

# **ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON**

Année 2007 - Thèse n° 66..

## **LES ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES (ESWT) : EVALUATION DE L'EFFICACITE CLINIQUE DES ESWT RADIALES AU MOYEN DE L'APPAREIL SWISS DOLOR CLAST VET CHEZ LE CHIEN**

### **THESE**

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I  
(Médecine - Pharmacie)  
et soutenue publiquement le 3 Octobre 2007  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

DEMARE Emilie  
Née le 11 Septembre 1983  
à Narbonne (11)



**DEPARTEMENT ET CORPS ENSEIGNANT DE L'ENVL**  
**Directeur : Stéphane MARTINOT**

	PR EX	PR 1	PR 2	MC	Contractuel, Associé, IPAC et ISPV	AERC	Chargés de consultations et d'enseignement
<b>DEPARTEMENT SANTE PUBLIQUE VETERINAIRE</b>							
Microbiologie, Immunologie, Pathologie Générale	Y. RICHARD		A. KODJO A. LACHERETZ M. ARTOIS	V. GUERIN-FAUBLEE D. GREZEL J. VIALARD			
Pathologie infectieuse				MP. CALLAIT CARDINAL L. ZENNER			
Parasitologie et Maladies Parasitaires	MC. CHAUVE	G. BOURDOISEAU		A. GONTHIER S. COLARDELLE			
Qualité et Sécurité des Aliments			P. DEMONT C. VERNOZY A. LACHERETZ	P. SABATIER ML. DELIGNETTE K. CHALVET-MONFRAY			
Législation et Jurisprudence							
Bio-informatique - Bio-statistique							
<b>DEPARTEMENT ANIMAUX DE COMPAGNIE</b>							
Anatomie			T. ROGER	S. SAWAYA	C. BOULLOCHER ME DUCLOS		
Chirurgie et Anesthésiologie		JP. GENEVOIS	D. FAU E. VIGUIER D. REMY		S. JUNOT (MCC) K. PORTIER (MCC) C. DECOSNE-JUNOT (MCC)	C. CAROZZO	
Anatomie-pathologique/Dermatologie-Cancérologie			C. FLEURY	T. MARCHAL	P. BELL D. PIN D. WATRELOT-VIRIEUX (MCC)		
Hématologie		C. FOURNEL					
Médecine interne		JL. CADORE		L. CRABANNE F. PONCE M. HUGONNARD C. ESCRIOU			I. BUBLOT
Imagerie Médicale					J. SONET (MCC)		
<b>DEPARTEMENT PRODUCTIONS ANIMALES</b>							
Zootéchnie, Ethologie et Economie Rurale		M. FRANCK		L. MOUNIER			
Nutrition et Alimentation				D. GRANCHER L. ALVES DE OLIVEIRA G. EGRON S. BUFF			
Biologie et Pathologie de Reproduction		F. BADINAND	M. RACHAIL-BRETIN	R. GUERIN P. FRIKHA	A. C. LEFRANC		G. LESOBRE P. DEBARNOT D. LAURENT
Pathologie Animaux de Production		P. BEZILLE	T. ALOGINOUWA	M.A. ARCANGIOLI D. LE GRAND			
<b>DEPARTEMENT SCIENCES BIOLOGIQUES</b>							
Physiologie/Thérapeutique				J.J. THIEBAULT J.M. BONNET-GARIN			
Biophysique/Biochimie		E. BENOIT F. GARNIER		T. BURONFOSSE V. LAMBERT			
Génétique et Biologie moléculaire		G. KECK	F. GRAIN P. JAUSSAUD P. BERNY				
Pharmacologie/Toxicologie Législation du Médicament					C. FARMER T. AMISON		
Langues							
<b>DEPARTEMENT HIPPIQUE</b>							
Pathologie équine		JL. CADORE		A. BENAMOU-SMITH			
Clinique équine		O. LEPAGE		A. LEBLOND	M. GLANGL		

**A monsieur le Professeur Claude Gharib**  
De la faculté de Médecine de Lyon

*Qui nous a fait le grand honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse*  
*Hommages respectueux*

**A monsieur le Docteur Vétérinaire Serge Sawaya**  
Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

*Qui a initié ce travail*  
*Qui a su nous faire progresser et nous accompagner au long de ce travail*  
*Nos très sincères remerciements*

**A monsieur le Professeur Eric Viguié**  
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

*Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse*  
*Qui a mis à notre disposition le tapis de marche et qui nous a expliqué ses principes*  
*Sincères remerciements*

**A monsieur Le Docteur Vétérinaire Tong Le Quang**  
De l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

*Pour son aide précieuse tout au long de notre travail*  
*Pour sa disponibilité*  
*Sincères remerciements*

**A mademoiselle le Docteur Vétérinaire Caroline Boulocher**  
De l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

*Pour sa participation aux expériences annexes*  
*Sincères remerciements*

**A madame Claire Nagels**  
**De la société Electro Medical System**

*Pour avoir mis à notre disposition de VetDolorClast® et avoir ainsi permis la  
réalisation de ce travail  
Pour nous avoir proposé bon nombre de documents qui nous ont été fort précieux  
Sincères remerciements*

**A tous les propriétaires qui ont amené leurs chiens et accepté le traitement  
par ondes de choc extracorporelles**

*Sincères remerciements*

## **A mes parents**

*Pour leur soutien de tous les instants, pour avoir supporté mes coups de blues, mes crises de larmes aussi bien que mes crises de rire... Et surtout, pour m'avoir offert de vivre dans une si belle famille.  
Merci de m'avoir toujours donné les moyens de réaliser mes rêves, d'avoir accepté et accueilli mes poilus et d'avoir supporté l'envahissement progressif.*

## **A Nicolas**

*Parce que tu ne pouvais vraiment pas rester le seul docteur de la famille*

## **A Nathalie**

*Et à nos belles retrouvailles.*

## **A Caroline**

*Ma Blonde préférée !*

## **A Noémie**

*Ma p'tite Note de Musique qui résonne si joliment à mes oreilles...*

## **A tous leurs chéri(e)s, et aux petits bouts**

*qui grandissent si vite, si loin de moi.*

## **A un certain Tonton...(non, ça, ça ne se dit pas ! )**

*Qui a permis l'exécution de cette thèse... Désolée pour les appels au secours réguliers...*

## **A toute ma famille**

*Il y a tant de choses à dire, mais vous saurez, j'espère, les deviner.*

### **A tous mes amis**

*Galou ma presque sœur  
Chlochette ma fée, et Bonux  
Soph'Soph' ma spéciale Carola Rouge  
Nadège qui est toujours là, malgré ses hauts et mes bas (et vice versa)  
Caro que j'ai même réussi à poursuivre à Lyon, avec beaucoup de plaisir d'ailleurs  
Aurélia et Jean-Luc qui m'ont fait partager un merveilleux univers  
A Céline, ma fillotte de clinique.  
Isabelle et Clarel... et Rémi qui sont venus agrandir la famille pour ma plus grande joie  
Annie et Guy qui m'ont accueillie si souvent  
A Jess, Jimmy et Geneviève, pour m'avoir si gentiment accueillie  
A Annick... et à Rhon Rhon la Terrible  
Et aussi, bien sûr, à tous ceux que j'oublie sur le moment, mais à qui je penserai très bientôt en me mordant les doigts de ne pas les avoir cités (Gastounette est là).*

### **A tous ceux de l'école avec qui j'ai partagé des fous rires :**

*Chlochette, Soph', Delphine, Charlotte, Fanny V., Maud, Mymy, Céline, Ingrid,  
Nadège, Fanny G., Isa, Sandy, Béton, Anne-Laure, Caroline et tous les autres*

### **A mes co-internes :**

*L'aventure ne fait que commencer*

### **A tous les vétérinaires qui m'ont prise en stage**

*et particulièrement aux Docteurs La Marle, Azoulay, et Ferreira,*

*qui m'ont encouragée, poussée, et enseigné leur art, et ce, bien avant que je ne devienne étudiante. Je vous remercie d'avoir été là, et de m'avoir transmis cette passion qui me pousse en avant et me donne toujours l'envie d'apprendre et de progresser.*

### **Et à tous mes Poilus**

*qui m'ont donné amour, tendresse ... et matière pour réaliser cette thèse !  
(pauvres cobayes !). Un merci tout particulier à Banjo qui a failli participer à ce travail, mais le stress était trop fort.*

