

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Année 2007 - Thèse n° ...

***PLACE DE L'ECHOGRAPHIE DANS LE DIAGNOSTIC DES
RUPTURES DU LIGAMENT CROISE CRANIAL CHEZ LE
CHIEN :
ETUDE CLINIQUE SUR TREIZE CHIENS***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I

(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 17 septembre 2007

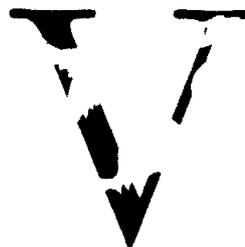
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Emilie KRAFFT

Née 10 août 1984

à Mulhouse



ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Année 2007 - Thèse n° ...

***PLACE DE L'ECHOGRAPHIE DANS LE DIAGNOSTIC DES
RUPTURES DU LIGAMENT CROISE CRANIAL CHEZ LE
CHIEN :
ETUDE CLINIQUE SUR TREIZE CHIENS***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 17 septembre 2007
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Emilie KRAFFT
Née 10 août 1984
à Mulhouse



REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur ITTI, de la Faculté de médecine de Lyon,
Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse,
Tous mes hommages les plus respectueux.

A Monsieur le Professeur Viguié, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,
Qui m'a guidée durant la réalisation de ce travail,
En témoignage de ma gratitude et de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Genevois, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,
Qui a accepté de participer à notre jury de thèse,
Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude.

Au Docteur Carozzo, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,
Qui nous a proposé ce travail et encadrée durant sa réalisation,
Pour sa gentillesse, sa patience et sa bonne humeur,
Sincère reconnaissance.

Aux Docteurs Sonnet et Arnault,
Qui se sont investis dans la réalisation des échographies,
Sincères remerciements.

A toute l'équipe de chirurgie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,
Qui a collaboré activement à ce travail,
Sincères remerciements.

Au Docteur Rigout-Paulik, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,
Pour sa disponibilité et son enthousiasme,
Sincères remerciements.

A mes parents, pour votre patience (un jour, j'arriverais à faire un choix) et votre soutien dans les moments difficiles et les autres. Merci pour vos conseils avisés, que je ne suis pas toujours, mais sans lesquels je serais perdue. Merci d'être là, je vous aime.

A mes amis,

A Chloé, colocataire et confidente. La gentillesse incarnée. Ni les années et ni la distance n'auront d'effet. Tu me manques.

A Emilie, parce qu'avec toi rien ne change et que notre amitié est toujours celle qu'elle a été. On ne se voit pas assez souvent et pourtant on se comprend si bien.

A Amélie M, de bon conseil. Cela dit, une certaine expérience avec un mur nous l'a appris, tu caches bien ton jeu.

A Maud, toujours partante !!

A Amélie K, partenaire d'expatriation. On s'éloigne, on se rapproche mais je ne serais jamais loin.

A Lorys, encore là neuf ans plus tard, et à tout ce que l'on ne se dit pas.

A Caro, que l'on ne voit pas assez souvent.

A Fanny, qui se cherche.

A Marion, qui se trouve.

A Mariam, puis-je t'avoir aidée comme tu l'avais fait pour moi en ces temps de prépa. Bonne continuation.

A tous les autres : Pin (Papa !), Nufar, Marie notre poulotte, Anne, Bruno, Laurianne, Laure, Grand et à tout ceux que j'oublie.

A ceux du Québec

A Francis, parce que je lui avais promis (et pour End note en autre)

A Emmanuelle, merci pour ton aide

Aux Docteurs Isabelle et Jean Papadopoulos, Martine et Gerard Lennoz, Céline Porret, pour votre disponibilité et votre accueil chaleureux, pour tout ce que vous m'avez appris et pour m'avoir fait confiance.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
1. ECHOGRAPHIE DU GRASSET CHEZ LE CHIEN : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1.1. BASES PHYSIQUES ET TECHNIQUES DE L'ECHOGRAPHIE MEDICALE	3
<i>1.1.1 Emission des ultrasons.....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.2. Propagation des ultrasons et formation des échos.....</i>	<i>4</i>
1.1.2.1. Réflexion et réfraction	5
1.1.2.2. Absorption - Atténuation	7
1.1.2.3. Diffusion	8
<i>1.1.3. Réception des échos et formation de l'image</i>	<i>8</i>
<i>1.1.4. Facteurs de qualité de l'image</i>	<i>10</i>
1.1.4.1. Réglage de la dimension de l'image	10
1.1.4.2. Résolution spatiale	11
1.1.4.3. Résolution en densité	12
1.1.4.3.1. Echelle de gris.....	12
1.1.4.3.2. Réglage des gains.....	12
1.1.4.3.3. Rejet.....	13
1.1.4.4. Amortissement	13
1.1.4.5. Contrôle de la visualisation.....	13
1.1.4.5.1. Brillance ou luminosité	13
1.1.4.5.2. Contraste	14
1.1.4.5.3. Gel de l'image.....	14
1.2. ECHOGRAPHIE ARTICULAIRE	14
<i>1.2.1. Choix du matériel en échographie articulaire.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.2. Echo-anatomie</i>	<i>15</i>
1.2.2.1. Structures péri-articulaires	15
1.2.2.1.1. Peau.....	15
1.2.2.1.2. Tissu sous-cutané	15
1.2.2.1.3. Muscles	15
1.2.2.1.4. Tendons.....	16
1.2.2.2. Structures articulaires.....	20
1.2.2.2.1. Os épiphysaire.....	20
1.2.2.2.2. Cartilage articulaire.....	23

