précision. Intéressons-nous, chez un même chat aux parts respectives des phases du cœur et de leur variation avec la fréquence cardiaque.

Sur la figure 48, on peut relever la durée de chaque phase (B1, PS, B2 et GS) et voir dans quelle mesure le changement de fréquence cardiaque les affecte. Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau 4. Les bruits B1 et B2, ainsi que le petit silence, sont raccourcis d'un quart mais c'est le grand silence, surtout, qui est réduit de plus d'un tiers lors de l'augmentation de 132% de la fréquence cardiaque. C'est donc le raccourcissement ou l'allongement du grand silence et donc de la diastole qui permet l'adaptation du rythme cardiaque. On peut se rendre compte, aussi, que le volume sonore des bruits cardiaques du chat avec une fréquence normale est beaucoup plus élevé que le volume sonore des bruits cardiaques du même chat tachycarde. On peut en conclure que le volume de sang réellement éjecté par une contraction cardiaque en phase tachycarde est moins important qu'en phase normale.



...	B1	S.	B2	Diastole	B1	S.	B2	...
-----	----	----	----	----------	----	----	----	-----



...	B1	B2	Diastole	B1	B2	...
-----	----	----	----------	----	----	-----

Figure 48 : Phonogrammes d'un chat normal (170 bpm) et d'un chat tachycarde (240 bpm)

On voit nettement B1 suivi de B2. L'espace entre les deux est minime sur le graphique du haut mais devient virtuel sur celui du bas.

(s = Systole)

Phase	Durée à 170 bpm (en ms)	Part de la phase dans le cycle	Durée à 240 bpm (en ms)	Part de la phase dans le cycle	Pourcentage de compression
B1	60 ms	17%	45 ms	19%	75%
PS	20 ms	6%	15 ms	7%	75%
B2	40 ms	11%	30 ms	13%	75%
GS	240 ms	66%	150 ms	61%	62%
Total	360 ms	100%	240 ms	100%	67%

Tableau 4 : Comparaison des phonogrammes d'un chat normal (170 bpm) et d'un chat tachycarde (240 bpm)

Chaque phase a été mesurée sur les phonogrammes correspondants. Chacune de ces durées est traduit en pourcentage du cycle. On peut voir que les parts de PS, B1 et B2 au cycle normal sont quasi identiques au cycle tachycarde. Seul GS varie beaucoup. C'est en grande partie GS qui est réduit lors d'un passage d'une fréquence à une fréquence plus élevée.

Du fait de la grande précision du micro et de l'enregistreur numérique VS, nous avons pu, à quelques reprises, enregistrer des bruits de galop sur des animaux sains. Ils sont généralement intermittents et disparaissent lorsque la fréquence cardiaque augmente. On a pu enregistrer un chien dont le bruit de galop disparaissait en fonction de l'arythmie sinusale respiratoire. Le bruit de galop apparaissait donc en fonction de l'expiration. Malheureusement, l'animal, un peu remuant, a produit trop de parasites pour que l'enregistrement phonographique soit exploitable.



Figure 49 : Phonogramme d'un chat normal (165 bpm)

On voit nettement le cycle : B1 PS B2 puis GS coupé en deux parties par B3 survenant 100 millisecondes après B2.

Si on écoute l'enregistrement correspondant à ce phonogramme, on peut entendre le bruit de galop. A part la présence de ce B3, ce chat n'avait aucune modification cardiaque (chat présenté en échocardiographie avant de subir une anesthésie en raison d'une fracture sur le membre postérieur droit. Seul l'âge de l'animal (15 ans) et l'audition de ce bruit de galop avaient motivé un tel examen.).

IV.B.2. Le spectre

Le spectre présenté sur la figure 50 a été réalisé sur l'ensemble d'un cycle cardiaque enregistré sur un chien adulte de taille moyenne (beagle de 12 kg). La variation de ce spectre en fonction de l'âge et de la race est minime. On retrouve toujours le plateau entre 0 et 70 Hz. La courbe ne varie que sur la phase de décroissance du spectre. Cette décroissance est linéaire et s'étale moins chez les chiens de gros gabarit (elle plonge à 1000 Hz chez les gros chiens (test réalisé sur une chienne adulte terre neuve de 70 kg) alors que la courbe s'étale jusqu'à 2000 Hz chez les petits chiens et les chats (test réalisé sur un chien adulte York shire de 2 kg et deux chats adultes de 2.5 kg)).

On a pu constater les mêmes différences en fonction de l'âge de l'animal (la relation avec la taille est sûrement prépondérante). Les jeunes montent jusqu'à 2500 Hz alors que les adultes ne dépassent pas 2000 Hz.

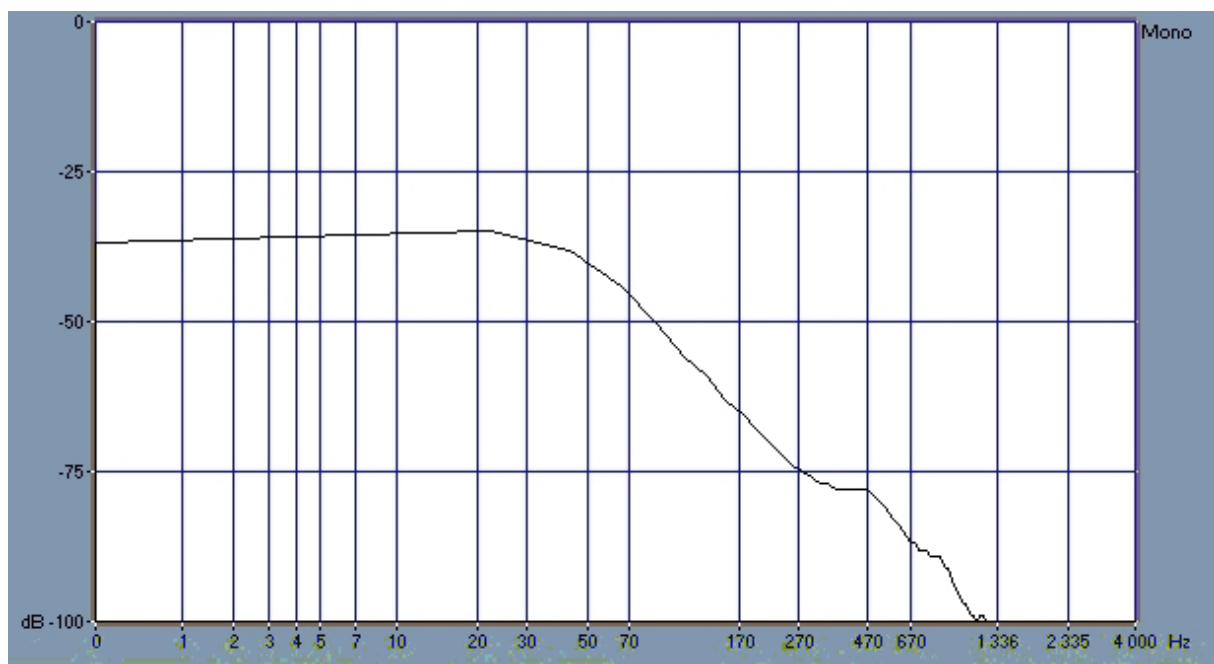


Figure 50 : Spectre cardiaque chez un beagle de 12 Kg

Le spectre présenté sur la figure a été réalisé sur l'ensemble d'un cycle cardiaque enregistré sur un chien adulte de taille moyenne (beagle de 12 kg) présentant une auscultation normale. La variation de ce spectre en fonction de l'âge et de la race est minime.

IV.B.3. Le sonagramme

Le sonagramme normal permet de voir un fort noyau rouge (-10 à 0 dB) entre 0 et 250 Hz au niveau de B1. Sur la plupart des cas, ce noyau peut être distingué en deux sous-ensembles. On voit une première partie de ce noyau entre 150 et 250 Hz. Et une deuxième partie entre 120 et 0 Hz. Ceci se voit particulièrement bien sur le sonagramme, figure 51, ci après. Le sous-ensemble compris entre 150 et 250 Hz (le plus aigu) est généralement plus précoce que le sous-ensemble compris entre 0 et 120 Hz (le plus grave). L'empreinte globale de B1 peut monter entre 700 et 1000 Hz.

L'interprétation suivante peut être donnée. Le premier sous-ensemble du noyau de B1 (le plus aigu) peut correspondre à la composante sonore due au coté gauche du cœur, dont la valve mitrale. Le deuxième sous-ensemble du noyau de B1 (le plus grave) peut correspondre à la composante sonore due au coté droit du cœur, dont la valve tricuspide. L'empreinte globale de B1 peut être due à la composante sonore due à l'ensemble du myocarde et du sang dans les gros vaisseaux.

B1 est suivi de la systole ou petit silence pendant laquelle on peut observer un bruit de fond compris entre 0 et 400 Hz. Ce bruit de fond est composé de deux sous-ensembles. Le premier est constitué de très basses fréquences (moins de 100Hz) le volume de ce sous-ensemble est fort (en vert foncé ou rouge), entre -50 et -10 dB. Le deuxième sous-ensemble est constitué de fréquences plus hautes, entre 100 et 400 Hz. Le volume ne dépasse que très rarement -80 dB (reste en vert clair ou bleu clair sur le tracé). Ce bruit de fond est donc absolument inaudible. Il reste constant et uniforme pendant toute la durée du petit silence.

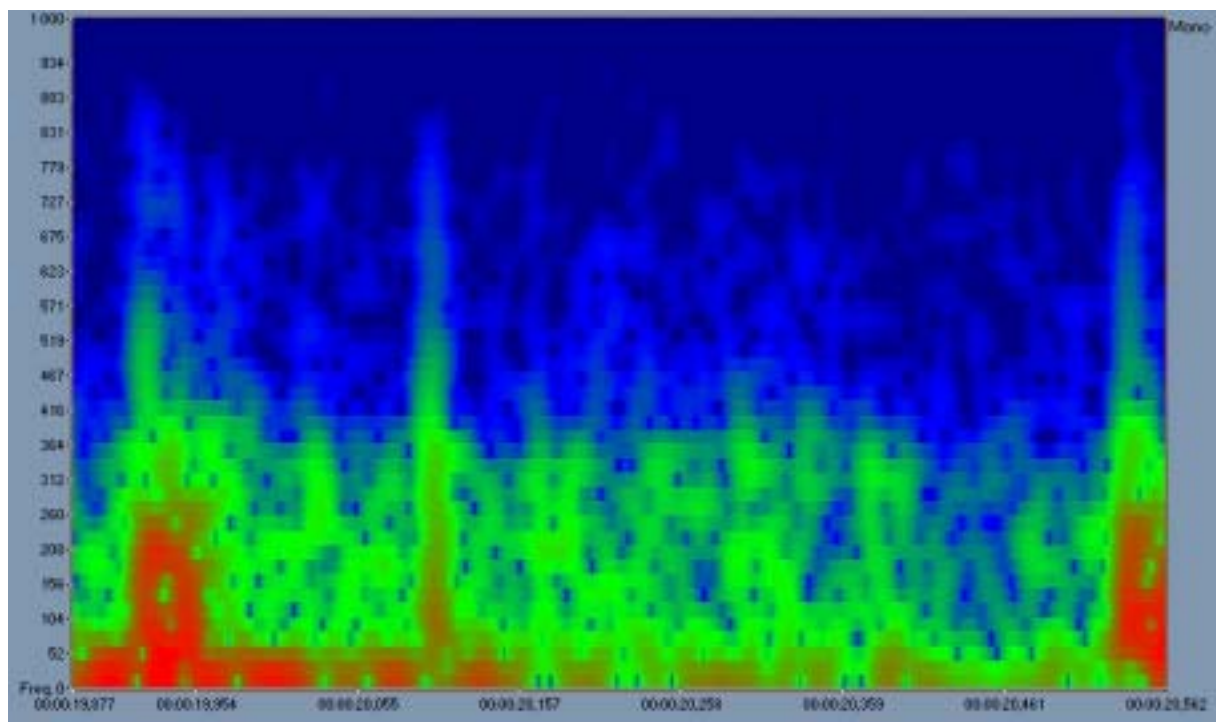
Ce bruit de fond peut être identifié par la mise en tension musculaire des ventricules.

B2 survient alors. La forme qu'il dessine sur le tracé est beaucoup plus fine. Les composantes sonores de ce bruit sont beaucoup plus étalées que les composantes de B1. Elles ne forment pas de noyau mais une lame qui s'étend de 0 à 500 Hz. Le volume dépasse rarement -20 dB pour une fréquence donnée (la lame est colorée de rouge clair au vert foncé).

Enfin, la diastole boucle le cycle cardiaque. On peut distinguer trois parties sur les tracés. La première partie, qui dure environ 60 à 80 % de la durée diastolique totale ressemble à la systole. Un bruit de fond est détecté entre 0 et 400 Hz (fort en dessous de 100 Hz -50dB à -30 dB). Ce bruit de fond, tout comme pendant la systole, est inaudible. Pendant cette première partie de la diastole, il reste constant et uniforme. Ensuite, ce bruit de fond s'estompe pendant la deuxième partie de la diastole (10 à 30 % de la durée diastolique totale).

Il n'est plus représenté que par de très basses fréquences (moins de 100Hz). Enfin, la troisième partie de la diastole, quelques dizaines de millisecondes avant B1, correspond à la première partie. Le bruit de fond redevient identique et toujours inaudible.

La première partie de la diastole peut être la phase de remplissage passif du cœur. Le bruit de fond est alors produit par les gros vaisseaux amenant passivement le sang au cœur. Ce bruit exacerbé correspond à un bruit B3. La deuxième partie de la diastole peut correspondre à l'équilibration des pressions entre les ventricules et les atria. Le sang ne bouge plus beaucoup et donc le bruit de fond tend à disparaître. Enfin, la troisième partie de la diastole peut être identifiée à la contraction auriculaire. Exacerbé, cette partie donnera un B4.



...	B1	Systole	B2	Diastole 1 ^{ère} partie	2ème	3ème	B1
-----	----	---------	----	----------------------------------	------	------	----

Figure 51 : Sonagramme cardiaque chez un beagle de 12 Kg

Le sonagramme présenté sur la figure a été réalisé sur l'ensemble d'un cycle cardiaque enregistré sur un chien adulte de taille moyenne (beagle de 12 kg) présentant une auscultation normale. La variation de ce sonagramme en fonction de l'âge et de la race est minime.

IV.C. LES SOUFFLES CARDIAQUES

Lorsqu'il y a un souffle cardiaque, le premier tracé modifié est le spectre. En effet, les souffles sont généralement plus aigus que les bruits cardiaques normaux. La courbe obtenue possède un plateau plus long voire présentant une excroissance au niveau des médiums et aigus. La courbe peut, dans certains cas, être inclinée sur le début du spectre, lorsque B1 et B2 sont masqués par le souffle et lorsqu'ils sont de moins forte intensité à cause de l'affection entraînant le souffle.

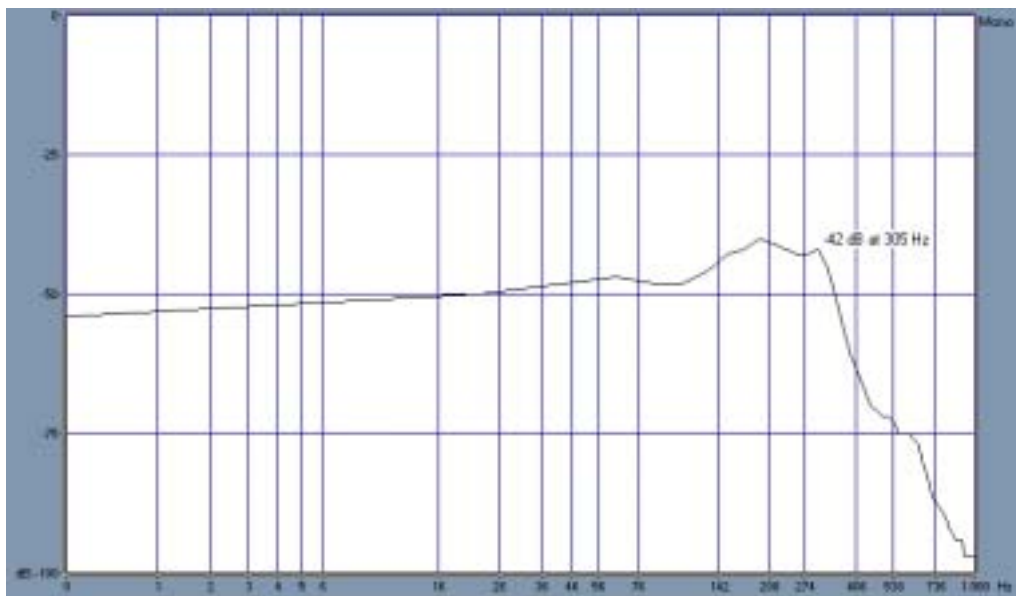


Figure 52 : Spectre cardiaque chez caniche de 10 kg présentant un souffle de réurgitation mitrale

La variation du spectre est corrélée au degré auscultatoire du souffle trouvé. Plus le degré est fort plus le plateau s'allonge et se termine par un pic (ici à 305 Hz, c'est à dire beaucoup plus aigu que chez le chien normal)

Le spectre ne permet cependant pas de qualifier réellement les souffles car toutes notions de temps, de timbre et d'enveloppe sont effacées par ce type de tracé.