## Table des matières

TABLE DES MATIERES .....	5
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	7
LISTE DES TABLEAUX.....	10
INTRODUCTION .....	11
INTRODUCTION .....	11
I/ L'ONDE DE CHOC : PRINCIPES PHYSIQUES, MODALITES D'ACTION :.....	12
A/ DEFINITIONS.....	12
B/ LES GENERATEURS D'ONDES DE CHOC UTILISES EN THERAPEUTIQUE .....	15
1/ Les ondes de choc focalisées :.....	15
2/ Les ondes de choc radiales :.....	19
3/ Bilan : principales caractéristiques des ondes de choc radiales et focalisées .....	21
C/ PROPAGATION DES ONDES DE CHOC ET INTERACTIONS AVEC LE MILIEU .....	22
1/ Définition :.....	22
2/ Propagation des ondes de choc dans les milieux.....	24
D/ QUE RETENIR POUR UTILISER LES ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES ? .....	27
III/ EFFETS BIOLOGIQUES ET PROPRIETES THERAPEUTIQUES DES ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES .....	29
A/ EFFET SUR LES CELLULES .....	29
B/ EFFETS SUR LA DOULEUR.....	30
1/ les mécanismes de la douleur.....	30
2/ Manifestations douloureuses chez l'animal .....	35
3/ Mécanismes analgésiques induits par le traitement aux ondes de choc.....	36
C/ ACTION ANTI INFLAMMATOIRE : .....	44
1/ Définitions : .....	44
2/ Action anti-inflammatoire des ESWT.....	44
D/ EFFETS SUR LES OS.....	47
1/ Observations générales.....	47
2/ Mécanisme d'action des ondes de choc sur l'os.....	49
3/ Utilisation en thérapeutique osseuse : .....	55
E/ EFFETS SUR LES TENDONS.....	59
1/ Mécanismes d'action des ondes de choc sur les tendons.....	59
2/ Utilisation en thérapeutique des tendinopathies cliniques:.....	63
F/ EFFETS SUR LES MUSCLES : .....	67
G/ EFFETS SUR LE CARTILAGE DE CROISSANCE : .....	68
H/ EFFETS SECONDAIRES DES ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES .....	69
1/ Effets délétères sur le tissu cutané : .....	69
2/ Effets délétères sur les autres tissus : .....	70
3/ Bilan – Précautions à prendre lors d'utilisation thérapeutique des Ondes de Choc Extracorporelles .....	71
I/ ONDES DE CHOC FOCALISEES VERSUS ONDES DE CHOC RADIALES EN THERAPEUTIQUE ; SUR QUELLES BASES CHOISIR L'UNE OU L' AUTRE MODALITE :.....	72
III/ETUDE DE L'EFFICACITE CLINIQUE DES ONDES DE CHOC RADIALES CHEZ LE CHIEN ....	74
PRESENTATION DES RESULTATS OBTENUS SUR 23 CHIENS.....	74
A/ L' APPAREIL GENERATEUR D'ONDES DE CHOC .....	74
1/ Présentation de l'appareil : Swiss DolorClast Vet® .....	74
2/ Indications d'utilisations de l'appareil Swiss DolorClast Vet .....	75
3/ Contre-indications à l'utilisation de cet appareil.....	76





## Table des illustrations

FIG 1 : REPRESENTATION GRAPHIQUE D'UNE ONDE DE CHOC.....	13
FIG 2 : SCHEMA ILLUSTRANT LE PHENOMENE DE REFLEXION DES ONDES , ET D'ANNULATION D'UNE PARTIE DE L'ONDE. ....	13
FIG 3 : SCHEMA FOCALISATION DES ONDES SCHEMA .....	15
FIG 4 : REPRESENTATION SIMPLIFIEE D'UN GENERATEUR D'ONDES DE CHOC FOCALISEES, AVEC UN MECANISME PIEZOELECTRIQUE.....	15
FIG 5 : PHOTO D'UN PIEZOVET®.....	15
FIG 6 : REPRESENTATION SIMPLIFIEE D'UN GENERATEUR D'ONDES DE CHOC FOCALISEES AVEC UN MECANISME ELECTROMAGNETIQUE .....	17
FIG 7 : REPRESENTATION SIMPLIFIEE D'UN GENERATEUR D'ONDES DE CHOC FOCALISEES AVEC UN MECANISME ELECTROHYDRAULIQUE .....	18
FIG 8 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU PRINCIPE DE CREATION DE L'ONDE DE CHOC RADIALE .....	19
FIG 9 : CREATION DE L'ONDE DE CHOC RADIALE DANS LA PIECE A MAIN DE L'APPAREIL SWISS DOLORCLAST VET®.....	20
FIG 10 : SCHEMA ILLUSTRANT L'ACTION DES ONDES DE CHOC AUX LIEUX DE CHANGEMENT D'IMPEDANCE ACOUSTIQUE. ....	23
FIG 11 : SCHEMA ILLUSTRANT LE PHENOMENE DE CAVITATION .....	25
FIG 12 : ILLUSTRATION DES FORCES DE CAVITATION LORS DE TRAITEMENTS PAR ONDES DE CHOC.....	26
FIG 13 : ETAPES PRESUMEEES DU PROCESSUS NOCICEPTIF PHYSIOLOGIQUE .....	31
FIG 14 : LIBERATION D'UNE VERITABLE "SOUPE DE MEDIATEURS INFLAMMATOIRES ET SENSIBILISATEURS" RESPONSABLE EN PARTIE DES SYNDROMES D'HYPERALGIE.....	32
FIG 15 : LES VOIES DE LA DOULEUR : FIBRES ET CENTRES NERVEUX. ....	34
FIG 16 : VOIES NOCICEPTIVES TRAITEES ET TESTEES .....	37
FIG 17 : APPLICATION DE COURANTS POUR STIMULER LA NOCICEPTION.....	37
FIG 18 : ANALGESIE CUTANEE DES CHEVAUX TRAITES PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES.....	38
FIG 19 : MARQUAGES IMMUNO-HISTOCHIMIQUES DES FIBRES NERVEUSES DE LA PEAU DE RAT AVANT (« PRE ») TRAITEMENT, ET QUATRE JOURS (4D), SEPT JOURS (7D) ET VINGT ET UN JOURS (21D) APRES TRAITEMENT PAR ONDES DE CHOC. LES FIBRES APPARAISSENT BLANCHES ET SONT INDIQUEES PAR LES FLECHES ROUGES. ....	43
FIG 20 : VUE GENERALE DES ONDES DE CHOC SUR LES MECANISMES INFLAMMATOIRES ....	47
FIG 21 : AUGMENTATION DU NOMBRE D'OSTEONS ACTIFS LORS DE STIMULATION PAR ONDES DE CHOCS EXTRACORPORELLES : LA FIGURE DE DROITE (TRAITEE) MONTRE UNE FLUORESCENCE PLUS IMPORTANTE QUE LA FIGURE DE GAUCHE (NON TRAITEE) .....	48
FIG 22 : ANALYSES HISTOLOGIQUES DE TISSUS CICATRICIEL, APRES TRAITEMENT (COLONNE DE GAUCHE) D'UNE FRACTURE PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES, OU NON (COLONNE DE DROITE). A ET B : PRELEVEMENTS A SEPT JOURS APRES FORMATION DE LA FRACTURE. C ET D : PRELEVEMENTS A VINGT-HUIT JOURS. E ET F : PRELEVEMENTS A CINQUANTE SIX JOURS.....	57
FIG 23 : RESOLUTION DES LESIONS TENDINEUSES APRES TRAITEMENT AUX ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES. L'IMAGE ECHOGRAPHIQUE DE GAUCHE MONTRE LE TENDON AVANT TRAITEMENT, AVEC UNE LESION CENTRALE (FLECHE ROUGE), CELLE DE DROITE MONTRE UN TENDON SAIN APRES TRAITEMENT, AVEC UNE ZONE CICATRICIELLE (FLECHE BLEUE) .....	65