1.2.2.2.3. Tissus mous.....	24
1.2.3. <i>Intérêts et limites de l'échographie articulaire</i>	28
1.3. ACTUALITES EN ECHOGRAPHIE DU GRASSET CHEZ LE CHIEN	28
1.3.1. <i>Rappel d'anatomie du grasset</i>	29
1.3.1.1. L'articulation fémoro-tibiale.....	30
1.3.1.1.1. Les surfaces articulaires.....	31
1.3.1.1.2. Les ménisques.....	31
1.3.1.1.3. Les moyens d'union.....	32
1.3.1.2. L'articulation fémoro-patellaire	34
1.3.1.2.1. Les surfaces articulaires.....	34
1.3.1.2.2. Les moyens d'union.....	34
1.3.1.3. Les synoviales du grasset.....	35
1.3.2. <i>Préparation de l'examen</i>	35
1.3.3. <i>Echographie du grasset sain</i>	36
1.3.3.1. Surfaces articulaires	36
1.3.3.1.1. Articulation fémoro-tibiale	37
1.3.3.1.2. Articulation fémoro-patellaire.....	39
1.3.3.2. Formations complémentaires : les ménisques.....	42
1.3.3.2.1. Ménisque latéral.....	42
1.3.3.2.2. Ménisque médial.....	45
1.3.3.3. Moyens d'union	45
1.3.3.3.1. Capsule articulaire	45
1.3.3.3.2. Ligaments croisés.....	46
1.3.3.3.3. Ligaments collatéraux	49
1.3.3.3.4. Ligament patellaire	49
1.3.3.4. Tendons.....	50
1.3.3.4.1. Tendon du muscle quadriceps.....	50
1.3.3.4.2. Tendon du muscle extenseur commun des doigts.....	51
1.3.3.4.3. Tendon du muscle poplité.....	52
1.3.3.5. Moyens de glissement : les synoviales.....	52
1.3.3.5.1. Membrane synoviale.....	52
1.3.3.5.2. Liquide synovial	52
1.3.3.6. Coussinet graisseux.....	53
1.3.3.7. Conclusion : exploration échographique codifiée du grasset.....	54
1.3.4. <i>Echographie du grasset pathologique</i>	57
1.3.4.1. Lésions ligamentaires.....	57
1.3.4.1.1. Lésions du ligament croisé crânial.....	57
1.3.4.1.2. Lésions du ligament croisé caudal	60
1.3.4.1.3. Lésions des ligaments collatéraux.....	60

1.3.4.1.4. Lésions du ligament patellaire	60
1.3.4.2. Lésions méniscales.....	61
1.3.4.3. Lésions ostéocartilagineuses	64
1.3.4.3.1. Arthrose	64
1.3.4.3.2. Ostéochondrose - ostéochondrite disséquante.....	66
1.3.4.4. Lésions capsulo-synoviales.....	67
1.3.4.4.1. Synovite	67
1.3.4.4.2. Lésions capsulaires	68
1.3.4.4.3. Arthrite septique	69
1.3.4.5. Lésions tendineuses.....	69
1.3.4.5.1. Lésion du tendon du muscle extenseur commun des doigts	69
1.3.4.5.2. Lésion du tendon du muscle poplité.....	69
1.3.4.6. Modification du coussinet graisseux.....	69

2. ETUDE CLINIQUE SUR TREIZE CHIENS..... 71

2.1. OBJECTIF.....	71
2.2. MATERIELS ET METHODES.....	71
2.2.1. <i>Animaux choisis</i>	71
2.2.1.1. Critères d'inclusion	71
2.2.1.2. Critères d'exclusion	72
2.2.2. <i>Echographie du grasset</i>	72
2.2.3. <i>Exploration per-opératoire</i>	73
2.2.4. <i>Création des fiches d'évaluation</i>	73
2.2.5. <i>Analyse statistique</i>	74
2.3. RESULTATS	74
2.3.1. <i>Evaluation du ligament croisé crânial</i>	75
2.3.1.1. Observations cliniques	75
2.3.1.2. Observations échographiques.....	75
2.3.1.3. Observations per-opératoires	76
2.3.1.4. Synthèse	76
2.3.2. <i>Evaluation des ménisques</i>	76
2.3.2.1. Observations cliniques	76
2.3.2.2. Observations échographiques.....	76
2.3.2.3. Observations per-opératoires	77
2.3.2.4. Synthèse	77
2.3.3. <i>Evaluation des synoviales</i>	78
2.3.3.1. Observations échographiques.....	78