Les affections étudiées ci après étant dépendantes du nombre de cas que nous avons consultés et de leur représentativité, certaines d'entre elles, présentés dans l'étude bibliographique n'ont pas été reprises dans la suite de cet exposé.

IV.C.1. Les souffles systoliques

IV.C.1.a. Les souffles physiologiques

Nous avons enregistré quelques chats présentant des souffles d'anémie. En voici un exemple : Le phonogramme ne permet pas d'avoir de courbes significatives du souffle d'anémie. En effet le souffle étant de faible intensité, on distingue mal son ventre vibratoire par rapport au bruit de fond. Cependant le sonagramme, lui, est significatif.

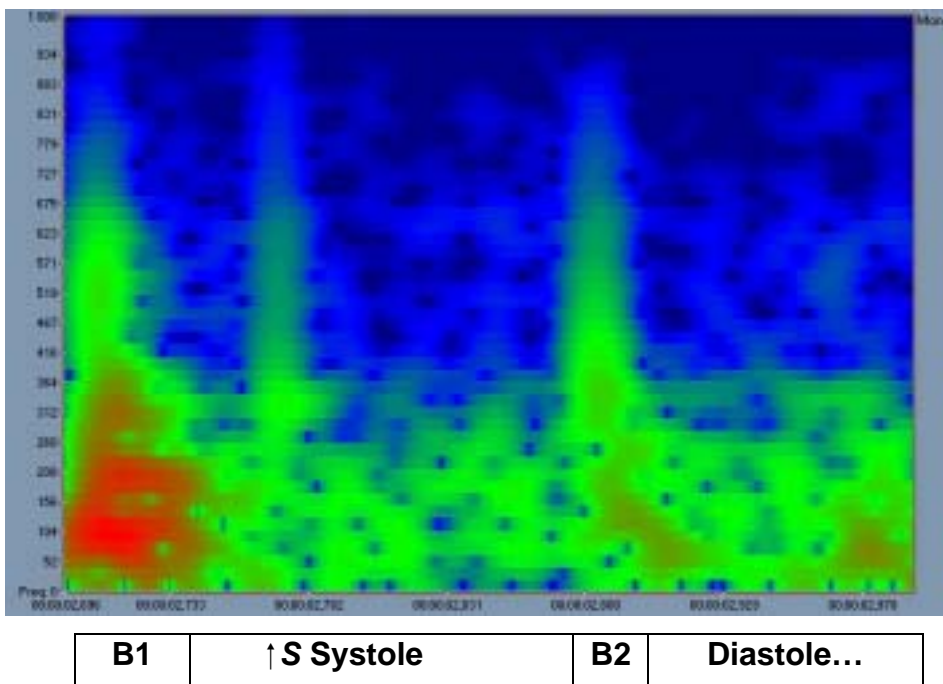


Figure 53 : Sonagramme cardiaque chez un chat anémié

A l'échographie, aucune affection cardiaque n'a été découverte. (↑ S = souffle)

Plutôt de hautes fréquences, entre 260 et 700 Hz, ce souffle occupe la première moitié de la systole. Son volume sonore est faible et les composantes du bruit dépassent rarement – 50dB.

IV.C.1.b. Les souffles d'insuffisance mitrale

C'est le souffle le plus représenté dans nos enregistrements. Il est d'ailleurs présent chez de nombreux cas atteint d'autres affections aussi. Suivant le grade (stade échographique et degré d'intensité auscultatoire) et la cause de l'affection, la morphologie des tracés varie.

IV.C.1.b.α Les souffles d'endocardiose mitrale

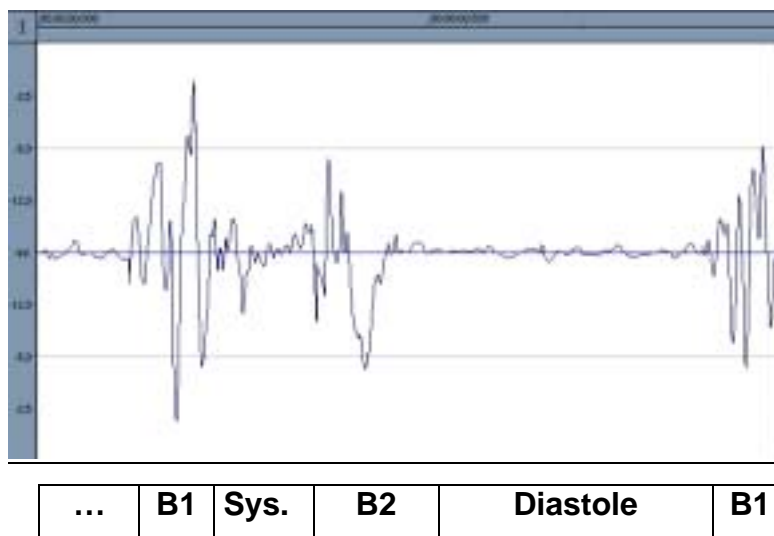


Figure 54 : Phonogramme d'un chien présentant un souffle d'insuffisance mitrale de grade 2/6

Chien Cavalier King Charles de 6 ans présentant de l'endocardiose mitrale de stade 1 échographique.

B1 est visible entre les repères 00.100 et 00.250. Il semble normal. B2 est visible entre les repères 00.350 et 00.450. Il semble normal. Le souffle se matérialise sur cette courbe par des petites oscillations commençant sur la fin de B1 et finissant sur le début de B2.

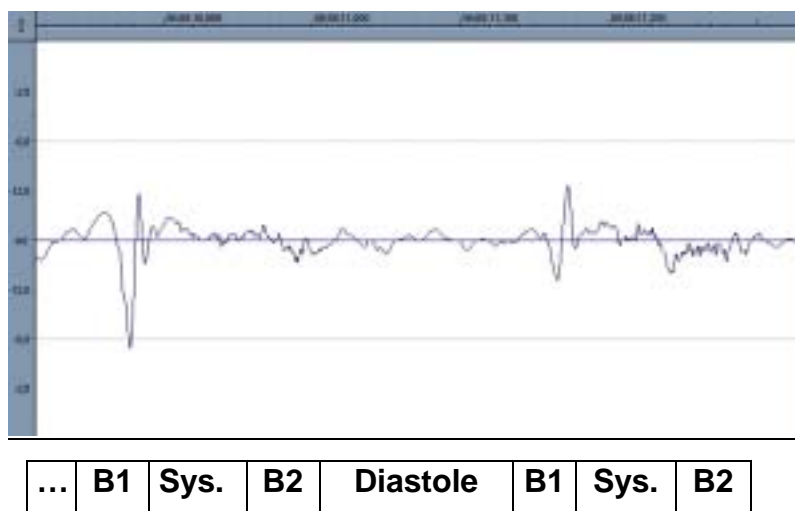


Figure 55 : Phonogramme d'un chien présentant un souffle d'insuffisance mitrale de grade 3/6

Chien Caniche de 8 ans présentant de l'endocardiose mitrale de stade 1 échographique.

B1 est visible entre les repères 10.830 et 10.890. Il semble normal. B2 ne semble plus visible ici. Le souffle se matérialise sur cette courbe par des petites oscillations commençant sur la fin de B1 et finissant au repère 11.010.

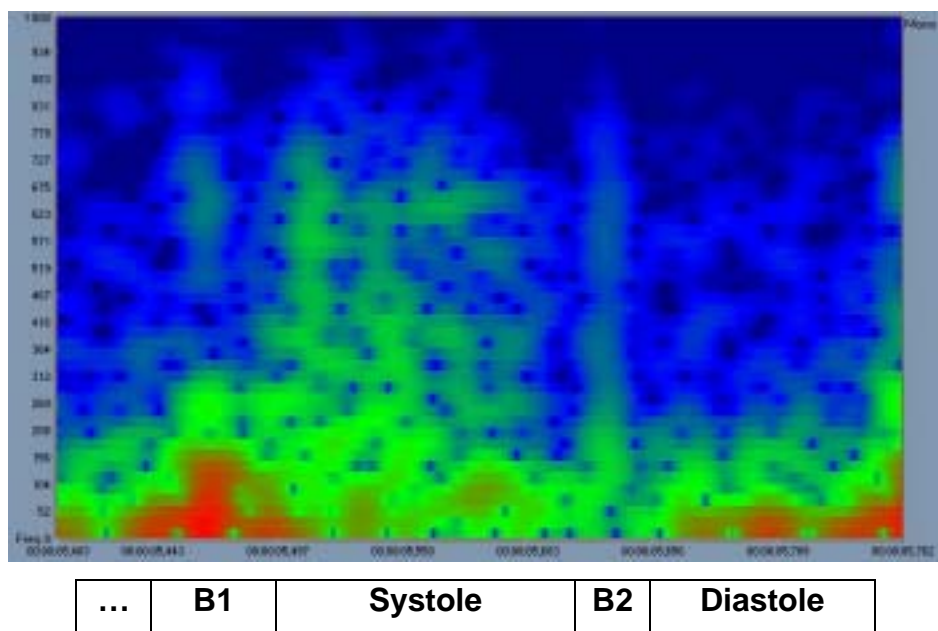


Figure 56 : Sonogramme d'un chien présentant un souffle d'insuffisance mitrale de grade 3/6 (chien précédent)

Chien Caniche de 8 ans présentant de l'endocardiose mitrale de stade 1 échographique.

B1 (05.460) semble être tronqué de sa partie aiguë mais présente toujours son noyau rouge dans les basses fréquences. On peut voir ici que B2 n'a pas complètement disparu. En effet, il reste une lame au repère 05.630. Le souffle, lui, est bien visible. Il s'étale depuis les basses fréquences jusqu'aux hautes fréquences (0 à 800 Hz). Le volume relatif s'atténue avec la fréquence. Il n'y a pas de grande variation du timbre au cours du temps.

B2 n'est plus visible sur le phonogramme car son volume et sa gamme de fréquence sont très proches des volume et gamme de fréquence du souffle. Lors de la conclusion sur la localisation du souffle sur le phonogramme, nous avons donc englobé B2 dans le souffle. Le sonagramme a permis de corriger cette erreur. Le souffle est donc holosystolique ici. Son timbre et son enveloppe de volume sont en plateau.

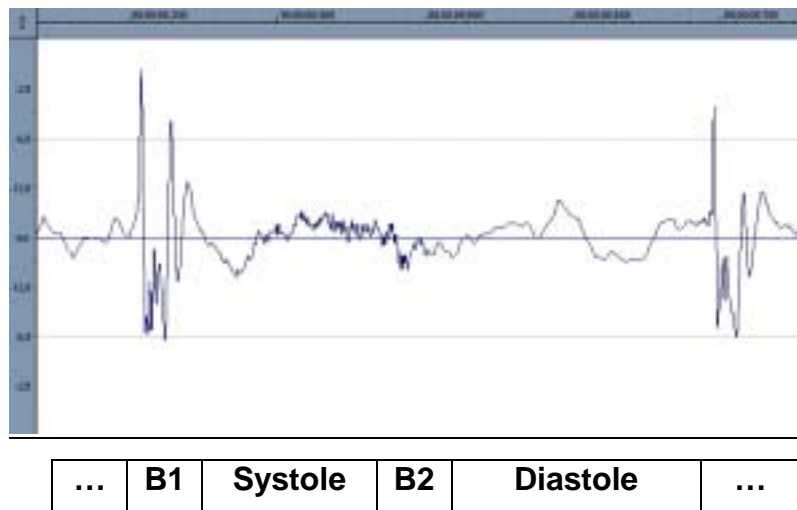
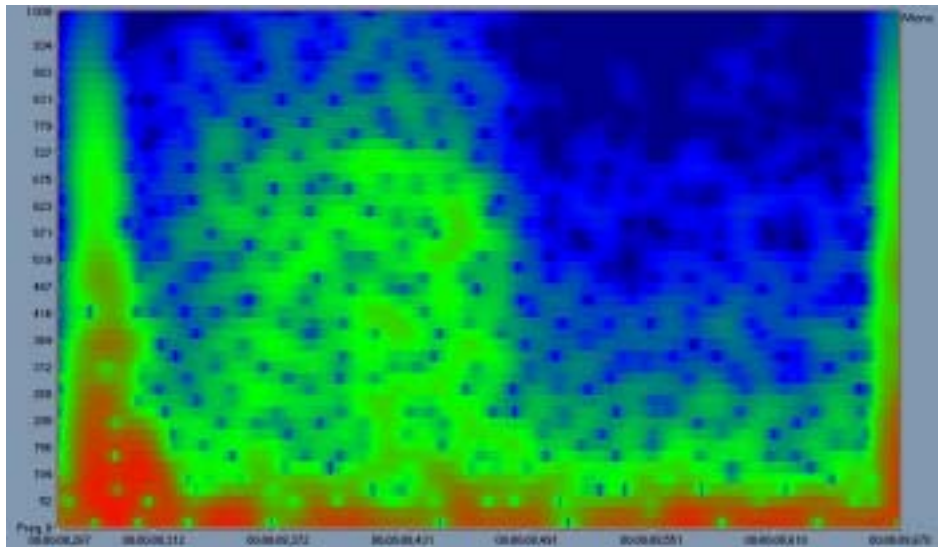


Figure 57 : Phonogramme d'un chien présentant un souffle d'insuffisance mitrale de grade 4/6

Chien Coton de Tuléar de 10.5 ans présentant de l'endocardiose mitrale de stade 3 échographique.

B1 est visible entre les repères 08.300 et 08.350. Il semble normal. B2 ne semble plus visible ici. Le souffle se matérialise sur cette courbe par des petites oscillations commençant sur le milieu de B1 et finissant au repère 08.500.



B1	Systole	?	Diastole	...
-----------	----------------	----------	-----------------	------------

Figure 58 : Sonagramme d'un chien présentant un souffle d'insuffisance mitrale de grade 4/6 (chien précédent)

Chien Coton de Tuléar de 10.5 ans présentant de l'endocardiose mitrale de stade 3 échographique.

B1 présente toujours son noyau rouge dans les basses fréquences mais est largement renforcé dans les aigus. On peut voir ici que B2 a complètement disparu. Le souffle, lui, est bien visible. Il s'étale depuis les basses fréquences jusqu'aux hautes fréquences (0 à 950 Hz). Le volume relatif s'atténue avec la fréquence. Il n'y a pas de grande variation du timbre au cours du temps. Le souffle « touche » de plus en plus B1 en fonction du grade du souffle et dure de plus en plus longtemps par rapport à la durée totale du cycle cardiaque.

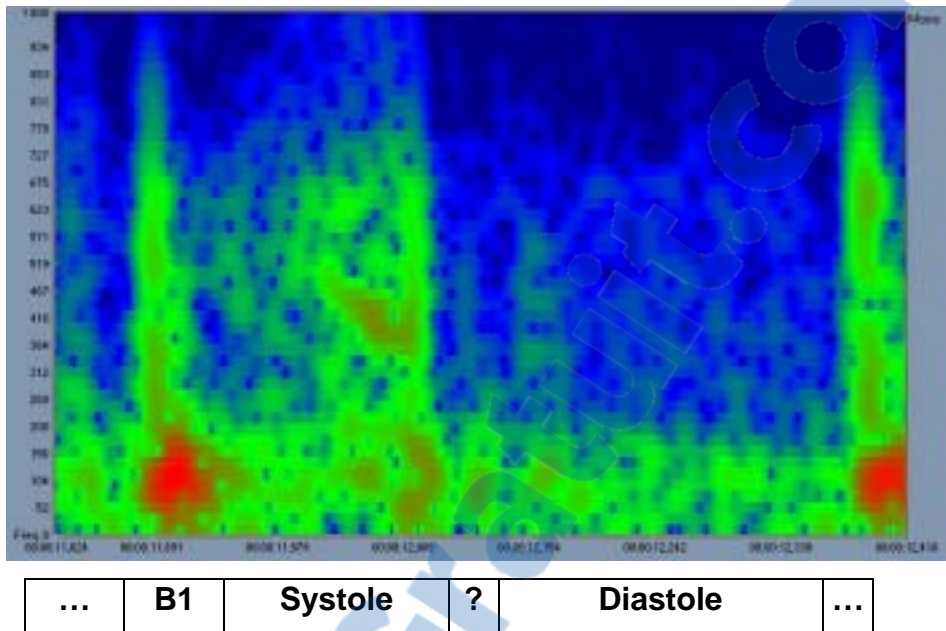


Figure 59 : Sonagramme d'un chien présentant un souffle d'insuffisance mitrale de grade 4/6 au timbre piaulant

Chien Caniche de 7 ans présentant de l'endocardiose mitrale de stade 1 échographique.