FIG 24 : RADIOGRAPHIES DE L'ÉPAULE DROITE (INCIDENCE MEDIO-LATERALE) AVANT (A) ET APRES TRAITEMENT (B) AUX ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES. LA CALCIFICATION (CERCLE BLEU) INTERESSE LE TENDON DU MUSCLE SUPRA-ÉPINEUX. 21 JOURS APRES LE TRAITEMENT ON NOTE UNE FRAGMENTATION DE L'IMAGE A DENSITE MINERALE. ....	67
FIG 25 : LESION CUTANEE NECROTIQUE INDUITE PAR UN TRAITEMENT PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES. LA PHOTO DU HAUT MONTRE LA PEAU DU LAPIN AVANT TRAITEMENT, CELLE DU BAS EST PRISE APRES APPLICATION DES ONDES DE CHOCS. ...	70
FIG 26 : UNITE DE CONTROLE DU SWISS DOLORCLAST VET .....	74
FIG 27 : SWISS DOLORCLAST VET® : APPAREIL COMPLET, AVEC SOURCE D'AIR COMPRIME .....	75
FIG 28 : INDICATIONS D'UTILISATIONS DES ONDES DE CHOC RADIALES CHEZ LE CHIEN SELON LE FABRICANT DU SWISSDOLORCLAST VET® .....	76
FIG 29 : EXEMPLE DE MESURE GONIOMETRIQUE EVALUANT L'ANGLE D'EXTENSION DE LA HANCHE SUR UN CHIEN.....	80
FIG 30 : RESEAU DE CONNECTIONS ENTRE L'ORDINATEUR ET LE TAPIS DE MARCHÉ.....	81
FIG 31 : EXEMPLE D'UN CHIEN MARCHANT SUR LE TAPIS GAITRITE® .....	82
FIG 32 : EXEMPLE DE FICHE DE RESULTATS PROPOSEES APRES TRAITEMENT DES DONNEES DE LA MARCHÉ PAR LE LOGICIEL ADAPTE ; EXEMPLE DU CHIEN ARTIC .....	83
FIG 33 : RADIO DES HANCHES AVEC UNE ARTHROSE IMPORTANTE DE LA HANCHE GAUCHE	85
FIG 34 ; RADIO DES HANCHES, AVEC UNE RTCF A DROITE. PRESENCE D'ARTHROSE DE LA HANCHE DROITE.....	86
FIG 35 : LIEU D'APPLICATION DES ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES RADIALES LORS DES TRAITEMENTS D'ARTHROSE DE L'ARTICULATION COXO-FEMORALE.....	87.
FIG 36 : ARTICULATION COXO-FEMORALE : ARTHROLOGIE ET SITE CONCERNE PAR L'APPLICATION DES ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES.....	87
FIG 37 : EVOLUTION DE LA SURFACE D'APPUI RELATIVE DU MEMBRE TRAITE AU COURS DU TRAITEMENT.....	94
MESURES ISSUES DES DONNEES APPORTEES PAR LE TAPIS GAITRITE® .....	94
FIG 38 : EVOLUTION DE L'INDICE DE SYMETRIE DE LA P <sub>MAX</sub> DES POSTERIEURS (PG/PD) POUR 5 DES CHIENS QUI ONT REÇU UN TRAITEMENT BILATERAL DES HANCHES. ....	95
FIG 39 : EVOLUTION DE LA P <sub>MAX</sub> RELATIVE DES POSTERIEURS GAUCHES ET DROITS DE BILKO.....	95
VALEURS ISSUES DU TRAITEMENT DES DONNEES RECUEILLIES PAR LE TAPIS GAITRITE®. 95	
FIG 40 : EVOLUTION DE LA SYMETRIE PG/PD POUR LA P <sub>MAX</sub> D'APPUI DE BILKO. ....	96
VALEURS ISSUES DU TRAITEMENT DES DONNEES RECUEILLIES PAR LE TAPIS GAITRITE® . 96	
FIG 41 : EVOLUTION DU RAPPORT ENTRE LES PRESSIONS EXERCEES PAR LES MEMBRES ANTERIEURS PAR RAPPORT AUX MEMBRES POSTERIEURS AU COURS DU TEMPS.....	97
FIG 42 : LIEU DE TRAITEMENT (FLECHES BLEUES) DES MYOPATHIES CONCERNANT LES MUSCLES CAUDO-MEDIAUX DE LA CUISSE DU CHIEN PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES RADIALES (PHOTO E.DEMARE, S.SAWAYA) (SCHEMA D'APRES BARONE).....	99
FIG 43 : LIEU DE TRAITEMENT (FLECHE BLEUE) DES MYOPATHIES CONCERNANT LE MUSCLE CORPS DU MUSCLE GASTROCNEMIEN (VUE LATERALE) PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES RADIALES (SCHEMA D'APRES BARONE).....	99
FIG 44 A : EVOLUTION DU RATIO SURFACE D'APPUI DES ANTERIEURS PAR RAPPORT A LA SURFACE D'APPUI DES POSTERIEURS. ....	103
FIG 44B : EVOLUTION DES P <sub>MAX</sub> RELATIVES A L'APPUI DU MEMBRE TRAITE.....	103
FIG 45 : LIEU DE TRAITEMENT (FLECHES BLEUES) DES TENDINOPATHIES DU TENDON DU BICEPS BRACHIAL PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES RADIALES (PHOTO E.DEMARE, S.SAWAYA) (SCHEMA D'APRES BARONE) .....	107

FIG 46 : LIEU DE TRAITEMENT (FLECHES BLEUES) DES TENDINOPATHIES DU TENDON DU GASTROCNEMIEN PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES RADIALES (PHOTO E.DEMARE, S.SAWAYA) (SCHEMA D'APRES BARONE) .....	107
FIG 47 A : EVOLUTION DU RAPPORT SURFACE DES ANTERIEURS/SURFACE DES POSTERIEURS .....	111
FIG 47B : EVOLUTION DU RAPPORT P <sub>MAX</sub> DES ANTERIEURS / P <sub>MAX</sub> DES POSTERIEURS ....	111
FIG 48 : EVOLUTION DES P <sub>MAX</sub> RELATIVES DES MEMBRES POSTERIEURS DE L'COVO ....	112
FIG 49 : EVOLUTION DE LA SYMETRIE PG/PD POUR LA P <sub>MAX</sub> , CHEZ L'COVO .....	112
FIG 50 : RADIOS DU GRASSET ATTEINTES D'ARTHROSE IMPORTANTE. ....	114
FIG 51 : LIEU DE TRAITEMENT (FLECHES BLEUES) DES ATTEINTES DU GRASSET (FACE LATERALE PUIS FACE MEDIALE) PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES RADIALES .....	115
(PHOTO E.DEMARE, S.SAWAYA) (SCHEMA D'APRES BARONE) .....	115
FIG 52 : SPONDYLOSE DES ARTICULATIONS INTERVERTEBRALES LOMBAIRES.....	117
FIG 53 : LIEU DE TRAITEMENT (FLECHES BLEUES) DES ATTEINTES DE LA COLONNE VERTEBRALE PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES RADIALES (PHOTO E.DEMARE, S.SAWAYA) .....	117
FIG 54 : LIEU DE TRAITEMENT (FLECHES BLEUES) DES ATTEINTES DU COUDE (ABORD LATERAL PUIS MEDIAL) PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES RADIALES (PHOTO E.DEMARE, S.SAWAYA) .....	118
FIG 55 : EVOLUTION DU RAPPORT ENTRE LES PRESSIONS EXERCEES PAR LES MEMBRES ANTERIEURS PAR RAPPORT AUX MEMBRES POSTERIEURS AU COURS DU TEMPS.....	121
FIG 56 : EVOLUTION DE LA P <sub>MAX</sub> RELATIVE DES ANTERIEURS DE VANUA .....	122
FIG 57 : EVOLUTION DU RATIO AG/AD DES P <sub>MAX</sub> CHEZ VANUA .....	122
FIG 58 : EVOLUTION DU RAPPORT ENTRE LES PRESSIONS EXERCEES PAR LES MEMBRES ANTERIEURS PAR RAPPORT AUX MEMBRES POSTERIEURS(A) ET PAR LE POSTERIEUR GAUCHE PAR RAPPORT AU POSTERIEUR DROIT (B) AU COURS DU TEMPS. ....	125