2.3.3.2. Observations per-opératoires	78
2.3.3.3. Synthèse	79
2.3.4. <i>Evaluation des ligaments patellaire et collatéraux</i>	79
2.3.5. <i>Evaluation des surfaces osseuses</i>	79
2.3.5.1. Observations échographiques.....	79
2.3.5.2. Observations per-opératoires	80
2.3.5.3. Synthèse	80
2.3.6. <i>Evaluation des tendons</i>	81
2.4. DISCUSSION	81
2.4.1. <i>Choix du matériel</i>	81
2.4.2. <i>Animaux utilisés</i>	82
2.4.3. <i>Critique de la méthode</i>	82
2.4.3.1. Evaluation échographique.....	82
2.4.3.2. Evaluation per-opératoire.....	83
2.4.4. <i>Critique des résultats</i>	83
2.4.4.1. Valeur diagnostique de l'échographie lors de pathologie du grasset avec une sonde de 8-16MHz.....	83
2.4.4.1.1. Valeur diagnostique de l'échographie lors de rupture du ligament croisé crânial	83
2.4.4.1.2. Valeur diagnostique de l'échographie lors de lésions méniscales.....	84
2.4.4.1.3. Valeur diagnostique de l'échographie lors de lésions synoviales	85
2.4.4.1.4. Valeur diagnostique de l'échographie lors de lésions des ligaments collatéraux..	85
2.4.4.1.5. Valeur diagnostique de l'échographie lors de lésions ostéocartilagineuses	86
2.4.4.1.6. Valeur diagnostique de l'échographie lors de lésions tendineuses	86
2.4.4.2. Comparaison de l'échographie avec d'autres examens complémentaires	86
2.4.4.2.1. Radiographie du grasset.....	88
2.4.4.2.2. Tomodensitométrie	93
2.4.4.2.3. IRM.....	94
2.4.4.2.4 Analyse du liquide synovial.....	98
2.4.4.2.5. Arthroscopie.....	98
2.4.4.2.6 Arthrotomie.....	102

CONCLUSION..... 105

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES FIGURES

Les images échographiques sont présentées avec l'extrémité crâniale du membre située à gauche de l'image.

Figure 1 : Caractéristiques du son	4
Figure 2 : Les lois de Descartes appliquées à l'échographie.....	5
Figure 3 : Problème lié à une mauvaise incidence du faisceau d'ultrasons	6
Figure 4 : Atténuation du signal par le tissu osseux.....	7
Figure 5 : Représentation d'une sonde linéaire (A) et d'une sonde sectorielle (B).	10
Figure 6 : Principe du gain par niveau.....	13
Figure 7 : Image échographique normale de la peau, du tissu sous-cutané et du muscle	16
Figure 8 : Image échographique normale d'un tendon en coupe longitudinale	17
Figure 9 : Image échographique normale d'un tendon en coupe transversale	18
Figure 10 : Rupture tendineuse, hématome.....	19
Figure 11 : Ténosynovite.....	20
Figure 12 : Image échographique normale de l'os	21
Figure 13 : Ostéochondrite disséquante sur la tête humérale	22
Figure 14 : Ostéophytes.....	23
Figure 15 : Image échographique normale du cartilage	24
Figure 16 : Image échographique normale d'un ligament.....	26
Figure 17 : Vue latérale d'un grasset gauche de chien.....	29
Figure 18 : Vue latérale d'un grasset gauche de chien (la capsule articulaire a été enlevée)...	30
Figure 19 : Vue crâniale du grasset gauche de chien (la capsule articulaire a été enlevée).....	30
Figure 20 : Les ménisques du grasset.....	31
A : Vue proximale B : Coupe transversale.....	31
Figure 21 : Grasset gauche d'un chien. Articulation fléchie, vue crâniale.....	33
Figure 22 : Articulation du grasset de chien, vue proximale du plateau tibial après désarticulation.....	34
Figure 23 : Les synoviales du grasset de chien	35
Figure 24 : Condyle fémoral latéral, abord crânial.....	37
Figure 25 : Tubérosité tibiale	39
Figure 26 : Patella, vue supra-patellaire sagittale.....	40
Figure 27 : Patella, vue infra-patellaire sagittale.....	40
Figure 28 : Trochlée, coupe longitudinale.....	41