Par rapport à un souffle de grade 4/6 classique (timbre rauque et en plateau) B1 est tout à fait normal. On peut voir ici que B2 a complètement disparu. Le souffle, lui, est bien visible. Il s'étale inégalement depuis les basses fréquences jusqu'aux hautes fréquences (0 à 850 Hz). Le timbre, dans la première moitié du souffle est classique. Les basses fréquences sont les plus représentées entre 0 et 250 Hz. Le reste du souffle, de 250 à 800 Hz, a un volume relatif faible et fixe. Ensuite, l'enveloppe de volume est clairement crescendo pour l'ensemble du souffle (la coloration tend uniformément vers le rouge) surtout autour des fréquences 125 Hz et 550 Hz. La figure formée dans les aigus est un triangle. Ce timbre est spécifique des souffles piaulants et se retrouve sur l'ensemble des sonagrammes réalisés sur des enregistrements de ce type (8 au total). Ce type de timbre est plus représenté chez le chien que chez le chat.

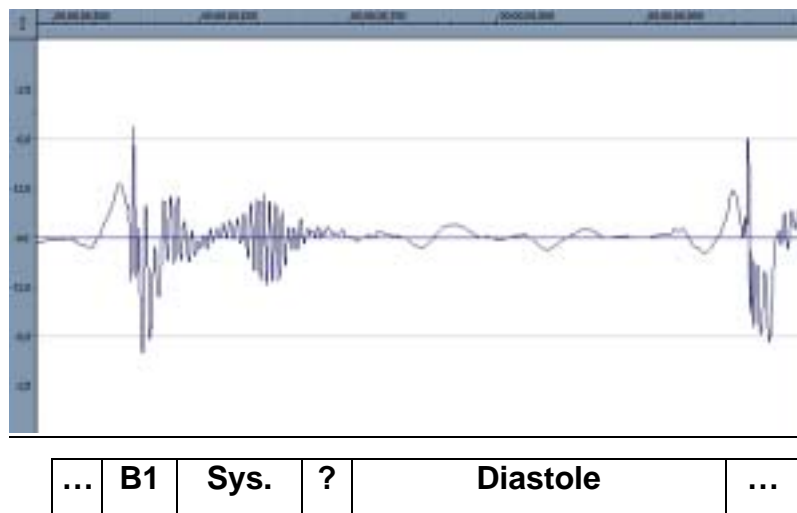


Figure 60 : Phonogramme d'un chien présentant un souffle d'insuffisance mitrale de grade 6/6

Chien Caniche de 10 ans présentant de l'endocardiose mitrale de stade 3 échographique.

B1 est visible entre les repères 08.510 et 08.590. Il ne semble plus normal. Il est recouvert sur une grande partie par de petites et moyennes oscillations qui matérialisent le souffle. Le volume du souffle est maintenant très important. (on peut l'entendre oreilles nues sans avoir de stéthoscope)

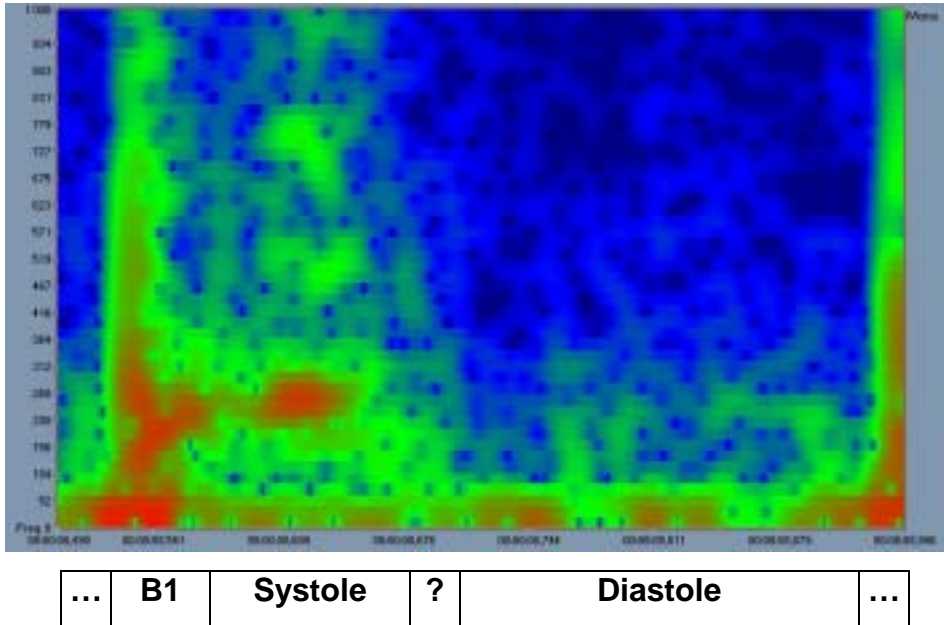


Figure 61 : Sonagramme d'un chien présentant un souffle d'insuffisance mitrale de grade 6/6 (chien précédent)

Chien Caniche de 10 ans présentant de l'endocardiose mitrale de stade 3 échographique.

B1 présente toujours son noyau rouge dans les basses fréquences mais est largement renforcé dans les aigus. Il ressemble fortement à un souffle piaulant. On peut voir ici que B2 a complètement disparu. Le souffle, lui, est bien visible. Il s'étale depuis les basses fréquences jusqu'aux hautes fréquences (0 à plus de 1000 Hz). Le souffle présente un noyau rouge aussi. Cela montre l'importance qu'il a (volume de plus de -80dB). Le timbre et l'enveloppe varient dans le temps. Les hautes fréquences (entre 400 et 1000 Hz) subissent un crescendo decrescendo tandis que les basses fréquences sont stables au cours du temps. Le souffle est collé à B1 et dure l'ensemble de la systole. On peut penser d'après les durées moyennes de systole que ce souffle finit sur le début de la diastole. Il est donc transystolique.

IV.C.1.b.β Les souffles de cardiomyopathie dilatée

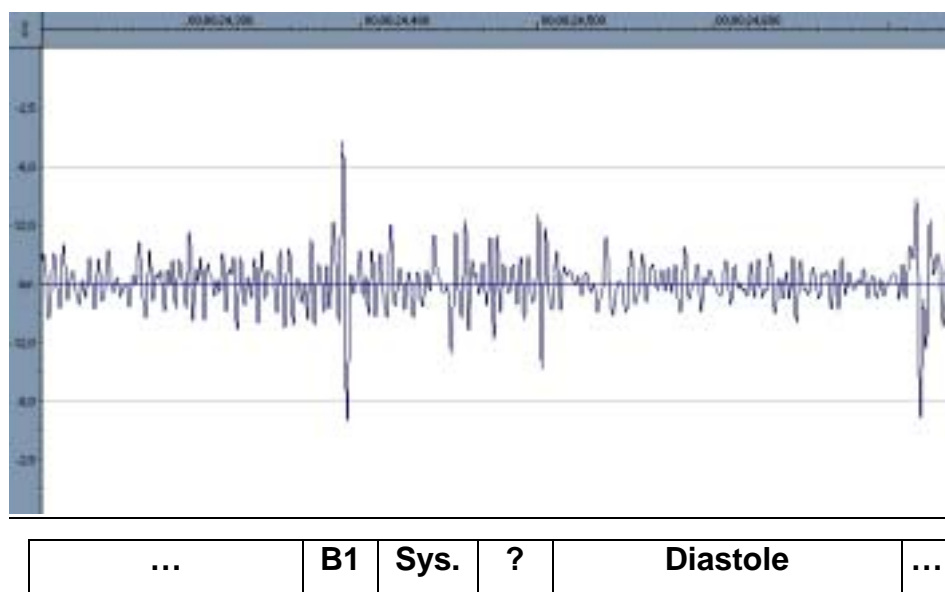


Figure 62 : Phonogramme d'un chien présentant un souffle d'insuffisance mitrale de grade 4/6

Chien Beauceron de 5 ans présentant une C.M.D..

Les bruits cardiaques sont nettement de moins grande intensité. Ceci est dû à la faiblesse de la contraction ventriculaire. Lors de l'enregistrement, le gain apporté par la pré-amplification sur le VS est alors plus fort. Il se produit alors un plus grand parasitisme sonore et la courbe est alors très chaotique. On peut cependant voir B1 au repère 24.400.

Avec la présence du souffle, on ne peut pas conclure sur les pics observés aux repères 24.440 ; 24.450 ; 24.480 et 24.500. On ne peut pas dire s'il s'agit du souffle ou d'une persistance de B2 ou même de parasitisme sonore (poil sur la capsule stéthoscopique...)

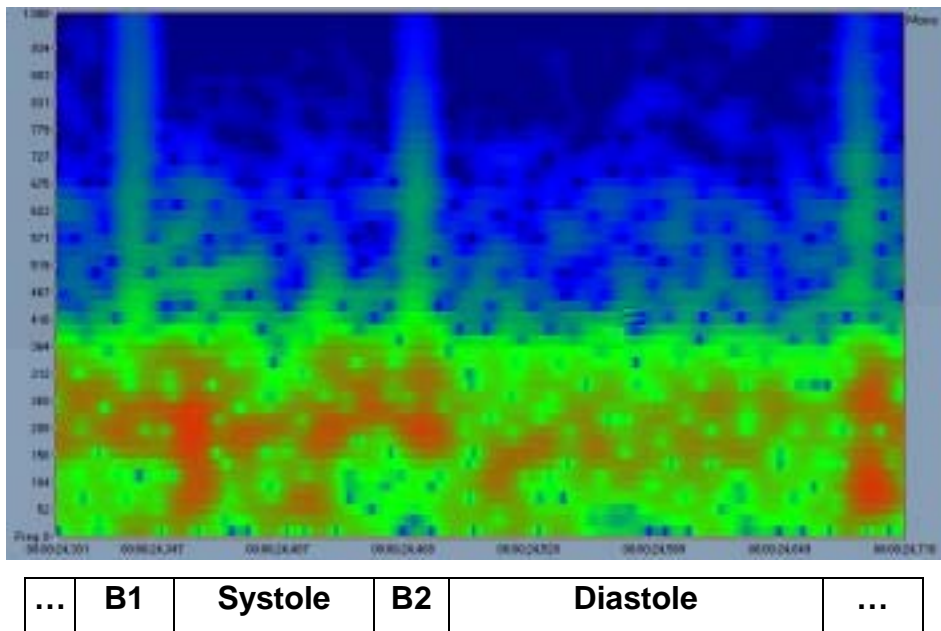


Figure 63 : Sonagramme d'un chien présentant un souffle d'insuffisance mitrale de grade 4/6 (chien précédent)

Chien Beauceron de 5 ans présentant une C.M.D..

On retrouve B1 et B2 sur le tracé sonagramme. On constate, comme sur le phonogramme que le bruit de fond est largement augmenté. On peut penser qu'il s'agit du bruit de fond obtenu par l'enregistrement du flux de sang dans les gros vaisseaux et qu'il est majoré par l'atténuation des bruits cardiaques.

Durant la systole, les fréquences basses sont très représentées (volume relatif à plus de -20 dB). Il s'agit des composantes du souffle qui se surajoute au bruit de fond. On ne peut alors pas conclure sur le timbre et l'enveloppe exactes du souffle mais on peut souligner sa présence.

Nous avons malheureusement trouvé le même défaut sur l'ensemble des chiens atteints d'une cardiomyopathie dilatée. (4 au total)

IV.C.1.b.γ Les souffles de dysplasie mitrale

Les souffles provoqués par les dysplasies sont très proches de ceux provoqués par de l'endocardiose. A l'échographie, on ne peut d'ailleurs pas faire la distinction entre dysplasie et endocardiose. Seul l'âge de l'animal nous permet de donner un nom différent à ces deux affections.

IV.C.1.c. Les souffles d'insuffisance tricuspидienne

Les souffles d'insuffisance tricuspидienne sont très comparables aux souffles d'insuffisance mitrale. Nous ne reviendrons pas dessus. De plus, la plupart des animaux enregistrés avec un souffle d'origine tricuspидienne avaient un souffle d'origine mitrale. Le sonagramme était alors imprécis pour distinguer les deux types de souffles.

Seul le timbre du souffle varie. Il est plus aigu que le souffle mitral.

IV.C.1.d. Les souffles de sténose aortique

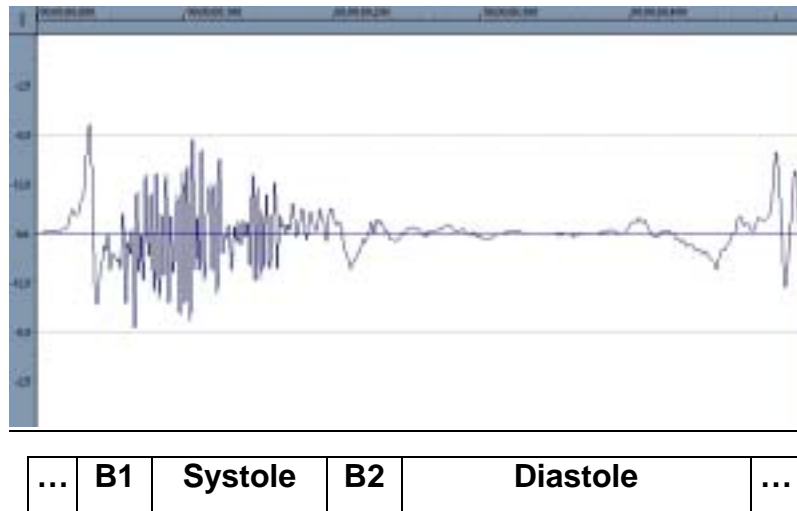


Figure 64 : Phonogramme d'un chien présentant un souffle de sténose aortique de grade 3/6

Chien Bull Terrier de 2 ans présentant une sténose aortique.

Le phonogramme ci dessus confirme la différence majeure entre les souffles de régurgitation ayant une enveloppe de volume en plateau et les souffles d'éjection ayant une enveloppe en diamant (crescendo decrescendo).

On voit le ventre vibratoire de B1 entre les repères 00.020 et 00.080. B1 est court et est tronqué par l'apparition du souffle. Entre les repères 00.150 et 00.190, on peut deviner le ventre vibratoire de B2. Lui aussi est de courte durée et est tronqué par le souffle.

Ce souffle est comme les autres souffles vus précédemment. Il est matérialisé par des oscillations de moyennes et hautes fréquences entre les repères 00.040 et 00.180.

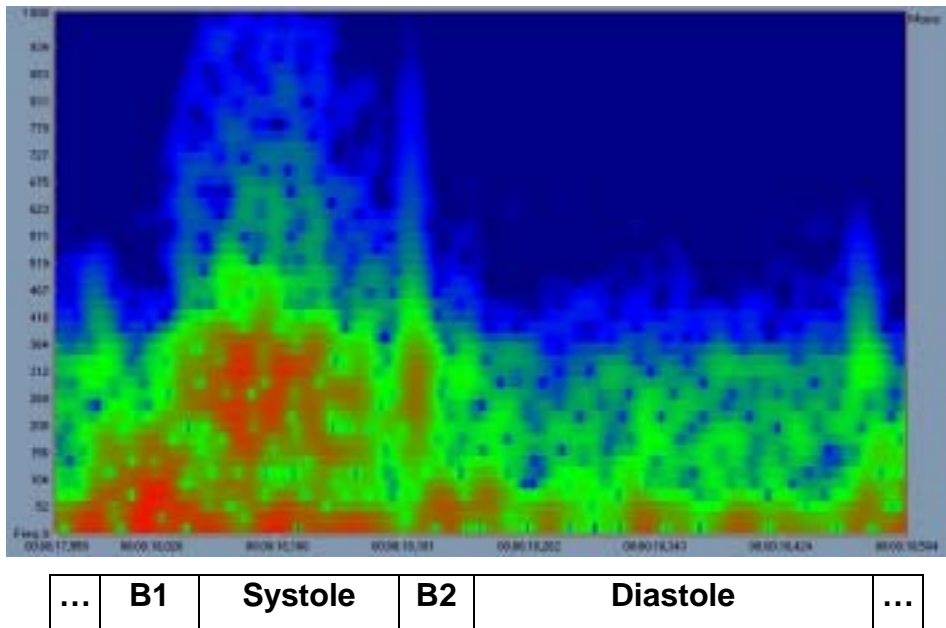
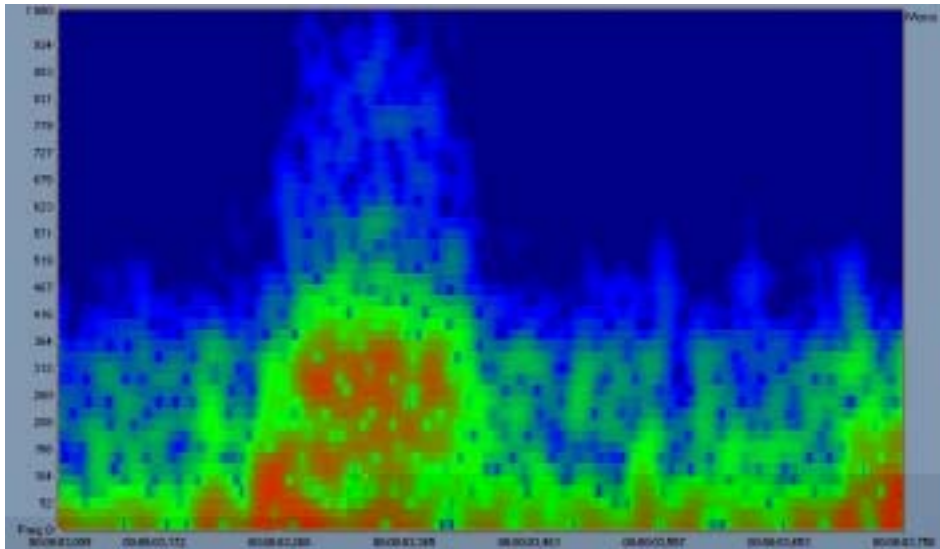


Figure 65 : Sonogramme d'un chien présentant un souffle de sténose aortique de grade 3/6 (chien précédent)

Chien Bull Terrier de 2 ans présentant une sténose aortique.