## Liste des tableaux

TABLEAU 1 : TABLEAU RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DES ONDES DE CHOC FOCALES ET RADIALES .....	21
TABLEAU 2 : IMPEDANCE DES MILIEUX VIVANTS .....	22
TABLEAU 3 : RESULTATS DE L'ETUDE REALISEE PAR ROMPE EN 1998 AFIN DE DEMONSTRER L'IMPORTANCE DE L'ENERGIE APPLIQUEE LORS DE TRAITEMENT PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES. ....	60
TABLEAU 4 : BILAN CLINIQUE DES CHIENS LORS DE LA PREMIERE CONSULTATION DE PHYSIOTHERAPIE.....	89
TABLEAU 5 : TRAITEMENT ET EVOLUTION CLINIQUE DES CHIENS TRAITES PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES RADIALES. ....	92
TABLEAU 6 : EVOLUTION DE L'AMPLITUDE EN EXTENSION DES HANCHES TRAITES PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES. ....	93
TABLEAU 7 : PRESENTATION CLINIQUE DES CHIENS LORS DE LA PREMIERE CONSULTATION DE PHYSIOTHERAPIE.....	100
TABLEAU 8 : MODALITES DE TRAITEMENT ET EVOLUTION CLINIQUE DES CHIENS TRAITES POUR MYOPATHIE.....	102
TABLEAU 9 : SUIVI GONIOMETRIQUE DE L'ARTICULATION DU GENOU GAUCHE DE MAGMA .....	102
TABLEAU 10 : PRESENTATION CLINIQUE DES CHIENS LORS DE LA PREMIERE CONSULTATION DE PHYSIOTHERAPIE.....	108
TABLEAU 11 : MODALITES DE TRAITEMENT ET EVOLUTION CLINIQUE DES CHIENS TRAITES PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES. ....	110
TABLEAU 12 : PRESENTATION CLINIQUE DES CHIENS LORS DE LA PREMIERE CONSULTATION DE PHYSIOTHERAPIE.....	116
TABLEAU 13 : PRESENTATION CLINIQUE DES CHIENS LORS DE LA PREMIERE CONSULTATION DE PHYSIOTHERAPIE.....	117
TABLEAU 14 : PRESENTATION CLINIQUE DES CHIENS LORS DE LA PREMIERE CONSULTATION DE PHYSIOTHERAPIE.....	118
TABLEAU 15 : MODALITES DE TRAITEMENT ET EVOLUTION CLINIQUE DES CHIENS TRAITES PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES. ....	120
TABLEAU 16 : EVOLUTION DES SCORES DE BOITERIE AU COURS DU TRAITEMENT.....	123
TABLEAU 17 : EVOLUTION DES MESURES GONIOMETRIQUES AU COURS DU TRAITEMENT PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES RADIALES. ....	123
TABLEAU 18 : PRESENTATION CLINIQUE DES CHIENS LORS DE LA PREMIERE CONSULTATION DE PHYSIOTHERAPIE.....	124
TABLEAU 19 : MODALITES DE TRAITEMENT ET EVOLUTION CLINIQUE DES CHIENS TRAITES PAR ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES. ....	125

## Introduction

C'est en arpentant les couloirs de l'Unité de Physiothérapie-Rééducation-Ostéopathie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, à la recherche de solutions miracles à tous les petits tracassés de mes chiens, que j'ai découvert les ondes de choc extracorporelles radiales. Le principe a éveillé ma curiosité, et a, de surcroît, montré d'étonnants résultats sur les premiers chiens que nous avons traités. Le champ des possibilités à explorer avec l'utilisation de ces ondes, et les indications multiples chez le chien ont motivé la mise en place de ce travail de thèse.

La Thérapie par ondes de choc extracorporelles (ESWT pour Extracorporeal Shock Waves Therapy) est relativement récente en médecine vétérinaire. Les ESWT ont tout d'abord été utilisées, peu après la seconde guerre mondiale, afin de détruire les calculs rénaux et vésicaux sans s'astreindre à une intervention chirurgicale.

A partir des années 1990, les chirurgiens orthopédistes ont utilisé les lithotripteurs afin de traiter les pseudarthroses. Petit à petit, les médecins ont élargi le champ d'action des générateurs d'ondes de choc pour traiter différentes affections des tissus durs comme des tissus mous, et les générateurs d'ondes de choc ont été alors modifiés de façon à être adaptés à leur utilisation dans des cabinets médicaux.

En médecine vétérinaire, ce traitement a été appliqué en premier lieu chez les équins, chez lesquels les tendinopathies et desmites sont les indications principales de la thérapie par ondes de choc extracorporelles.

Chez les carnivores domestiques, en revanche, les Ondes de chocs extracorporelles n'ont fait leur premières apparitions dans l'arsenal thérapeutique des vétérinaires que depuis la fin des années 2000. Leur utilisation commence à se répandre aux USA et en Europe (Allemagne, Autriche, Suisse en particulier). L'Unité Physiothérapie-Rééducation-Ostéopathie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon est, en France, le premier utilisateur des ondes de choc extracorporelles radiales pour le traitement des pathologies musculo-tendineuses et articulaires canines. Un appareil à ESWT radiales, le SwissDolorclast® a été mis à disposition de l'Unité pour une durée de 2 ans afin d'évaluer l'efficacité clinique de cette thérapie sur diverses affections chez le chien.

Sur quelles affections sont-elles efficaces ? Quelles en sont les modalités optimales d'application ? Les publications concernant l'utilisation des ondes de choc extracorporelles chez le chien sont encore très rares. Ce travail s'est donc essentiellement appuyé sur les études expérimentales sur les animaux de laboratoire, ainsi que sur les études cliniques réalisées sur les hommes et les chevaux, afin de comprendre, en premier lieu, les modalités de génération et d'action des ondes de choc extracorporelles, puis, leurs multiples actions, prouvées ou supposées, bénéfiques ou délétères, sur les différents tissus. Nous nous sommes attachés à exposer l'état des connaissances actuelles sur les mécanismes d'action des ondes de choc extracorporelles.

La troisième partie sera consacrée à l'exposé d'une étude clinique réalisée sur les chiens traités aux ondes de chocs radiales pour diverses affections rhumato-orthopédiques à l'Unité Physiothérapie-Rééducation-Ostéopathie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon.

## **I/ L'onde de choc : principes physiques, modalités d'action :**

Les ondes de chocs extracorporelles sont des ondes acoustiques générées à l'extérieur du corps, à faible fréquence et sous très forte pression. Elles se caractérisent par un pic de surpression très élevé, suivi d'un pic de dépression. Tout ceci en temps très bref, de l'ordre du microseconde ce qui leur confère une très grande énergie

### **A/ Définitions**

Une onde de choc est produite par un émetteur, et reçue par un récepteur. C'est une onde sonore et, comme toute onde mécanique, elle représente une variation de pression en fonction du temps. Cette variation de pression est un moyen de transmettre de l'énergie cinétique de l'émetteur au récepteur.

Plus particulièrement, une onde sonore devient onde de choc lorsque la vitesse de déplacement de la source (émetteur) est supérieure à la vitesse de propagation de l'onde dans le milieu, d'où une concentration des surfaces d'ondes sur un cône dont l'axe est donné par la direction du foyer. Une image simple est celle de l'avion supersonique (émetteur), qui « pousse » l'air devant lui, formant un cône de pression de l'air dont le sommet est l'avant de l'avion. Lorsqu'une des parois du cône rencontre un récepteur (un individu), celui-ci perçoit une détonation violente

« Une onde de choc est [donc] une impulsion acoustique », dont les caractéristiques sont une « courte durée d'ascension »<sup>1</sup>, mais avec une très forte variation de pression de façon à atteindre une pression supérieure à 100 Mpa (McClure, 2002), suivie d'une décompression plus lente, dont la représentation graphique est une exponentielle décroissante<sup>2</sup>. Elle se termine par une phase de tension, pendant laquelle la pression appliquée par l'onde est négative (entre -5 et -10 Mpa) (McClure, 2002), puis par un retour à la pression atmosphérique.

L'onde de choc est une onde sonore, caractérisée par une variation transitoire de pression, de très forte amplitude pendant un temps très court. La première phase, positive, correspond à la compression du milieu. La deuxième phase, négative, correspond à une mise sous tension du milieu. (Brissot, Lobel, 2004)

<sup>1, 2</sup> D'après EMS Swiss Dolor Clast Vet, lors d'une présentation des ondes de choc extracorporelles réalisée en 2000.