Le sonogramme réalisé sur le même enregistrement permet de voir que B1 et B2 sont bien présents. Le noyau rouge classique de B1 est retrouvé entre les repères 18.000 et 18.050. Cependant, la partie aiguë de B1 est tronquée. Il y a une coupure au niveau de 400 Hz. B2 est aussi retrouvé et conserve un aspect plus classique en lame au repère 18.200. Il est de plus fort volume relatif qu'habituellement et l'intérieur de la lame, entre 250 et 350 Hz, dépasse les -80 dB (coloration rouge).

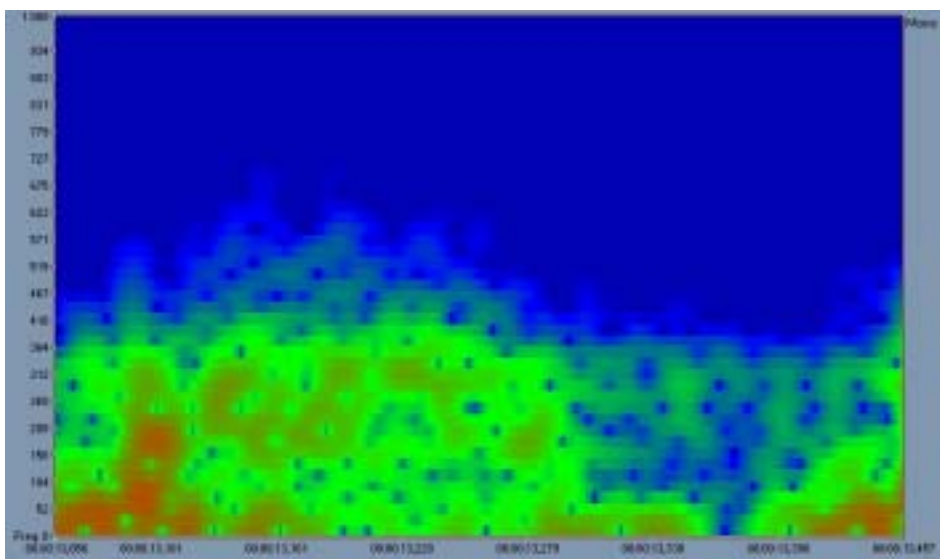
Le souffle remplit l'ensemble de la systole. Si son enveloppe de volume correspond à un diamant, on peut remarquer et faire l'analogie avec la figure que représente son sonogramme. La première moitié du souffle est marquée par un étalement des fréquences le constituant à partir d'une fréquence moyenne de 350 Hz. Cet étalement monte jusqu'à 900 Hz dans les hautes fréquences et jusqu'à 0 Hz vers les basses fréquences. La deuxième moitié du souffle est marquée par un retour symétrique à l'état initial du souffle.



...	B1	Systole	?	Diastole	...
-----	----	---------	---	----------	-----

Figure 66 : Sonogramme d'un chien présentant un souffle de sténose aortique de grade 4/6

Chien Fox Terrier de 1.5 ans présentant une sténose aortique.



...	B1	Systole	?	Diastole	...
-----	----	---------	---	----------	-----

Figure 67 : Sonogramme d'un chien présentant un souffle de sténose aortique de grade 5/6

Chien Boxer de 5 ans présentant une sténose aortique.

Lorsque le souffle devient plus important, on assiste au même phénomène que pour le premier cas. B1 est de plus en plus tronqué dans ses hautes fréquences. La coupure est nette à 300 Hz. Contrairement au premier cas, B2 disparaît.

L'allure générale du souffle est la même que précédemment. Les basses fréquences restent cependant constamment représentées.

Lorsque le grade augmente et dépasse 5/6, l'enveloppe de volume tend à dessiner un plateau comme pour un souffle de régurgitation. En même temps, on constate que le sonagramme est lui aussi modifié. Le tracé du souffle tend à rejoindre celui des souffles de régurgitation avec une empreinte sur le sonagramme en rectangle homogène dans le temps. La seule différence réside dans la répartition des fréquences, ici plus généreuse dans le registre des moyennes fréquences (entre 200 et 400 Hz).

Sur le tracé ci-dessus, B1 est encore une fois tronqué dans les hautes fréquences (450 Hz) mais on retrouve le noyau rouge classique.

IV.C.1.e. Les souffles de CIA

Cette affection étant rare nous n'avons enregistré qu'un seul cas ne présentant que cette anomalie.

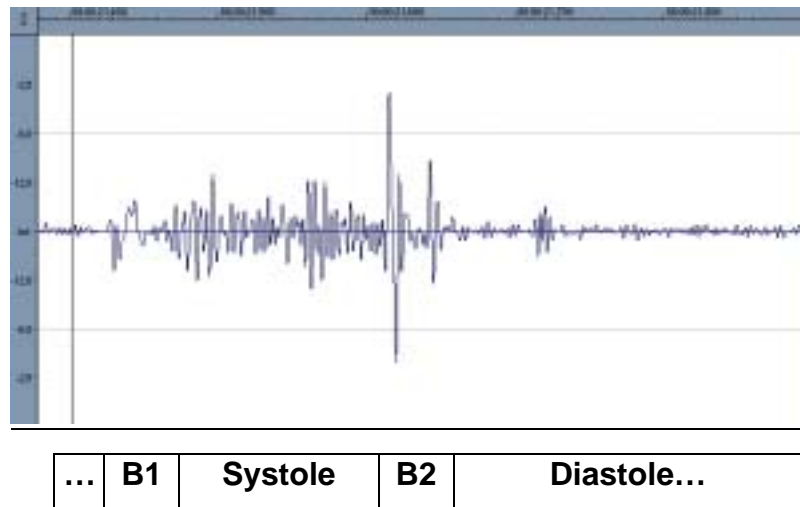
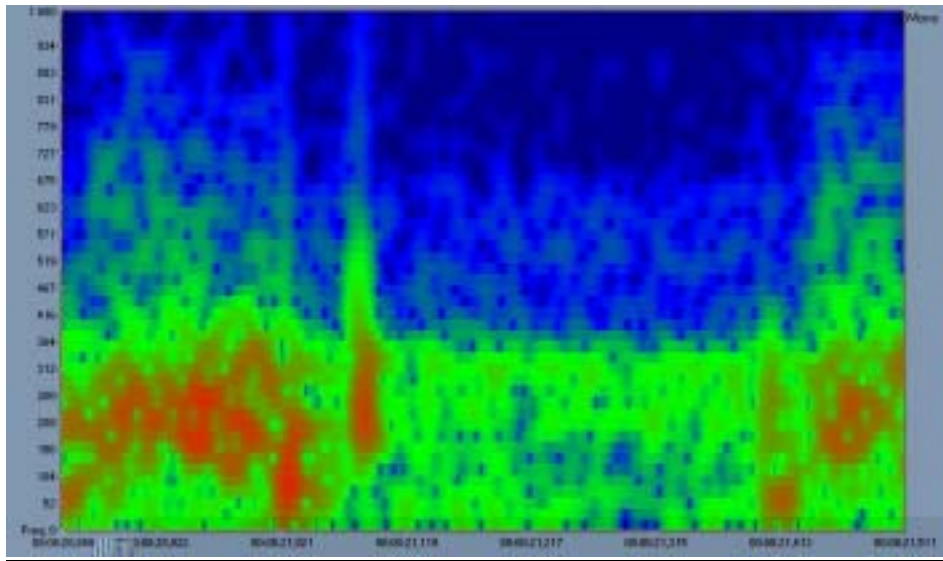


Figure 68 : Phonogramme d'un chien présentant un souffle de communication inter atriale de grade 3/6

Chien Beagle de 1 an présentant une C.I.A..

Sur le phonogramme, On peut voir B1 et B2. B1 est très faible et est très vite envahi par le6.637 0 0 12 301.019.aSv36yenn120rhaut120fagle 61nc120duésent.présentant



B1	Systole	B2	Diastole	B1	...
----	---------	----	----------	----	-----

Figure 69 : Sonogramme d'un chien présentant un souffle de communication inter atriale de grade 3/6 (chien précédent)

Chien Beagle de 1 an présentant une C.I.A..

Comme on a pu le voir sur le phonogramme, B1 est plus petit et moins fort que d'habitude (repère 21.400). Son noyau rouge est fortement atténué. B2 est présent et dédoublé. (Repère 21.000 au repère 21.100). Sa première partie est de forme classique, en lame, mais décalée vers les basses fréquences (0 à 250 Hz). Sa deuxième partie est, elle aussi, de forme classique mais décalée vers les moyennes et hautes fréquences (250 à 650 Hz).

Le souffle a une forme en croissant. Les fréquences qui le composent tendent vers les aigus dans la première moitié de la systole puis redescendent pour revenir à leurs positions initiales. Le souffle est majoritairement constitué de moyennes et basses fréquences : 0 à 300 Hz au début et à la fin du souffle et uniquement de moyennes fréquences : 150 à 450 Hz, au milieu de ce souffle correspondant au milieu de la systole.

Comme pour les souffles d'éjection dus aux sténoses aortiques, on constate une symétrie axiale entre la première et la deuxième moitié du souffle. L'axe de symétrie se situe en règle générale au milieu de la systole.

IV.C.1.f. Les souffles de CIV

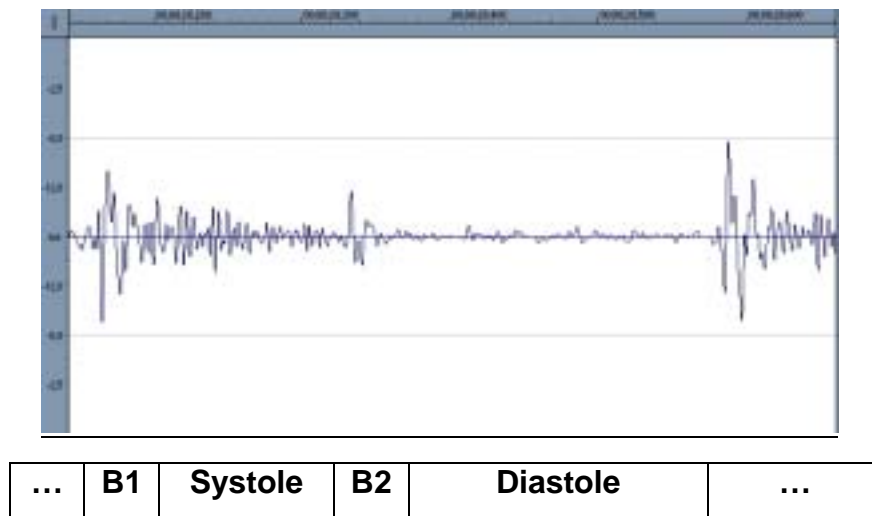


Figure 70 : Phonogramme d'un chien présentant un souffle de communication inter ventriculaire de grade 3/6

Chien Caniche de 7 mois présentant une C.I.V..

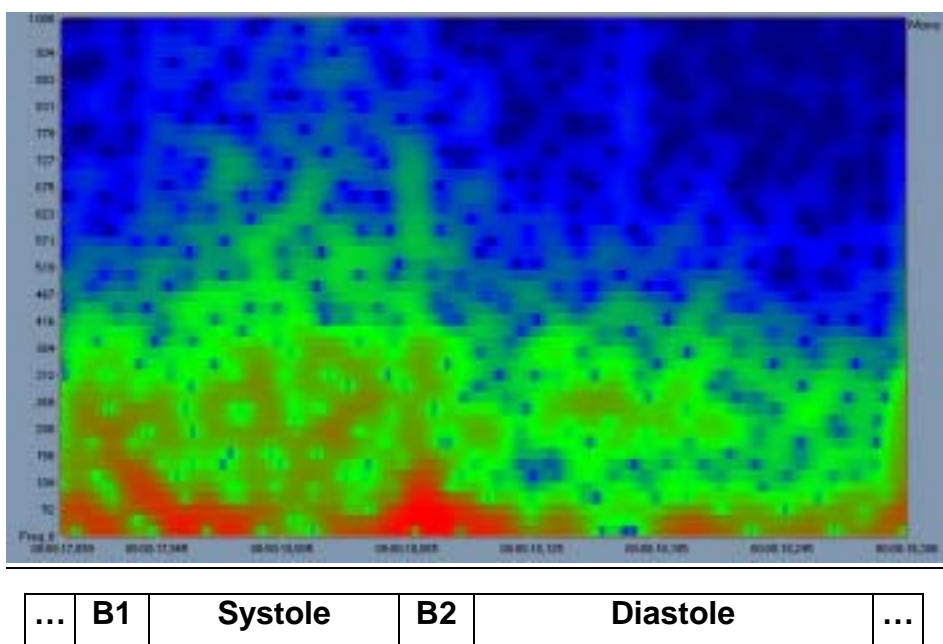


Figure 71 : Sonagramme d'un chien présentant un souffle de communication inter ventriculaire de grade 3/6 (chien précédent)

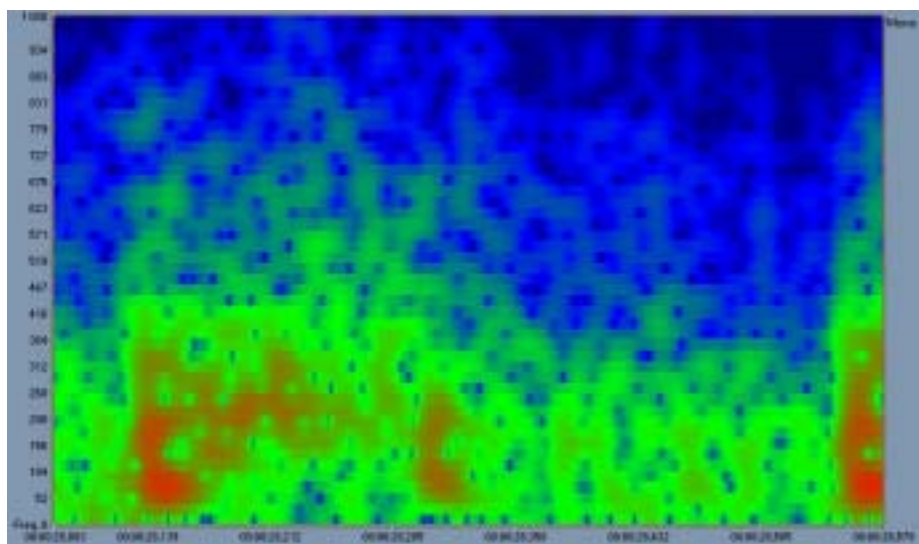
Chien Caniche de 7 mois présentant une C.I.V..

Sur le phonogramme, On peut voir B1 et B2. B1 est faible et très vite envahi par les moyennes et hautes fréquences du souffle. B2 est, lui aussi, plus faible et plus court qu'à la normale (sa première partie étant, elle aussi, envahie par le souffle).

L'enveloppe de volume du souffle est globalement decrescendo.

B1 est représenté par l'ensemble des fréquences habituelles mais elles n'ont pas la même répartition. Le noyau rouge a disparu. Le souffle a envahi B1 et a modifié l'allure de B1. B2 est présent et forme une lame habituelle. Elle aussi est un peu modifiée par la présence du souffle la recouvrant.

Le souffle est ici transystolique. Il est en forme de plateau ou rectangle sur le sonagramme. Il est constitué de basses fréquences à haut volume relatif, et de moyennes fréquences (200 à 350 Hz) à volume relatif plus faible (entre -30 et -70 dB).



...	B1	Systole	B2	Diastole	...
-----	----	---------	----	----------	-----

Figure 72 : Sonogramme d'un chien présentant un souffle de communication inter ventriculaire de grade 2/6

Chien Bouledogue Français de 3 ans présentant une C.I.V..

Chez ce deuxième cas, B1 et B2 sont plus visibles qu'avant. Les modifications sont moins profondes. L'échographie a révélé que la communication était beaucoup plus petite chez ce deuxième cas que chez le premier. Le souffle demeure transystolique.

IV.C.1.g. Les souffles de C.M.H. & C.M.R.

Les deux phonogrammes suivant, figures 73 et 74, sont issus de chats atteints de CMH et CMR. Le premier tracé montre B1 (17.800) suivi d'un ensemble de moyennes fréquences qui composent le souffle. Le volume est homogène et en plateau. Le souffle s'étend jusqu'à B2 (17.900). Le souffle est pansystolique en plateau.

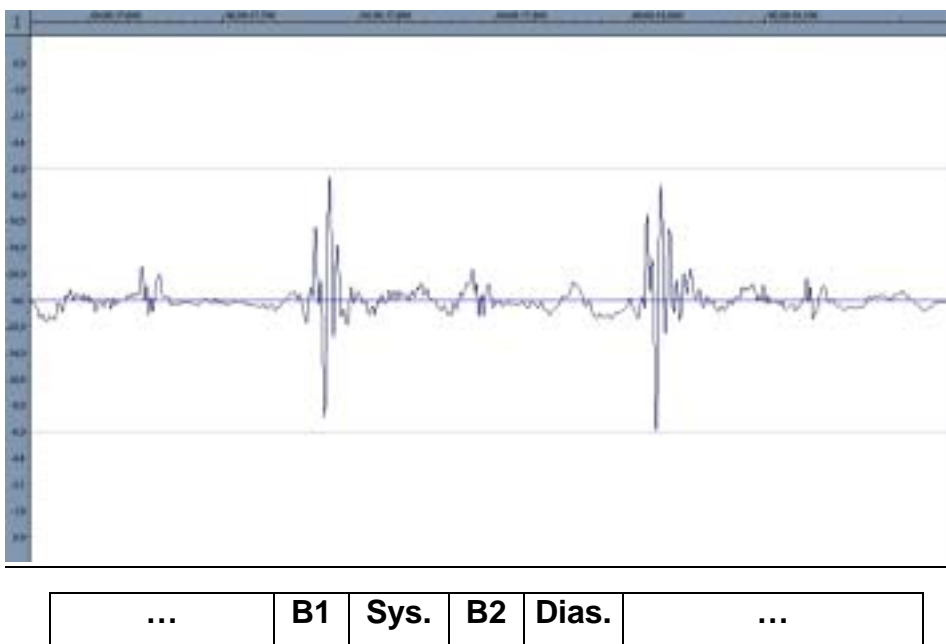


Figure 73 : Phonogramme d'un chat présentant un souffle de C.M.H. de grade

2/6

Chat Européen de 3 ans présentant une C.M.H..

Le deuxième tracé, figure 74, montre le même genre de fréquences entre B1 et B2 (02.300 et 02.450). L'enveloppe de volume, cependant, est différente. Elle est manifestement en diamant sur le milieu de la systole. Le souffle est pansystolique en diamant. On remarquera que B1 est dédoublé.

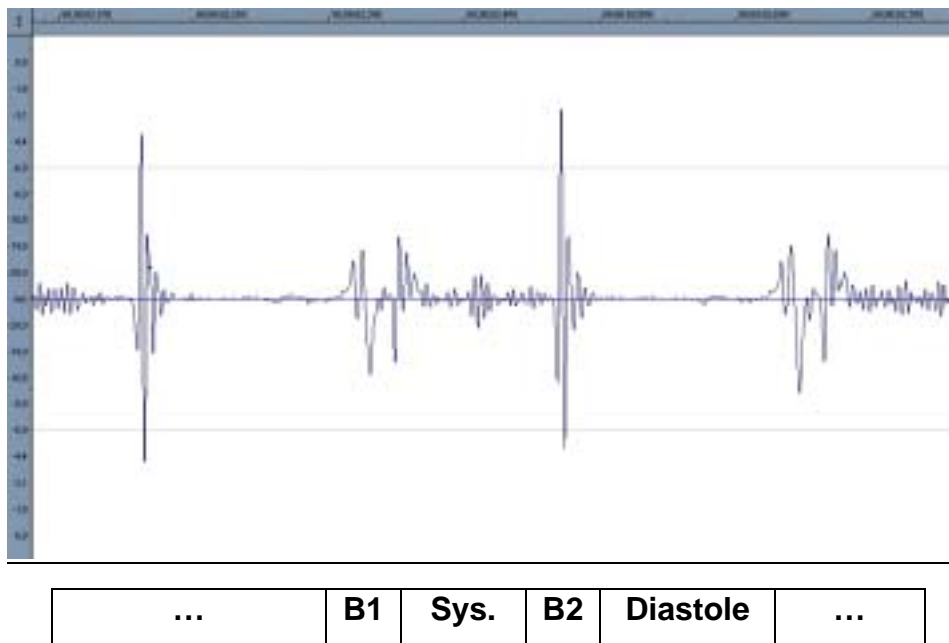
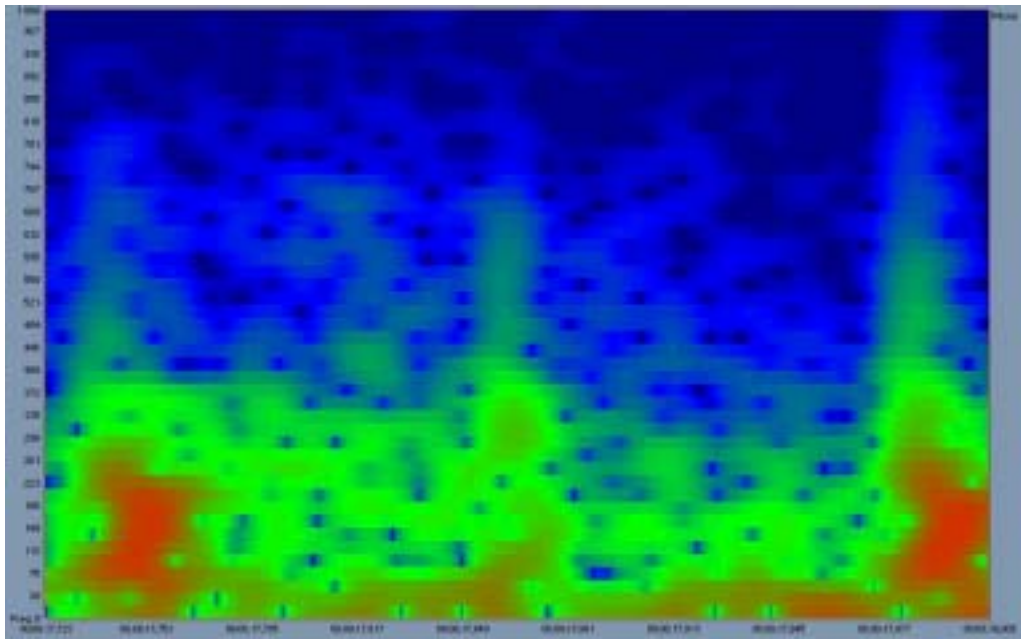


Figure 74 : Phonogramme d'un chat présentant un souffle de C.M.R. de grade

3/6

Chat Européen de 4 ans présentant une C.M.R..

La comparaison des deux sonagrammes issus de ces phonogrammes est simple. Sur la figure 75, la systole est homogène. Le souffle est représenté par des fréquences identiques entre B1 et B2.

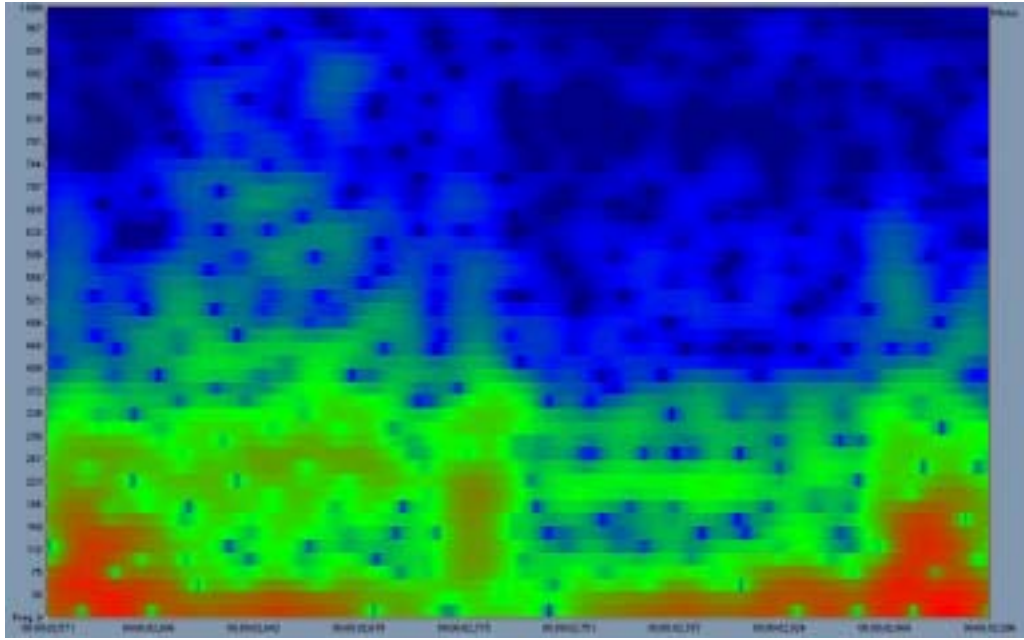


...	B1	Systole	B2	Diastole	...
-----	----	---------	----	----------	-----

Figure 75: Sonagramme d'un chat présentant un souffle de C.M.H. de grade 2/6 (chat précédent figure 73)

Chat Européen de 3 ans présentant une C.M.H..

Sur le tracé de la figure 76, on peut voir une montée en puissance des moyennes et hautes fréquences sur le milieu de la systole. Ce sonagramme est plus ressemblant à un sonagramme de souffle d'éjection.

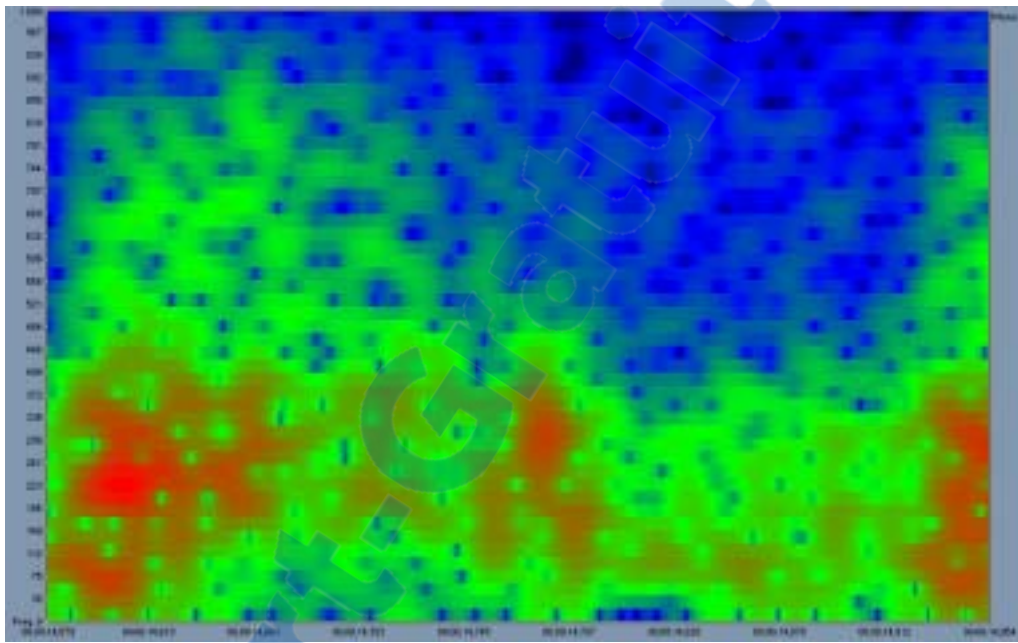


B1	Systole	B2	Diastole	...
----	---------	----	----------	-----

Figure 76: Sonagramme d'un chat présentant un souffle de C.M.R. de grade 3/6 (chat précédent figure 74)

Chat Européen de 4 ans présentant une C.M.R..

Sur le tracé de la figure 77, le sonagramme prend la forme classique d'un sonagramme de souffle d'éjection. On le comparera facilement aux figures 65 et 66 présentant le souffle d'éjection sténotique aortique. Suivant le degré auscultatoire, les chats atteints de CMH ou CMR présentent des auscultations typiques de souffles de régurgitation pour les bas degrés (1/6 et 2/6) et de souffle d'éjection pour les hauts degrés (4/6 et 5/6). Le degré 3/6 est un degré intermédiaire ou l'enveloppe du souffle est mixte.



...	B1	Systole	B2	Diastole	...
-----	----	---------	----	----------	-----

Figure 77: Sonagramme d'un chat présentant un souffle de C.M.H. de grade 4/6

Chat Européen de 8 ans présentant une C.M.H..

IV.C.2. Les souffles diastoliques

Très peu de cas ont été enregistrés. Nous avons enregistré un chat atteint d'une sténose mitrale mais largement tachycarde. L'étude de l'enregistrement de son auscultation était peu significative et donc compromise. Le deuxième cas enregistré présentant un souffle diastolique est un berger allemand présentant des insuffisances aortique et mitrale associées dues à une endocardite bactérienne.

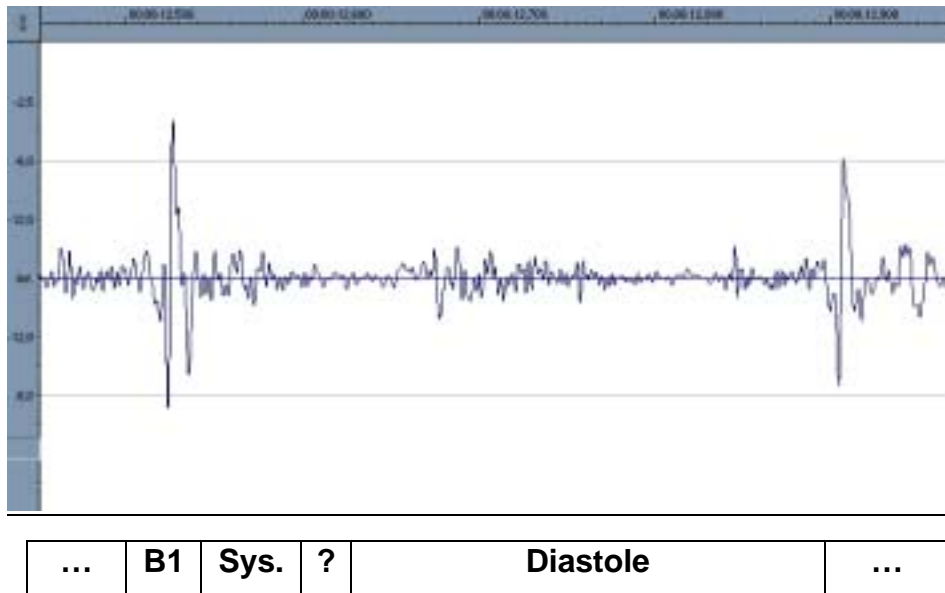


Figure 78 : Phonogramme d'un chien présentant un souffle diastolique d'insuffisance aortique

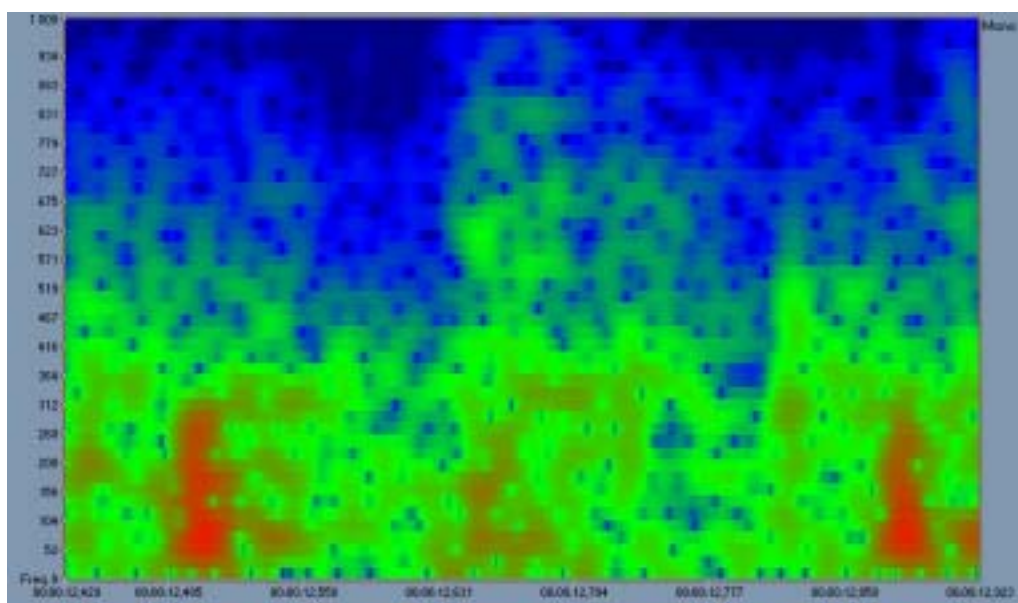
Chien Berger Allemand de 8 ans présentant une endocardite bactérienne. A l'auscultation on trouve un souffle diastolique évident. Il est confirmé à l'échographie par un diagnostic d'insuffisance aortique due à un foyer d'endocardite valvulaire. On entend de plus un souffle systolique. Le chien est tachycarde et empêche de bien entendre. A l'échographie, on trouvera une sténose aortique liée à l'insuffisance et un autre foyer d'endocardite sur la valve mitrale entraînant aussi une insuffisance mitrale.