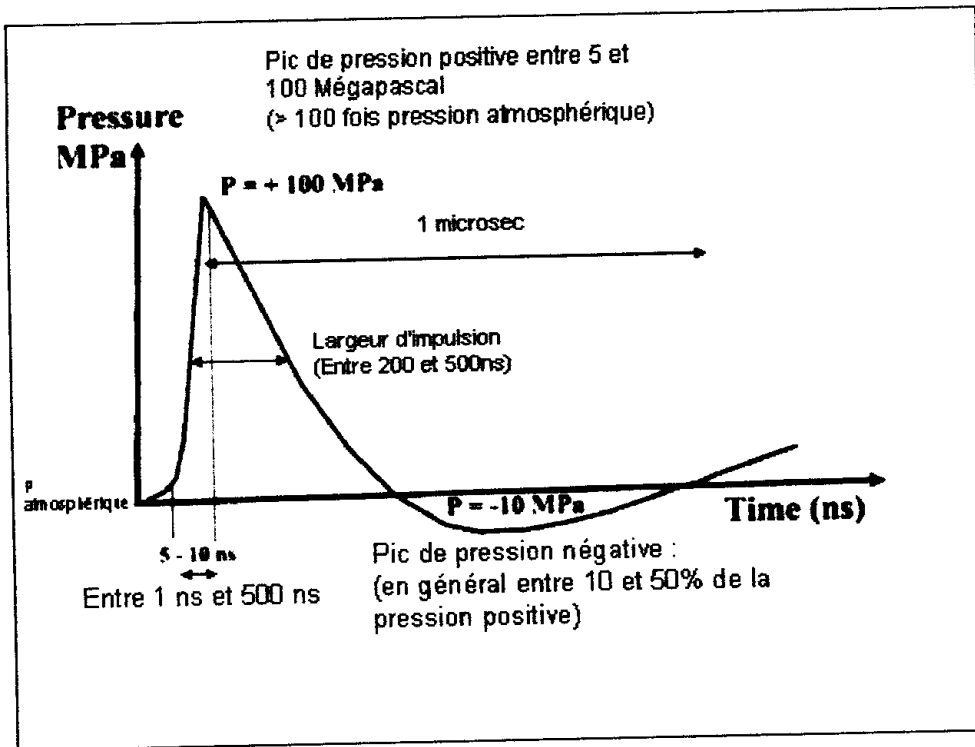


Fig 1 : Représentation graphique d'une onde de choc

D'après McClure, 2002

Cette augmentation rapide de pression fait que, lorsque la fréquence d'émission de l'onde est suffisante, le récepteur reçoit uniquement des fortes pressions. La diminution de pression s'annule grâce au retour des ondes, du au phénomène de réflexion de l'onde.

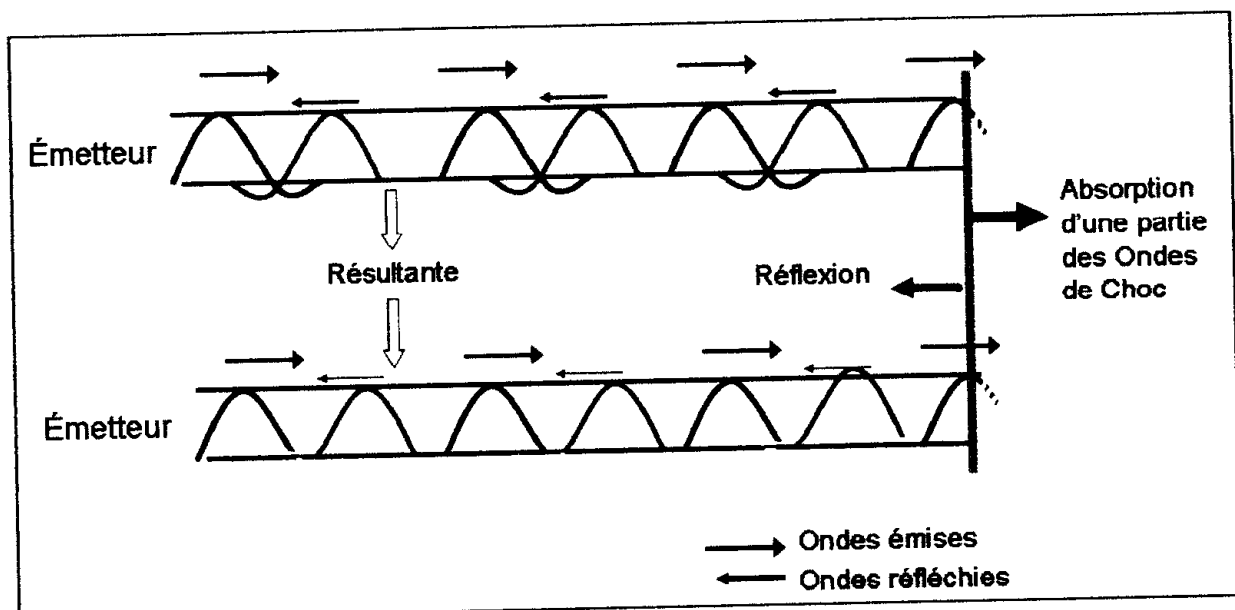


Fig 2 : Schéma illustrant le phénomène de réflexion des ondes , et d'annulation d'une partie de l'onde.

Les ondes de choc sont des infrasons, donc à la différence des ondes ultrasonores, utilisées dans un but diagnostic (échographie) ou thérapeutique, elles ne produisent pas de chaleur. Ces ondes ne se déplacent pas selon un schéma sinusoïdal, et les phases ascendantes et descendantes sont de durées différentes dans les ondes de choc.

Les paramètres physiques qui caractérisent chaque onde de choc sont :

- La pression positive maximale (P+) est la différence entre la pression positive maximale de l'onde de choc avec la pression atmosphérique. P+ atteint des valeurs comprises entre 5 Méga pascals (Mpa) et 120 Mpa
- La pression négative maximale (P-) correspond à la pression négative maximale de l'onde de choc, pendant la phase de tension. Elle atteint des valeurs comprises entre 10% et 20% de P+.
- Le temps d'augmentation de pression (Tr) : il est défini comme l'intervalle de temps pour lequel la pression monte de 10% de P+ à 90% de P+. Tr est en général compris entre 1 et 500 ns.
- L'amplitude du choc (Tw) est l'intervalle de temps au cours duquel la pression passe de 50% de P+ pendant la première phase puis tombe en dessous de 50% de P+ pendant la phase de décroissance de l'onde de choc. Dans la plupart des cas, l'amplitude du choc est comprise entre 200 et 500ns. Cette valeur influence directement la densité du flux d'énergie. (Gerdesmeyer, Maier et al., 2002)

Comme toute onde sonore elles ne se transmettent pas dans le vide. On cherche donc à avoir un contact étroit entre le générateur d'ondes de choc et le milieu à traiter, de façon à limiter les pertes d'ondes liées à une moins bonne transmission dans l'air.

#### Utilisation des ondes de choc extracorporelles en thérapeutique :

Dans le cas des ondes utilisées en thérapeutique, le récepteur correspond au tissu lésé, que l'on cherche à traiter. Quant au générateur, il en existe différents types, mais tous permettent la transformation d'une énergie mécanique ou électrique en ondes électro-acoustiques.

Si on adapte l'image de l'avion supersonique aux ondes de choc thérapeutiques, l'avion étant le générateur d'ondes, les ondes de chocs sont créées lorsque la fréquence d'émission des ondes (quelle que soit la façon dont ces ondes sont produites) est supérieure à leur vitesse de propagation.

Enfin, il est important, de préciser que les ondes de choc extracorporelles sont générées à l'extérieur du patient, et qu'il va leur falloir traverser différents tissus avant d'atteindre le tissu cible à traiter.



## **B/ Les générateurs d'ondes de choc utilisés en thérapeutique**

Il existe deux grandes classes de générateurs d'ondes de choc : soit les ondes sont focalisées sur la lésion à traiter, soit elles diffusent de façon radiale, et agissent sur toute une bande de tissu.

### **1/ Les ondes de choc focalisées :**

#### **a/ définitions :**

On appelle foyer d'un appareil générateur d'ondes de choc l'endroit où les ondes sont émises (premier foyer), et l'endroit où elles se rencontrent pour être focalisées (deuxième foyer). Ce deuxième foyer est parfois également appelé focus de l'appareil.

Un appareil générateur d'ondes de choc émet des ondes à partir d'une zone (premier foyer) ou de plusieurs zones. La réunion de toutes les ondes émises au point focal de l'appareil permet d'annuler ou de limiter les composantes latérales des ondes émises : l'onde est alors focalisée.