B1 est bien visible (12.520). Il est suivi d'un souffle transystolique en plateau du à l'insuffisance mitrale.

Ce qui nous intéresse ici, c'est surtout le souffle diastolique (12.650 à 12.800). Le timbre de la forme d'onde montre des basses, moyennes et hautes fréquences. L'ensemble du souffle est decrescendo.

Sur le sonagramme, figure 79, la systole est fortement remaniée (12.485 à 12.558) et le tracé est peu interprétable. Le souffle diastolique s'étend des repères 12.631 à 12.777. L'ensemble des fréquences va decrescendo, en particulier, les hautes fréquences.

On remarquera une petite lame de moyenne fréquence (entre 12.777 et 12.850) présystolique qui doit correspondre à un B4.



...	B1	Sys.	?	Diastole	...
-----	----	------	---	----------	-----

Figure 79: Sonagramme d'un chien présentant un souffle diastolique d'insuffisance aortique (chien précédent)

Chien Berger Allemand de 8 ans présentant une endocardite bactérienne.

IV.C.3. Les souffles continus

Les seuls cas de souffles continus enregistrés sont des persistance de canal artériel (PCA). Sur le phonogramme, figure 80, on remarque B1 et B2 noyés dans le souffle. L'enveloppe du souffle est clairement crescendo decrescendo. Le souffle est de hautes et moyennes fréquences. Les basses fréquences semblent peu représentées.

On remarquera le silence entre les repères 09.700 et 09.800.

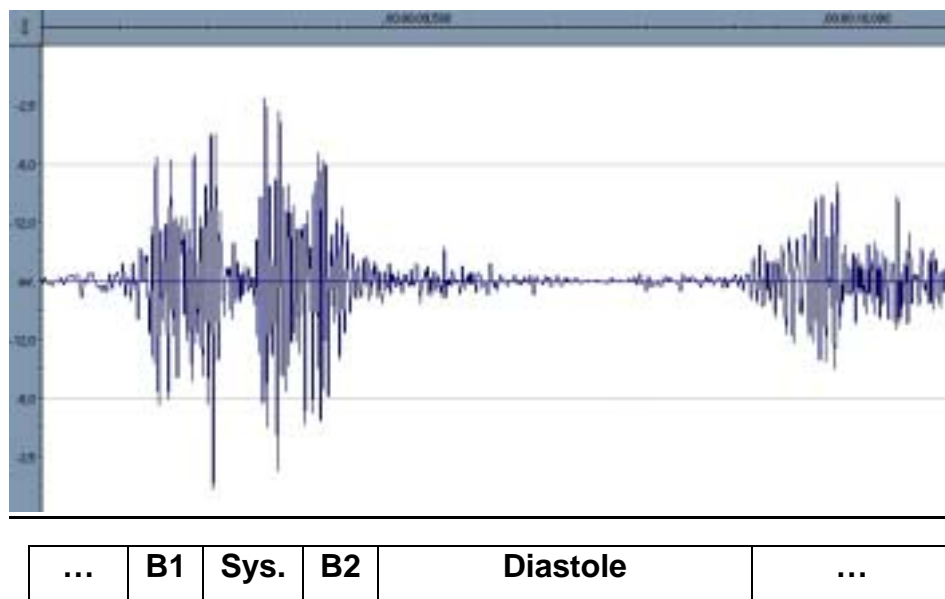
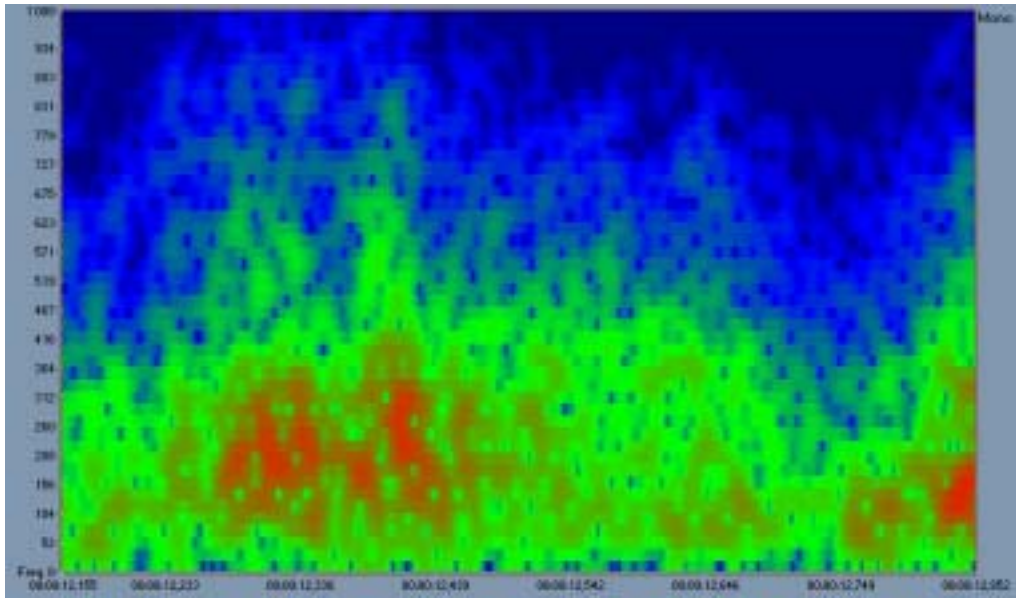


Figure 80 : Phonogramme d'un chien présentant un souffle continu

Chien Berger Allemand de 1 an présentant une persistance du canal artériel (P.C.A.).



...	B1	Sys.	B2	Diastole	...
-----	----	------	----	----------	-----

Figure 81 : Sonogramme d'un chien présentant un souffle continu (chien précédent)

Chien Berger Allemand de 1 an présentant une P.C.A..

Malgré sa bonne qualité, on ne pourra pas faire plus de conclusions sur le sonogramme que sur le phonogramme. L'ensemble du tracé est explicite.

IV.D. QUELQUES ACCIDENTS RYTHMIQUES DU CHIEN ET DU CHAT

Ils sont nombreux. Ils peuvent être physiologiques ou pathologiques, sans répercussion ou au contraire avec de graves conséquences pour l'animal. Au cours des séances d'enregistrements, nous avons pu mettre en évidence trois types d'arythmies fréquentes.

IV.D.1 L'arythmie sinusale respiratoire

C'est une variation régulière de la fréquence cardiaque liée aux mouvements respiratoires. La fréquence cardiaque augmente à l'inspiration et diminue à l'expiration.

A l'auscultation, on entend donc un rythme irrégulier en relation avec la respiration. Ce phénomène est surtout marqué chez les races de chiens brachycéphales. Elle est physiologique lorsque sa fréquence cardiaque reste basse ou moyenne. Elle est exacerbée ou apparaît lors d'affections respiratoires. (42). Cette arythmie sinusale respiratoire (ASR) disparaît lorsque la fréquence cardiaque (FC) dépasse, en moyenne, 140 bpm. L'ASR disparaît aussi lors de l'anesthésie d'un animal. (11).

La fréquence cardiaque varie pendant la respiration suivant deux relations. Au cours de la respiration, la variation de la pression intra thoracique implique une variation de remplissage du cœur et donc une variation de l'intensité des bruits cardiaques et de la fréquence cardiaque. Aussi, pendant l'inspiration, la pression intra thoracique diminue. Le retour du sang veineux dans le cœur droit s'en trouve donc accru. Les bruits sont augmentés comme la fréquence cardiaque.

De plus, à l'inspiration, le tonus vagal décroît et la fréquence cardiaque, donc, augmente. A l'expiration, c'est le contraire, le tonus vagal augmente et la fréquence cardiaque, elle, décroît. (11).

Ainsi, les bruits cardiaques augmentent, notamment B1 dont le volume peut quadrupler. Sur la figure 82, le volume minimal de B1 est relevé à -12dB et dépasse largement la barre des -6dB pour les plus forts B1 (il faut rappeler que l'échelle des dB n'est pas linéaire, une augmentation de 3dB double la sonie d'un son. Ici 6 dB quadruple cette sonie).

L'ASR est généralement physiologique et sans conséquence pour l'animal. Il faut cependant savoir que ce défaut auscultatoire peut être très prononcé et peut être confondu avec d'autres dysrythmies. Le phonogramme et l'ECG permettent de confirmer l'ASR. A l'ECG, On note une variation cyclique de l'espace R-R. Elle est souvent accompagnée de wandering pacemaker (migration de l'entraîneur) se traduisant par une onde P de morphologie variable (bifide, absente, négative). En général, l'amplitude de P est maximale pour la fréquence la plus élevée. (42).



Figure 82 : Phonogramme d'un chien normal (FC = 124 bpm ; FR = 20 bpm)

Sur les 16 secondes d'enregistrement présentées il y a 5 cycles respiratoires et 31 cycles cardiaques. Chaque grand pic montre un B1, les B2 sont rarement bien visibles en raison de l'excitation de l'animal (la ligne de base est parasitée par les frottements de la capsule sur le poil de l'animal). On voit nettement les inspirations et les expirations (augmentation du volume et diminution du volume des B1. Lorsque les B1 sont au plus faible volume (début d'inspiration) la FC est largement plus faible (les B1 plus espacés) que lorsque les B1 sont au volume le plus fort (début de l'expiration). La FC varie de 75 bpm ($B1_n$ à $B1_{n+1} = 0.8$ seconde) à 200 bpm ($B1_n$ à $B1_{n+1} = 0.3$ seconde).

IV.D.2. Les extrasystoles

Ce sont des contractions anticipées des atria ou des ventricules ou même du cœur tout entier. Le point de départ se situe dans une région anormale du myocarde.

Le repérage des extrasystoles (ES) se fait par auscultation et prise simultanée du pouls.

A l'auscultation, c'est l'irrégularité du rythme qui attire l'attention auditive. Cette irrégularité est due à deux situations différentes qui entraînent deux types de modification de le phonogramme.

1^{er} cas : L'ES est très prématurée, donc très proche de la systole précédente. Dans ce cas, l'ES se caractérise par un B1 non-suivi d'un B2. Le remplissage diastolique trop court ne permet pas une éjection extra systolique suffisante pour engendrer un B2. On entend donc la séquence schématisée sur la figure 83 et détaillée sur le figure 84 :

...B2+++++B1+++B2+BE+++++++B1+++B2+++++B1...

Figure 83 : Chronologie simplifiée des évènements du phonogramme figure 84

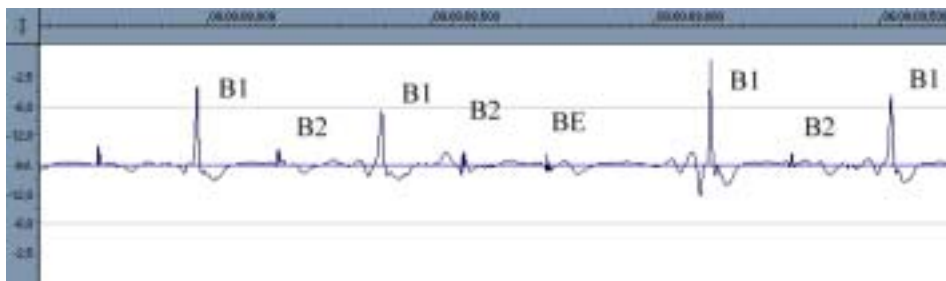


Figure 84 : Phonogramme d'un chien présentant des extrasystoles

Les premier et deuxième cycles sont normaux. B1 et B2 ont des tailles normales. La chronologie est normale. L'espace entre ces deux B1 est de 0.4 seconde. Ensuite, on voit l'accident extra systolique. Il est de faible volume, de très hautes et très basses fréquences. Il survient en avance par rapport à un B1 normal. L'espace entre le deuxième B1 et BE est de 0.3 secondes. Ensuite, BE est suivi d'un silence qui est un repos compensateur. Il dure 0.4 seconde environ. Le cycle reprend ensuite normalement. On note le volume exceptionnellement fort du B1 après BE. Cette contraction est très efficace et donc très bruyante.

2^{ème} cas : L'ES est moins prématurée et dans ce cas, le B2 extra systolique est audible mais d'intensité plus faible. On entend la séquence suivante schématisée sur la figure 85 :

...B2+++++B1+++B2+++**BE1+++BE2++++++**B1+++B2+++++B1...

Figure 85 : Chronologie simplifiée des évènements du phonogramme figure 86

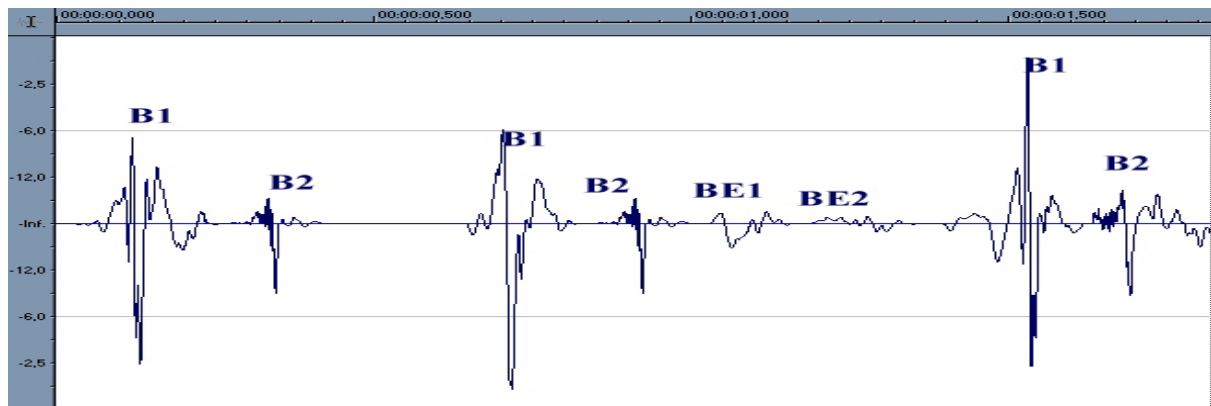


Figure 86 : phonogramme d'un chien présentant des extrasystoles et un souffle dus à une dysplasie mitrale de 1^{er} degré échographique (souffle systolique apexien gauche de note 1/6 (SSAG 1))

Les premier et deuxième cycles sont normaux. B1 et B2 ont des tailles normales. La chronologie est normale. L'espace entre ces deux B1 est de 0.5 seconde. Ensuite, on voit l'accident extra systolique. BE1 et BE2 sont précoces et de taille réduite. Leur volume est d'ailleurs à la limite de l'audibilité. Comme précédemment, le B1 suivant l'accident extra systolique est plus fort de part son efficacité accrue.

Rq : on remarque que les bruits sont plus fins et plus accidentés, en effet, des bruits aigus se surajoute aux bruits normaux à cause de la dysplasie mitrale. Nous reviendrons sur ce type de phonogramme plus tard.

Les extrasystoles interrompent le rythme normal du cœur. Ce sont des contractions prématurées suivies d'un repos compensateur. Les extrasystoles auriculaires ou ventriculaires produisent donc des bruits cardiaques. Ces bruits sont prématurés et sont de basses fréquences. (11). Nous avons pu nous apercevoir que l'audition d'un accident extra systolique ventriculaire était reconnu par les étudiants non pas par le bruit que faisait l'extrasystole elle même mais par la puissance du B1 normal suivant le repos compensateur. En effet, le cœur n'ayant pas expulsé correctement le sang au cours de cette contraction prématurée, il est plus

plein qu'à la normale. Le bruit qui s'en suit est donc plus important. Ceci est visible sur la figure 12 (page 17), reprise et agrandie sur la figure 84 et sur la figure 86.

Le phonogramme, même plus sensible que l'oreille pour détecter si l'ES est du type 1 ou 2, ne permet pas de connaître l'origine de l'ES. Seul l'ECG permet cette détermination. L'extra systole peut être d'origine atriale. Elle est due à la décharge prématurée d'un foyer ectopique auriculaire. L'onde P est précoce. Sa morphologie différente de celle des ondes P d'origine sinusale permet le diagnostic de son origine auriculaire. Habituellement, l'influx prématuré atteint le nœud sinusal, le dépolarise, si bien qu'une pause partiellement compensatoire retarde le prochain battement d'origine sinusale. L'espace PR est allongé ou normal. Le complexe QRS est normal ou quasi normal.

L'extrasystole peut aussi être d'origine jonctionnelle. Trois cas de figure se posent. L'ES supra nodale : l'excitation atriale se fait par voie rétrograde et précède la dépolarisation ventriculaire. On trouve donc une onde P négative suivie d'un complexe QRS normal.

L'ES nodale : L'excitation atriale rétrograde des produit en même temps que la dépolarisation ventriculaire. Le complexe QRS est normal et masque l'onde P.

L'ES infra nodale : L'activation ventriculaire se produit d'abord, puis l'onde P rétrograde survient. On note donc un complexe QRS normal suivi d'une onde P négative.

L'extrasystole peut aussi être d'origine ventriculaire. Elle est causée par la décharge prématurée d'un foyer ectopique ventriculaire qui donne lieu à un complexe ventriculaire large et précoce. L'ES est habituellement suivie d'une pause compensatoire complète jusqu'au battement sinusal suivant. Le complexe QRS, sur l'ECG, est anormal. Il est plus ample et de durée augmentée. Le sens de dépolarisation principal est toujours opposé à celui de l'onde T. Il n'y a pas d'onde P en cas d'ESV. (42).

IV.D.3. La fibrillation atriale

L'activité auriculaire est chaotique et mécaniquement inefficace. Les bruits cardiaques sont alors de volume et de longueur très variables. On peut voir cela sur le phonogramme suivant sur la figure 87.

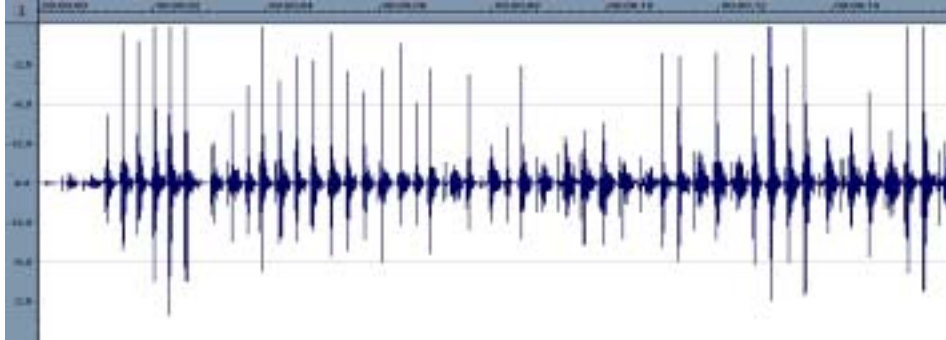


Figure 87 : Phonogramme d'un chien présentant une fibrillation atriale

Les pics auscultatoires sont nombreux mais avec une répartition et un volume aléatoires. Il n'y a plus de distinction possible entre des éventuels B1 et B2. De plus, on ne peut pas confondre ce rythme avec une ASR très marquée puisque le volume sonore et la fréquence des bruits varient sans être fonction de la respiration

A l'auscultation, la FC calculée est de 150 bpm. On peut d'ailleurs voir sur le phonogramme que le volume dépasse à 25 reprises la barre des -12dB en 10 secondes. Ceci correspond donc.

Cependant, si on compte la fréquence du pouls sur l'artère fémorale, on trouve une fréquence de 120 bpm. Il faut mettre le seuil à -6dB pour voir la même fréquence sur l'enregistrement (19 pics à plus de -6dB en 10 secondes). Suivant la relation du volume sonore fonction du volume sanguin éjecté par le cœur, on peut donc en conclure que si le bruit engendré par la contraction ne dépasse pas le -6dB , la contraction ne sera pas efficace. Ce seuil n'est cependant valable que pour ce cas puisque le volume enregistré dépend de nombreux facteurs que nous ne maîtrisons malheureusement pas.

Au contrôle par l'ECG, les ondes P sont absentes et remplacées par des ondes irrégulières à la fréquence de 400 à 600 bpm. Seule une partie des influx auriculaires traverse le nœud atrio-ventriculaire dont la capacité de conduction est lente et qui joue le rôle de filtre ; le rythme, ventriculaire, est irrégulier entre 130 et 200 bpm. (53).

V. DISCUSSION & CONCLUSION

V.A. DISCUSSION

Le but de cet exposé était d'expliquer comment ont été réalisés les enregistrements d'auscultations cardiaques mais nous avons tenté d'exploiter toutes les capacités d'édition du logiciel audionumérique pour tenter de comprendre et d'expliquer ce que nous entendons et surtout ce que nous n'entendons pas. Nous allons revenir sur quelques phénomènes retrouvés à plusieurs reprises sur les tracés pour tenter de les expliquer.

Le premier élément récurrent sur les tracés est la composition bipartite de B1. Si notre oreille entend un seul et même bruit, les tracés sonagrammes ont montré à plusieurs reprises (sur le tracé normal en particulier, figure 51 (page 100)) un noyau rouge composé de deux amandes obliques couchées l'une sur l'autre. Vu les éléments bibliographiques, il s'agirait donc des deux composantes droite et gauche ou tricuspide et mitral du bruit B1. Cependant, dans l'article, si on s'attarde sur la figure 20 (page 30), on constate que le phonogramme attribué à la valve mitrale est de moyennes ou basses fréquences et que le phonogramme attribué à la valve tricuspide est de hautes fréquences. Sachant que l'élément mitral est le premier à survenir dans la chronologie de B1, le sonagramme tend à montrer le contraire. C'est à dire que les éléments sonores dus à la valve mitrale sont de plus hautes fréquences que les éléments dus à la valve tricuspide.

Le deuxième élément récurrent est le bruit de fond normalement inaudible durant la totalité de la systole et durant la majeure partie de la diastole. Sachant que ce bruit de fond disparaît pendant un court moment en fin de diastole, on ne peut pas attribuer ce bruit à un mauvais fonctionnement du micro ou des préamplificateurs (nous avons d'ailleurs testé l'enregistrement « à vide » pour connaître le bruit de fond dû à l'appareillage. Le sonagramme issu de cet enregistrement n'a montré aucune trace de plus de -100 dB sur l'ensemble du spectre). Ce bruit existe donc réellement et est produit par la circulation sanguine (puisque qu'il y est synchronisé). On peut penser qu'il s'agit du bruit du sang dans les gros vaisseaux franchissant le thorax. Pour conclure sur l'origine exacte de ce bruit, il faudrait enregistrer l'auscultation en intra-thoracique. Sans utiliser de sonde produisant un effet doppler et un effet de résonance, il faudrait placer le micro directement dans l'oesophage de l'animal anesthésié. Les micros miniatures étant particulièrement fiables, les renseignements obtenus

par ce type d'enregistrements pourraient être très intéressants. De plus, le VS étant capable d'enregistrer 4 pistes sonores simultanées, il serait très intéressant de comparer les tracés phono et sonagrammes obtenus en synchronisation entre les côtés droit et gauche et l'intra-thoracique pour comprendre les interactions sonores de la paroi thoracique sur les bruits cardiaques. C'est ce que Durand & coll ont tenté de réaliser en 1990. Les conclusions qu'ils tirent de l'expérience sont très limitées car leur configuration informatique est beaucoup plus limitée que celle que nous avons utilisée. (18).

Enfin, si à l'auscultation, la différence entre certains souffles d'éjection et certains souffles de régurgitation n'est pas simple à percevoir, le sonagramme permet de faire une différence significative. Le typage du souffle est alors simple à faire.

Les souffles d'éjection présentent, en règle générale, des tracés ayant une symétrie axiale à axe horizontal. Ils sont crescendo decrescendo sur le phonogramme et la répartition des fréquences sur le sonagramme présente la même symétrie (figue en diamant ou en croissant couché). Contrairement, les souffles de régurgitation présentent des tracés sonagrammes ayant une symétrie axiale à axe vertical. Les fréquences sont étalées au début du souffle, les basses et hautes fréquences sont bien représentées et disparaissent progressivement pour laisser uniquement place aux moyennes fréquences (autour de 300 à 400 Hz).

On a pu voir, sur le phonogramme, que la forme de l'enveloppe de volume classiquement en plateau ou en diamant, ressemble à la forme dessinée sur le sonagramme. Ainsi, en règle générale, plus un souffle forcé, plus il est composé de hautes fréquences. Ceci confirme donc un phénomène que tous les ingénieurs du son connaissent : « Plus c'est fort, plus c'est riche... ». Ainsi, plus on sollicite fortement un corp, plus il émet d'énergie sonore, bien sûr, mais aussi plus le spectre se charge en harmoniques de plus en plus aigues. (19).

Cet exposé et le CD audio associé ont été conçus pour être des outils pédagogiques plus que des outils scientifiques. En effet, chaque année, plus d'une centaine d'étudiants sortent de l'école vétérinaire de Maisons Alfort. Sachant qu'il n'y a, en moyenne, que quatre cas de persistance du canal artériel et une dizaine de cas de sténose aortique présentés en consultation de cardiologie, chaque étudiant n'a pas pu entendre ces cas. Pour l'animal et pour le propriétaire l'accompagnant, on ne peut pas faire passer plus de cinq étudiants sur un même animal.

De plus, on peut se poser la question de savoir si l'étudiant focalise bien son attention sur l'élément que le professeur veut mettre en valeur. Dans le cas de souffle à localisation bien précise, l'étudiant pose-t-il bien la capsule du stéthoscope à l'endroit où le souffle s'entend bien ? Le professeur, en règle générale, pose la capsule, écoute et passe les écouteurs à l'étudiant mais les animaux étant ce qu'ils sont, la capsule bouge et l'étudiant peut ne pas entendre ce que le professeur indique.

Avec l'aide du CD, on peut espérer que la distinction entre les divers types de souffles sera meilleure. L'expérience a déjà été réalisée aux USA dans l'université de Georgie. Les professeurs ont utilisé un simulateur de bruits cardiaques pour faire des travaux dirigés aux étudiants. Les résultats sont éloquents. Ils sont repris dans le tableau 5.

<u>Bruit à entendre</u>	<u>Avant TD</u>	<u>Après TD</u>
P.C.A.	69	90
Extrasystoles	25	94
A.S.R.	20	90
Souffle systolique	23	84
Fibrillation atriale	0	56
Souffle systolique d'éjection	6	50

Tableau 5 : Pourcentages d'étudiants reconnaissant des affections cardiaques avant un TD de 2 heures avec un simulateur d'auscultation cardiaque et après

Cette expérience a été réalisée par 83 étudiants en 1988. Elle montre l'efficacité d'un TD présentant les sons à entendre et à mémoriser.

Les étudiants ont du reconnaître les affections sur de vrais cas. Ils sont donc confrontés à de vrais auscultations. (15).

De plus, il est intéressant de souligner que la mémorisation des auscultations après ce TD est bonne puisque, de nouveau, six mois après une vingtaine d'étudiants ont refait le test. Les résultats sont dans le tableau 6.

<u>Bruit à entendre</u>	<u>Après TD</u>	<u>Après 6 mois</u>
P.C.A.	87	91
Extrasystoles	87	87
A.S.R.	96	100
Souffle systolique	83	80
Fibrillation atriale	52	65
Souffle systolique d'éjection	39	22

Tableau 6 : Pourcentages d'étudiants reconnaissant des affections cardiaques après un TD de 2 heures avec un simulateur d'auscultation cardiaque et après 6 mois d'apprentissage à l'école

Cette expérience a été réalisée par 23 étudiants en 1988. on peut voir que certaines affections sont mieux reconnues après six mois (les plus fréquentes : A.S.R. ou les plus caractéristiques : P.C.A.) mais que les affections plus rares et plus complexes à différencier sont moins bien reconnues qu'après le TD. On peut cependant constater qu'après six mois le taux de reconnaissance est toujours beaucoup plus haut que le taux de reconnaissance de l'affection avant le TD. (15).

V.B. CONCLUSION

L'intérêt des phono et sonagrammes a été démontré. Les phonogrammes sont très utiles pour l'étude des bruits, et par rapport à la PCG et malgré l'absence du repère ECG, les tracés obtenus sont riches en conclusions sur le plan rythmique.

En revanche, plus précisément, le sonagramme nous a permis d'apprécier l'ensemble des bruits audibles ou inaudibles cardiaques et d'en faire un typage. Si l'étude rythmique est possible sur un sonagramme, c'est surtout l'étude du timbre qui est intéressante à souligner.

Si l'intérêt de ces tracés est grand, c'est avant tout parce que l'auscultation a un grand intérêt dans la démarche diagnostique en cardiologie. Si elle est bien faite, elle renseigne rapidement sur l'affection dont souffre l'animal présenté à la consultation. De plus, l'importance de l'étude des basses fréquences inaudibles révélée par les sonagrammes oblige à intégrer la palpation du thorax dans l'examen du coeur. L'écoute associée à cette palpation produit des renseignements plus importants que l'écoute seule.

Enfin, cet exposé va servir pour réaliser un CDrom sur l'auscultation cardiaque. Les auscultations présentées sur le CD audio y seront intégrées et expliquées par des séquences graphiques animées et synchronisées.