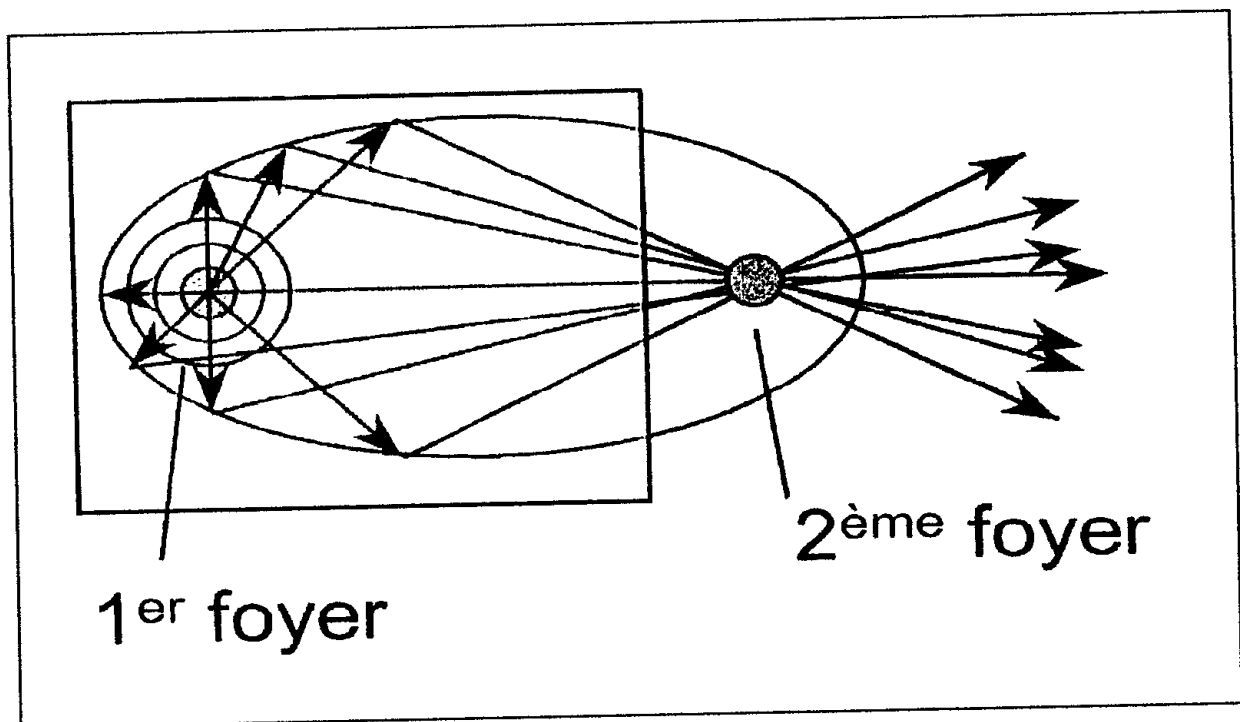


Fig 3 : Schéma focalisation des ondes schéma

D'après EMS Swiss Dolor Clast Vet, lors d'une présentation des ondes de choc extracorporelles réalisée en 2006

On peut calculer la distance entre la zone de tissu à traiter, et l'émetteur, de telle façon que le second point focal se trouve à l'endroit de la lésion sur laquelle vont se concentrer alors toutes les forces de pression. C'est pourquoi la lésion doit être préalablement localisée de la façon la plus précise car, une fois focalisées, toute la puissance de l'énergie mécanique des ondes sera concentrée

en ce point et les risques de lésions induites sur un tissu sain sont importants.  
(cf. notion cavitation)

### **b/ les différents appareils générant des ondes de choc focalisées**

Les générateurs d'ondes de choc sont constitués de trois parties : une source d'énergie électrique, un mécanisme de conversion électro-acoustique, et un dispositif de focalisation des ondes de choc. Il en existe actuellement trois types :

(Brissot, Lobel, 2004)

\_ Générateurs utilisant l'effet piézo électrique :

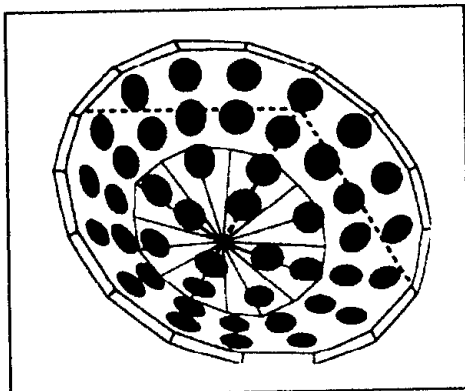
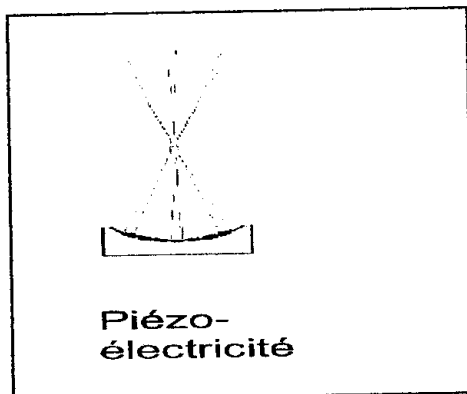


Fig 4 : Représentation simplifiée d'un générateur d'ondes de choc focalisées, avec un mécanisme piézoélectrique  
McClure, 2002

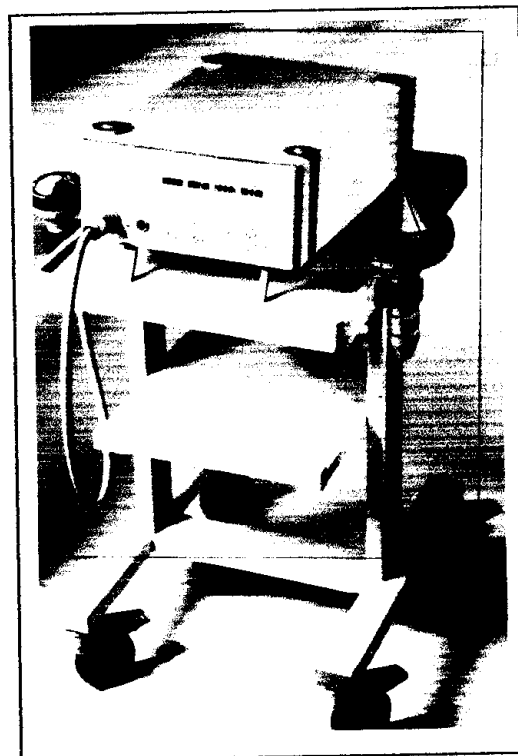


Fig 5 : Photo d'un Piezovet ®

L'effet piézoélectrique est du à la propriété de certains cristaux de se dilater et de revenir à la normale sous l'effet d'un courant électrique alternatif.

Par conséquent les systèmes piézoélectriques utilisent des matériaux cristallins, qui, lorsqu'ils sont stimulés par un courant de haut voltage, peuvent se

dilater ou se contracter, ce qui initie une onde de pression dans le fluide environnant.

Les cristaux sont placés sur un support semi-sphérique, de façon à ce que les ondes de pression soient dirigées vers un point focal. (McClure, 2002)

- Générateurs utilisant l'effet électromagnétique :

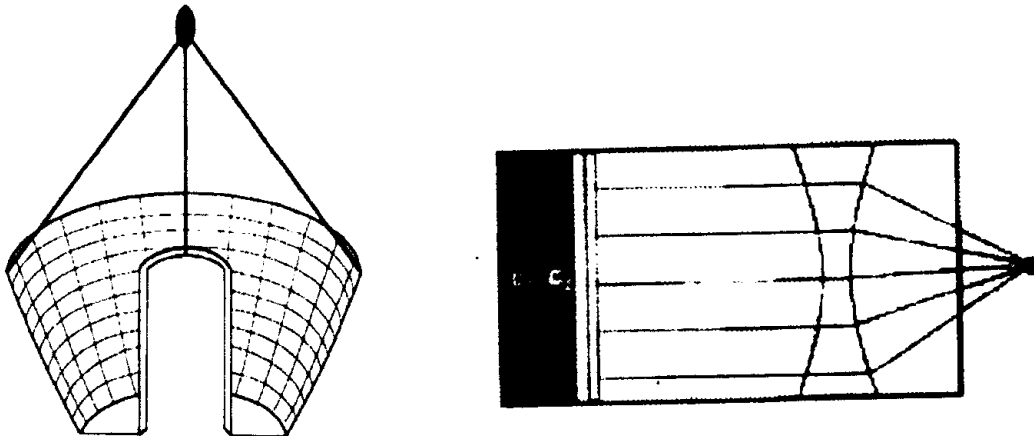


Fig 6 : Représentation simplifiée d'un générateur d'ondes de choc focalisées avec un mécanisme électromagnétique

McClure, 2002

Le principe est ici de créer deux champs magnétiques opposés, qui font bouger de façon cyclique une membrane immergée dans un fluide. On utilise pour cela deux bobines qui créent ces champs magnétiques lorsqu'on leur applique un courant électrique de haute fréquence (McClure, 2002). L'énergie électromagnétique est convertie en ondes de choc sonores par un convertisseur acoustique. (Lischer et al., 2002)