Annexe 1 : BIBLIOGRAPHIE

- 1 ADOLPH R.J & al.** . Should phonocardiography be abandoned ?. *J.Am.Med.Ass.* 1979, **241**(8), 799-800
- 2 AIGNER A., MULLER G., KNAPP E., RAAS E.** Systolic time intervals, phonocardiograms and sounds spectrograms in patients with Starr-Edward aortic valves prothese. *Cardiology.* 1974, **59**(1), 30-40
- 3 ALKYN G.** Les microphones. *In : Introduction à l'enregistrement sonore.* Paris : Eyrolles, 1999, 31-67
- 4 ALKYN G.** Son et acoustique. *In : Introduction à l'enregistrement sonore.* Paris : Eyrolles, 1999, 1-30
- 5 ALKYN G.** Traitements sonores. *In : Introduction à l'enregistrement sonore.* Paris : Eyrolles, 1999, 133-161
- 6 AUBERT A.E. & al.** .Investigation of genesis of gallop sounds in dogs by quantitative phonocardiography and digital frequency analysis. *Circulation.* 1985, **71**(5), 987-993
- 7 BEAUFILS D., LE TOUZE J.C.** Physique et musique. *Site de l'INRP.* [en-ligne]. Mise à jour Mai 1998. [<http://www.inrp.fr/Access/JIPSP/phymus/>]. (consulté en Août 2001).
- 8 BEAUFILS D., LE TOUZE J.C.** Cool Edit 1.5. *Site de l'INRP.* [en-ligne]. Mise à jour Mai 1998. [http://www.inrp.fr/Access/JIPSP/phymus/m_log/cooledit.htm]. (consulté en Août 2001).
- 9 BEAUFILS D., LE TOUZE J.C.** Le sonagramme, une représentation incontournable pour l'analyse sonore. *Site de l'INRP.* [en-ligne]. Mise à jour Mai 1998. [http://www.inrp.fr/Access/JIPSP/phymus/m_log/sonagram/sonagram.htm]. (consulté en Août 2001).
- 10 BEAUFILS D., LE TOUZE J.C.** Sound Forge 4.0. *Site de l'INRP.* [en-ligne]. Mise à jour Mai 1998. [http://www.inrp.fr/Access/JIPSP/phymus/m_log/forge.htm]. (consulté en Août 2001).
- 11 BERGEAUD P.** Les bruits du cœur. *In : Le phonocardiogramme du chien,* Thèse Méd. Vet., Alfort, 1975, 15-28
- 12 BERGEAUD P.** Les souffles cardiaques. *In : Le phonocardiogramme du chien,* Thèse Méd. Vet., Alfort, 1975, 29-44
- 13 BROOKES T., TYRELL A., HOWARD D.** On the difference between conventional and auditory spectrograms english consonant. *Logoped. Phoniatr. Vocol.* 2000, **25**(2), 72-79
- 14 CABASSE®.** Fletcher & Munson. *Site de Cabasse®.*[en-ligne]. [<http://www.cabasse.com/gloss/fletcher.htm>]. (consulté en Août 2001).
- 15 CALVERT C.A.** The heart simulator as an aid to teaching cardiac auscultation in the dog. *J. Vet. Med. E.* 1988, **15**(1), 11-13

- 16 CHEN D., DURAND L.G., LEE H.C.** Time frequency analysis of the first heart sound. Simulation and analysis. *Med. Biol. Eng. Comp.*, 1997, **35**, 306-310
- 17 CRESPEAU F.** *Lésions de l'appareil respiratoire. Lésions de l'appareil cardiovasculaire*. Polycopié de cours Ana. Path. DCEV2-Tome 1. Alfort. 1998, 53 pages
- 18 DURAND L.G & al.** . Spectral analysis and acoustic transmission of mitral and aortic valves closure sounds in dogs. *Med. Biol. Eng. Comp.* 1990, **28**, 269-277
- 19 ERNOULD F.** L'égalisation partie 3. *Home Studio Recording Mag.* 1998, n°20, 46-50
- 20 ERNOULD F., HALIDAY M.** L'égalisation partie 4. *Home Studio Recording Mag.* 1998, n°21, 66-68
- 21 ETTINGER S.J., SISSON D.D.** The physical examination. In : **FOX P.R., SISSON D., MOISE N.S.** *Textbook of canine and feline cardiology* ; 2nd ed. Philadelphia : W.B. SAUNDERS Company, 1999, 46-64
- 22 ETTINGER S.J., SUTER P.F.** Heart sounds and phonocardiography. In : *Canine cardiology*. Philadelphia : W.B. SAUNDERS Company, 1970, 12-39
- 23 EXPOSITION "LE SON DANS TOUS SES ETATS"**. Le son dans tous ses états. Cité des sciences et de l'industrie. Paris. printemps/été 2000. (visitée en juin 2000).
- 24 FAZZALARI N.L., MAZUMBAR J., GHISTA D.N., ALLEN D.G., DE BRUIN H.** A study of the first sound spectra in normal anesthetized cats. Possible origins and chest wall influences. *Can. J. Comp. Med.* 1984, **48**, 30-34
- 25 GEISS M.** De l'analogique au numérique... 100 ans d'audio. *Home Studio Recording Mag.* 2000, n°39, 62-65
- 26 GEISS M.** L'enveloppe sonore. *Home Studio Recording Mag.* 2000, n°40, 50-52
- 27 HAMLIN R.L.** Normal cardiovascular physiology. In : **FOX P.R., SISSON D., MOISE N.S.** *Textbook of canine and feline cardiology* ; 2nd ed. Philadelphia : W.B. SAUNDERS Company, 1999, 25-37
- 28 HEINE R., KVART C., INDREBO A., SKAALNES H.M., ULSTAD A.K.** Prevalence of murmurs consistent with aortic stenosis among boxer dogs in Norway and Sweden. *Vet. Rec.* 2000, **147**, 152-156
- 29 JAMOUS G. & al.** Optimal time-window duration for computing time-frequency representations of normal phonocardiograms in dogs. *Med. Biol. Eng. Comp.* 1992, **30**, 503-508
- 30 JBCQ.** Le microphone à condensateur. *Site personnel*. [en-ligne]. [<http://www.jbcqvfree.fr/microphone.htm>]. (consulté en Août 2001).

- 31 KAGAWA Y., NITTA S., SATOH N., SAJI K., SHIBOTA Y.** Sound spectroanalytic diagnosis of malfunctioning prosthetic heart valves. *Tokohu J. Exp. Med.* 1977, **123**(1), 77-89
- 32 KITTLESON M.D., KIENLE R.D.** Normal clinical cardiovascular physiology. *In : Small animal cardiovascular medicine.* Philadelphia : MOSBY, 1998, 11-35
- 33 KITTLESON M.D., KIENLE R.D.** Signalement, history and physical examination. *In : Small animal cardiovascular medicine.* Philadelphia : MOSBY, 1998, 36-46
- 34 KITZING P., AKERLUND L.** Long-time average spectrograms of dysphonic voices before and after therapy. *Folia Phoniatr.* 1993, **45**(2), 53-61
- 35 KVART C. & al.** Analysis of murmur intensity, duration and frequency components in dogs with aortic stenosis. *J. Small An. Pract.* 1998, **39**, 318-324
- 36 LE BOBINNEC G.** Les pièges de l'auscultation. *Rec. Med. Vet.* 1998, **163**(8), 731-738
- 37 MALIK R., HUNT G.B., ALLAN G.S.** Prevalence of mitral insufficiency in cavalier King Charles spaniels. *Vet. Rec.* 1992, **130**, 130
- 38 MASON D.** *Listening to the heart.* Philadelphia : MOSBY, 1995, [livret 201 pages et CD (x3)]
- 39 MEDEIROS M.F. & al.** Qu'est ce que l'édition audio ?. *Computer Music Mag.* 1999, n°2, 36-39
- 40 OZAWA Y., SMITH D., CRAIGE E.** Origin of the third heart sound. *Studies in dogs. Circulation.* 1983, **67**(2), 393-398
- 41 PEARCE S., TAYLOR B.** Energy distribution in the spectrograms of the cries of normal and asphyxiated infants. *Physiol. Meas.* 1993, **14**(3), 263-268
- 42 POUCHELON J.L.** *Cardiologie.* Polycopié de cours Méd. DCEV2. Alfort. 1993, 38 pages
- 43 RIETVEL S., OUD M., DOOLJES E.H.** Classification of asthmatic breath sounds. *Comp. Biomed. Res.* 1999, **32**(5), 440-448
- 44 ROLAND®.** Equalizer. *In : VS-840-EX Digital Studio Workstation.* Tokyo : ROLAND®, 1996, 63
- 45 ROLAND®.** Vari-pitch. *In : VS-840-EX Digital Studio Workstation.* Tokyo : ROLAND®, 1996, 97

46 Site Web MODULO 4 .Fr.. La synthèse sonore. *Site du groupe Modulo 4*. [en-ligne]. [http://modulo4.free.fr/Cours.htm]. (consulté en Août 2001).

47 Site Web AUDIO FR .Com.. Définition du bruit. *Site AUDIO FR*. [en-ligne]. [http://www.audiofr.com/dossier_bruit_definition.asp]. (consulté en Août 2001).

48 Site Web COMPRENDRE ENTENDRE .Org.. Définition du bruit. *Site Comprendre entendre .Org.* [en-ligne]. [http://www.comprendre-entendre.org/comprendre/_private/lexique/Def_F2.html]. (consulté en Août 2001).

49 Site Web ORBIT .Be.. VS 840 EX Digital Studio Workstation. *Site ORBIT .Be.* [en-ligne]. [http://www.orbit.be/fr/Vs-840ex.htm]. (consulté en Août 2001).

50 Site Web VIDEO SON .Com.. Fletcher et Munson. *Site du magazine Vidéo Son*. [en-ligne]. [http://www.video-son.com/Lexique/LexiqueF.htm]. (consulté en Août 2001).

51 SMITH F.W.K.J., TILLEY L.P.. *Rapid interpretation of heart sounds, murmurs and arrhythmias*. Philadelphia : LEA & FEBIGER, 1992, [livret 70 pages et K7]

52 THROPE C.W., FRIGHT W.R., TOOP L.J., DAWSON K.P.. A microcomputer interactive cough sound analysis system. *Comp. Methods Programs Biomed.* 1991, **36**(1), 33-43

53 TIMMIS A.D., NATHAN A., SULLIVAN I.D.. Troubles du rythme cardiaque. *In : En bref cardiologie*. Bruxelles : De BOECK Université, 1988, 228-254

54 VAN DE WERF F., MINTEN J., CARMELIET P., DE GEEST H., KESTELOOT H.. The genesis of the third and fourth heart sounds. *J. Clin. Invest.* 1984, **73**, 1400-1407

55 WAKAO Y.. An experimental study on the phonocardiogram in dogs. *Jap. J. Vet. Sci.* 1976, **38**, 93-104

56 WARIS M., HELISTO P. HALTSONEN S. SAARINEN A., SOVIJARVI A.R.. A new method for automatic wheeze detection. *Technol. Health Care*. 1998, **6**(1), 33-40

Annexe 2 : Avertissements, Plages et CD Audio

Avertissement.

Ce CD a été masterisé avec les plus grands soins pour vous permettre de retrouver les mêmes sensations qu'au cours d'une auscultation classique cependant, la qualité de ce que vous allez entendre dépend en grande partie de la qualité du système de lecture que vous utilisez.

Nous vous conseillons donc d'écouter les plages audio de ce CD au calme et avec une bonne installation HI-FI ou avec un bon casque. Le registre des graves étant fortement sollicité, nous déconseillons l'écoute sur de petites enceintes multimédia ou avec un petit casque de balladeur.

Pour retrouver le maximum de sensations proches d'une auscultation, nous vous proposons de l'écouter à bas volume sur votre chaîne HI-FI en utilisant votre stéthoscope habituel et en posant la capsule ou la cloche directement sur l'enceinte.

Plage	Esp.	Enregistrement	Commémoratifs	Grade
<u>Le grading (souffle systolique)</u>				
1	CN	apexien gauche	Souffle systolique apexien gauche de grade 2/6	2/6
2	CT	apexien gauche	Souffle systolique apexien gauche de grade 3/6	3/6
3	CN	apexien gauche	Souffle systolique apexien gauche de grade 4/6	4/6
4	CN	apexien gauche	Souffle systolique apexien gauche de grade 4/6 piaulent	4/6
5	CN	apexien gauche	Souffle systolique apexien gauche de grade 5/6	5/6
6	CN	apexien gauche	Souffle systolique apexien gauche de grade 6/6	6/6
<u>Les souffles systoliques de réurgitation</u>				
7	CN	apexien gauche	Endocardiose mitrale	4/6
8	CN	apexien gauche	C.M.D. de stade 3 écho (on remarquera le bruit de galop intermittent)	4/6
9	CN	apexien droit	Endocardiose Tricuspidale	4/6
<u>Les souffles systoliques d'éjection</u>				
10	CN	apexien droit	C.I.A.	5/6
11	CN	apexien droit	C.I.V.	3/6
12	CN	apexien droit	C.I.V.	4/6
13	CT	apexien gauche	Souffle d'anémie	1/6
14	CN	basal gauche	Sténose aortique	4/6
15	CN	basal gauche	Sténose aortique	5/6
16	CN	basal droit	Sténose aortique	3/6
<u>Les souffles systoliques mixtes</u>				
17	CT	apexien gauche	C.M.H.	2/6
18	CT	apexien gauche	C.M.H.	4/6
19	CT	apexien gauche	C.M.R.	3/6
20	CT	apexien gauche	C.M.R.	5/6
<u>Les souffles diastoliques de réurgitation</u>				
21	CN	apexien gauche	Endocardite bactérienne provoquant une insuffisance mitrale, une sténose aortique et une <i>insuffisance aortique</i> . Le souffle diastolique s'entend à toute les vitesses. Les souffles systoliques ne peuvent être entendus qu'à vitesse réduite.	
22	CN	vitesse /2		
23	CN	vitesse /4		
<u>Souffles continus</u>				
24	CN	apexien gauche	Persistance du canal artériel	
25		basal gauche		
<u>Défauts rythmiques</u>				
26	CN	apexien gauche	Extrasystoles isolées (4 sur la durée de la plage)	
27	CN	apexien gauche	Extrasystoles nombreuses	
28	CN	apexien gauche	Fibrillation atriale. Le début de la plage fait penser à un bruit de galop	
29	CN	apexien gauche	Fibrillation atriale.	

TITRE DE LA THESE :

ENREGISTREMENTS NUMÉRIQUES DES AUSCULTATIONS CARDIAQUES. PHONOGRAMMES & SONAGRAMMES CARDIAQUES DU CHIEN ET DU CHAT.

Nom et prénom : DUQUESNE Jean-Charles

RÉSUMÉ :

Les étudiants des écoles vétérinaires ont rarement l'occasion, au cours de leur scolarité, d'ausculter un panel d'animaux représentatif des affections cardiaques les plus courantes. L'étude que nous avons réalisée a donc deux buts essentiels.

D'une part, il s'agit de réaliser des enregistrements d'auscultations cardiaques chez le chien et le chat afin de les utiliser pour illustrer les cours de cardiologie à l'école vétérinaire de Maisons-Alfort. En effet, il est difficile de décrire les souffles par des adjectifs ou même des métaphores. Ainsi, l'audition d'un CD contenant les auscultations caractéristiques de certaines affections fréquentes chez le chien et le chat pourra contribuer à un meilleur apprentissage du diagnostic en cardiologie vétérinaire.

Nous avons donc enregistré, à l'aide d'un studio d'enregistrement numérique, le *VS840EX*[®] de *Roland*[®], les animaux présentés à la consultation de cardiologie de l'école vétérinaire de Maisons-Alfort. L'édition des sons a été réalisée sur ordinateur PC avec le logiciel *Sound Forge*[®] de *Sonic Foundry*[®].

D'autre part, nous avons tenté de rassembler les éléments bibliographiques sur les études des bruits cardiaques. Nous avons choisi d'utiliser les représentations graphiques des bruits pour tenter d'approfondir ces études. Ces représentations sont le phonogramme, proche de la phonocardiographie, le spectre et le sonagramme. Ces graphiques sont, eux aussi, obtenus grâce au logiciel d'édition sonore *Sound Forge*[®] de *Sonic Foundry*[®]. L'étude de ces graphiques nous a permis de comprendre que l'oreille humaine ne peut entendre qu'une partie des bruits produits par le cœur et plus généralement par le thorax.

Ces graphiques, pédagogiques par leur accessibilité et leur objectivité, contribueront aussi à un meilleur apprentissage de l'auscultation en donnant des repères facilement mémorisables.

Mots clés : enregistrement audio, auscultation, phonogramme, sonagramme, bruits cardiaques, souffles cardiaques, chien, chat.

JURY :

Président :

Directeur : Pr J.L. POUCHELON

Assesseur : Pr P. FAYOLLE

Invités : Pr V.CHETBOUL Dr D. VETZEL

Adresse de l'auteur :

DUQUESNE Jean-Charles

138-140, Boulevard Vincent AURIOL

75 013

PARIS 13

TITLE :

**DIGITAL RECORDING OF CARDIAC AUSCULTATIONS.
CARDIAC PHONOGRAMS & SPECTROGRAMS OF THE DOG AND THE CAT.**

Name : DUQUESNE

Given name : Jean-Charles

SUMMARY :

Students of veterinary school have rarely the opportunity, during their school-leaving, to sound a representative sample of animals with frequent cardiac diseases. The study that we have realized have two principal objects.

In a first hand, we have realized some recordings of cardiac auscultations of dogs and cats to use it to illustrate the cardiology lesson in the veterinary school of Maisons-Alfort. Actually, it is difficult to describe cardiac murmurs by some adjectives or some figures of speech. So, play the recordings of characteristic auscultations of frequent cardiac diseases of dogs and cats could contribute to better teach the diagnosis in veterinarian cardiology.

We have recording, with a digital studio workstation, the *Roland® VS840EX®*, patients shown to the consultation of cardiology in the veterinary school of Maisons-Alfort. The sound edition has been realized on a computer PC with the *Sonic Foundry® Sound Forge®*

In the other hand, we tried to reassemble bibliographic elements dealing with the study of heart sounds. We have chosen to use graphic representations of sounds to go thoroughly into the sounds study. These representations are the phonogram that is close to the phonocardiography (PCG), the spectrum and the spectrogram. These graphics are maid with the sound edition software *Sound Forge®*. The study of this graphics make us understand that the human ear can just hear a little part of the sounds made by the heart or by the thorax.

These graphics, pedagogical by their simplicity and objectivity, can contribute to a better teaching for the auscultation by giving references easy to memorize.

Key Words : audio recording, auscultation, phonogram, spectrogram, heart sounds, murmurs, dogs, cats.

JURY :

Président :

Directeur : Pr J.L. POUCHELON

Assesseur : Pr P. FAYOLLE

Invités : Pr V.CHETBOUL Dr D. VETZEL

Author's Address :

DUQUESNE Jean-Charles
138-140, Boulevard Vincent AURIOL
75 013 PARIS 13
FRANCE

Rapport-Gratuit.com