Les ondes de pression créées sont réfléchies par une sorte de « miroir » parabolique, ou traversent une lentille acoustique, de façon à les focaliser. (McClure, 2002) Ce système est en général couplé à une sonde échographique qui permet de définir de façon précise la cible à traiter. (Lischer et al., 2002)

- Générateurs utilisant l'effet hydroélectrique :

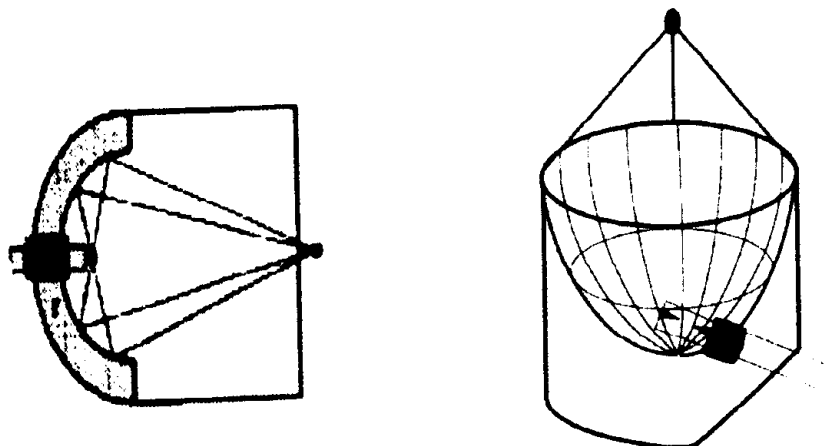


Fig 7 : Représentation simplifiée d'un générateur d'ondes de choc focalisées avec un mécanisme électrohydraulique

McClure, 2002

La méthode électrohydraulique met en jeu un arc électrique de haut voltage. Celui-ci génère des bulles de plasma (ce sont des bulles de molécules ionisées) qui compriment le liquide, initiant alors une onde de pression. (McClure, 2002)

Les ondes de choc ainsi générées sont dites sphériques, et elles sont libérées entre deux électrodes, puis réfléchies sur une ellipse métallique de façon à être focalisées sur la zone à traiter. (Lischer et al., 2002)

Chaque mécanisme crée une onde de choc de forme et de densité énergétique qui lui est propre, et on aboutit donc à une variation de la taille du focus (McClure, 2002), et donc à une variation des effets tissulaires selon le générateur utilisé. Mais, quel que soit le moyen de création de l'onde un principe reste constant : à chaque fois, on libère des salves d'énergie cinétiques, qui se transmettent de proche en proche.

### ***c/ Limites liées à l'utilisation des ondes de choc focalisées :***

Avant toute application d'ondes de choc focalisées, il est nécessaire de localiser de façon précise la lésion. Mais on ignore encore le degré de précision à exiger lors de la détermination de la lésion.

D'après McClure (2002), lorsque la lésion est correctement diagnostiquée et située, le traitement n'a pas d'effets délétères régionaux ou systémiques. Il ajoute que, bien souvent, ce sont les outils d'imagerie qui créent un facteur limitant à la bonne utilisation des ondes de choc focalisées. L'idéal en effet serait

non pas d'avoir une image bidimensionnelle de la lésion, mais une visualisation tridimensionnelle afin de pouvoir utiliser pleinement les ondes de choc.

Or, actuellement, les vétérinaires utilisent soit des images radiographiques, soit un diagnostic échographique pour localiser la lésion, et s'arrêtent donc à une localisation bidimensionnelle du site à traiter. Ils n'ont donc qu'une grossière évaluation de l'aire lésée et peuvent donc créer des lésions dans des tissus sains en appliquant le traitement sur une zone plus large que nécessaire. Toutefois, il est important ici de signaler que cela reste quand même assez rare aux doses d'énergie préconisées dans le traitement des affections locomotrices.

Par conséquent, lors de traitement de lésions nécessitant l'utilisation de hautes énergies, il est bon de garder un guide échographique en parallèle de l'application des ondes de choc, de façon à ne pas « traiter » les tissus sains environnant la lésion. (McClure et al., 2003)

Il existe à ce jour trois types de générateurs d'ondes de choc focalisées : électro-hydrauliques, piézo-électriques, électro-magnétiques. Ces appareils délivrent des ondes de forte énergie, et nécessitent un repérage préalable de la lésion à traiter. Les ondes de choc sont ainsi focalisées sur cette lésion de façon à assurer une concentration d'énergie maximale au niveau de la zone à atteindre.

## 2/ Les ondes de choc radiales :

Ce type d'onde est qualifié de radial parce que les ondes créées se transmettent le long d'un axe. Elles sont émises à partir d'un point précis, le foyer. Avec ce type d'appareil, le foyer est l'extrémité de la pièce à main, à l'endroit où l'onde de choc est formée, et à partir duquel elle se propage dans les tissus.

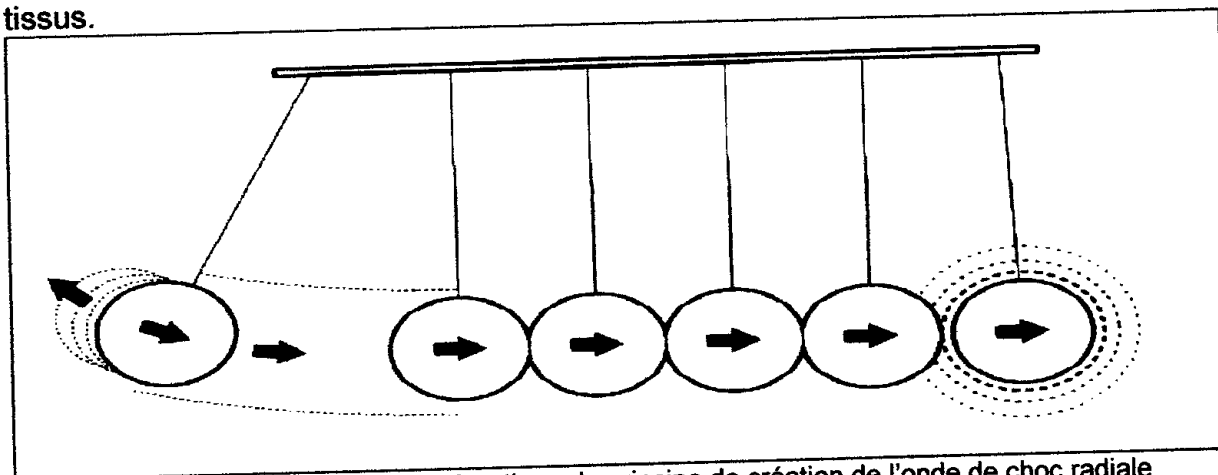


Fig 8 : Représentation schématique du principe de création de l'onde de choc radiale

schéma D'après EMS, Brochure explicative publiée en 2006

Le choc est créé par une décharge pneumatique, qui libère de l'air sous pression contre une tige métallique, laquelle est envoyée contre une cible ; cette cible constitue le foyer du générateur.

On obtient alors une onde de pression sur la peau et le tissu sous-cutané.

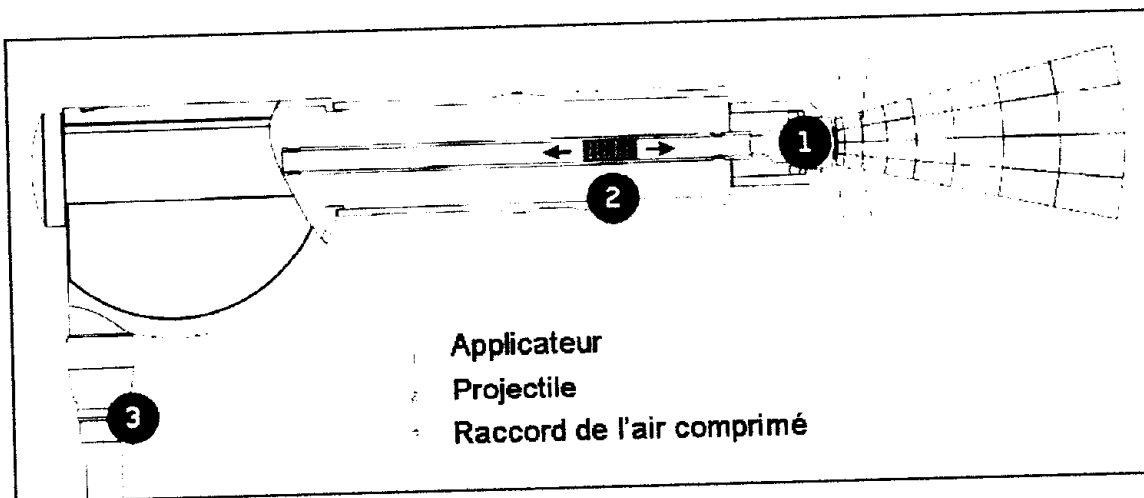


Fig 9 : Création de l'onde de choc radiale dans la pièce à main de l'appareil Swiss DolorClast Vet®

schéma d'après EMS médical, Brochure explicative publiée en 2006

Les fabricants des appareils à Ondes de choc radiales proposent en général un embout ou une pièce à main spécifiques qui permettrait de concentrer les ondes sur la zone à traiter, sans que cela ne les transforme pour autant en de véritables ondes focalisées.

La pénétration des ondes de chocs radiales est moins profonde et l'énergie libérée plus faible qu'avec les appareils à ondes de choc focalisées. Cette énergie décroît proportionnellement au carré de la distance parcourue. (McClure, 2002). L'efficacité maximale est estimée pour une pénétration de 3 à 3,5 cm de profondeur (Savalli, 2004). En pratique, cette profondeur d'action est suffisante pour le traitement de la majorité des affections susceptibles d'être traitées au moyen des ESWT chez le chien.

Lors de l'application des ondes de choc radiales, il est primordial de garder le meilleur contact possible entre la peau du patient et l'appareil, pour limiter au maximum la déperdition d'énergie dans l'air.

La production d'ondes de choc radiales est purement mécanique. Elle se fait grâce à la percussion d'un nez métallique d'un appareil à main par une bille d'acier, propulsée par de l'air comprimé. L'énergie délivrée s'épuise rapidement, sous la forme d'un gradient en forme de cône, d'une hauteur de 3 à 3,5cm. (Savalli, 2004)

### 3/ Bilan : principales caractéristiques des ondes de choc radiales et focalisées

Thérapie par :	Ondes de choc focalisées	Ondes de choc radiales
Ondes	Focalisées	Non focalisées
Point d'énergie maximale	Au focus de l'appareil	A la surface cutanée
Pression atteinte	Jusqu'à 100BarsJ	Jusqu'à 10 Bars
Temps d'augmentation de la pression	Inférieur à 1 $\mu$ s	1000 $\mu$ s
Onde de pression en fonction du temps		
Diagramme de la concentration de l'onde dans les tissus		

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des ondes de choc focales et radiales

d'après McClure S., 2002

## **C/ Propagation des ondes de choc et interactions avec le milieu**

### **1/ Définition :**

L'impédance acoustique (Z) d'un tissu est sa capacité à arrêter, à absorber des ondes. C'est une notion qui se rapproche de la résonance naturelle des matériaux, car quand un matériau entre en résonance, il absorbe de l'énergie.

Les caractéristiques d'impédance sont propres à chaque milieu. Lorsqu'une onde arrive sur un récepteur avec une certaine fréquence, et que cette fréquence est la fréquence naturelle de vibration du récepteur, celui-ci entre en résonance. L'énergie transportée par l'onde est alors absorbée. A l'inverse lorsque les fréquences sont différentes, l'onde se propage dans la matière.

Plus l'impédance d'un tissu est importante, plus sa capacité à absorber l'énergie transportée par l'onde est grande. De plus, quand l'impédance d'un matériel est très grande, celui-ci a une grande propension à dévier les ondes, donc on assiste à un relarguage d'énergie.

<b>Tissu</b>	<b>Impedance acoustique [x 10<sup>3</sup> Ns/m<sup>3</sup>]</b>
Air	429
Poumon	260-460
Graisse	1 380
Eau	1 480
Rein	1 630
Muscle	1 650-1 740
Os	3 200-7 400
Urolithe	5 600-14 400

Tableau 2 : Impédance des milieux vivants

D'après McClure, 2002

Les ondes de choc se propagent dans les trois dimensions de l'espace, et sont déviées sur le bord des zones de changements d'impédances, avec entre autres des phénomènes de réflexion et de réfraction des ondes. Le résultat est une libération d'énergie cinétique au niveau de ces jonctions tissulaires, et c'est ce phénomène qui est la cause des altérations tissulaires (McClure, 2002). Le rendu d'énergie cinétique transportée par les ondes de choc se fait donc au niveau des interfaces entre les tissus d'impédances différentes.

Cette notion d'impédance des tissus est le principe central qui permet d'expliquer l'action des ondes de chocs. En effet, elles agissent essentiellement sur les zones de changement d'impédance (McClure, 2002), par exemple, aux interfaces entre l'os et les tissus mous (jonctions os-tendon ou os-ligament), ou



aux passages entre zones saines et zones cicatricielles (muscle sain-muscle fibrosé).

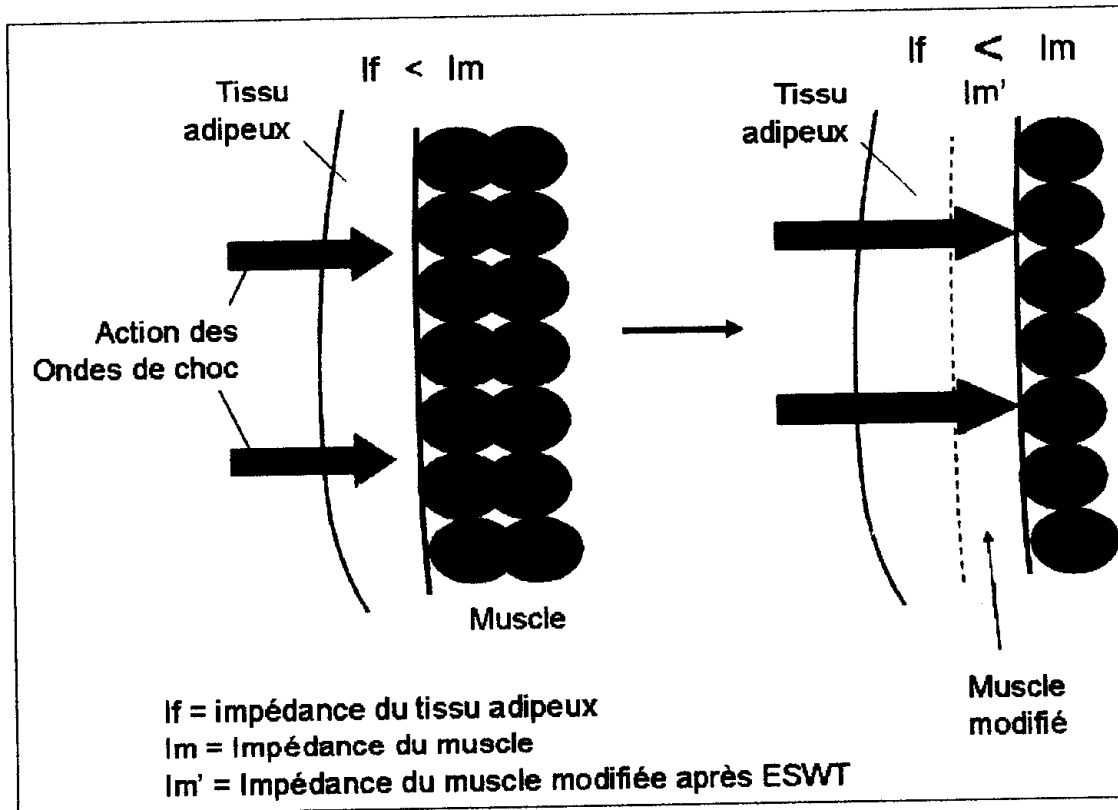


Fig 10 : Schéma illustrant l'action des ondes de choc aux lieux de changement d'impédance acoustique.

Lorsque l'onde de choc arrive à l'interface entre deux tissus d'impédance acoustique différente, une partie de l'onde est transmise et l'autre est réfléchi.

Plus la différence d'impédance est grande, plus la réflexion de l'onde est importante.

L'énergie ainsi dissipée produit des forces de cisaillement, qui, lorsqu'elles dépassent les capacités élastiques du tissu, rompent celui-ci.

Les ondes de chocs pénètrent les tissus, et sont absorbées par les premières couches du tissu sur lequel on désire agir. Ces couches entrent en résonance, et absorbent l'énergie cinétique de l'onde. A force d'accumulation de cette énergie, ces couches sont détruites, donc elles changent d'impédance et les ondes peuvent agir plus profondément.

Les tissus sains sont a priori protégés, car leurs propriétés élastiques sont différentes de celles des tissus lésés et l'action des ondes de choc n'est donc pas la même.