Figure 29 : Trochlée, coupe transversale.....	42
Figure 30 : Ménisque latéral, abord latéral sagittal	43
Figure 31 : Ménisque latéral, abord caudal sagittal.....	44
Figure 32 : Ménisque médial, abord médial sagittal	45
Figure 33 : Capsule articulaire, vue suprapatellaire sagittale.....	46
Figure 34 : Ligament croisé crânial.....	47
Figure 35 : Ligament patellaire, coupe longitudinale.....	49
Figure 36 : Tendon du muscle quadriceps, coupe longitudinale	50
Figure 37 : Tendon du muscle quadriceps, coupe transversale	51
Figure 38 : Tendon du muscle extenseur commun des doigts.....	51
Figure 39 : Tendon du muscle poplité.....	52
Figure 40 : Liquide synovial, récessus supra-patellaire	53
Figure 41 : Coussinet graisseux.....	54
Figure 42 : Ligament croisé crânial rompu (rupture ancienne), extrémité tibiale.....	58
Figure 43 : Lésions méniscales.....	63
Figure 44 : Ménisque latéral hétérogène et luxé	63
Figure 45 : Ostéophytes en regard de la trochlée	66
Figure 46 : Lésion d'ostéochondrite disséquante sur le condyle fémoral latéral	67
Figure 47 : Récessus supra-patellaire distendu par du liquide synovial.....	68
Figure 48 : Rupture totale du ligament croisé crânial, cas 8	75
Figure 49 : Lésion en regard de la corne caudale du ménisque médial, cas 4.....	77
Figure 50 : Ligament collatéral latéral	79
Figure 51 : Ostéophytes grade 2, cas 4.....	80
Figure 52 : Bursite en regard du tendon du muscle extenseur commun des doigts, cas 3	81
Figure 53 : Modifications radiographiques lors de rupture ancienne du ligament croisé crânial, vues médio-latérale (à gauche) et crânio-caudale (à droite).....	91
Figure 54 : IRM d'un grasset de chien, coupe para sagittale	95
Figure 55 : Arthroscopie du ménisque médial	99

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I : Célérité du son en fonction du milieu	4
Tableau II : Coefficient de réflexion en incidence normale en fonction de l'interface acoustique	6
Tableau III : Coefficient d'atténuation en fonction du milieu traversé	8
Tableau IV : Résolution axiale d'une sonde en fonction de sa fréquence.....	11
Tableau V : Résolution latérale d'une sonde en fonction de sa fréquence.....	11
Tableau VI : Morphologie échographique normale d'un muscle.....	16
Tableau VII : Morphologie échographique normale d'un tendon en coupe longitudinale	17
Tableau VIII : Morphologie échographique normale de l'os	21
Tableau IX : Exploration échographique codifiée du grasset	54
Tableau X : Résumé des structures visibles lors de l'échographie du grasset	56
Tableau XI : Chronologie des phénomènes dégénératifs lors de rupture du ligament croisé crânial	59
Tableau XII : Sensibilité et spécificité du claquement méniscal.....	77
Tableau XIII : Sensibilité et spécificité de l'échographie pour les lésions méniscales.....	78

TABLE DES ABREVIATIONS

coll. : collaborateurs
cond lat : condyle latéral du fémur
couss ad : coussinet adipeux
d : droite
dte : droite
ECD : tendon du muscle long extenseur commun des doigts
ENVL : Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon
ext d : tendon du muscle long extenseur commun des doigts
ext long : tendon du muscle long extenseur commun des doigts
f : fréquence
fem : fémur
fig : figure
FN : faux négatif
FP : faux positif
g : gauche
hum : humérale
IRM : imagerie par résonance magnétique
lcc : ligament croisé crânial
LCCd : ligament croisé caudal
LCL : ligament collatéral latéral
LCM : ligament collatéral médial
lig tib pat : ligament tibio-patellaire
m. : muscle
men med : ménisque médial
men lat : ménisque latéral
men lat cdal : ménisque latéral corne caudale
ocd : ostéochondrite disséquante
pat : patella
qua : quadriceps
rec sp : récessus synovial suprapatellaire
Se : sensibilité
ses lat : sésamoïde supracondyloire latéral
Sp : spécificité
ten pop : tendon du muscle poplité
TC : tissu conjonctif
tdon long ext : tendon du muscle long extenseur des doigts
tib : tibia
trelee : trochlée fémorale
VN : vrai négatif
VP : vrai positif
Z : impédance acoustique
 λ : longueur d'onde

ANNEXES

Annexe 1 : Méthode d'exploration échographique simplifiée du grasset

Annexe 2 : Fiche d'évaluation échographique

Annexe 3 : Fiche d'évaluation per-opérateur

Annexe 4 : Résultats

INTRODUCTION

L'échographie est une technique d'imagerie basée sur les ultrasons et permet l'étude des structures superficielles et profondes. Dérivée du sonar⁶⁸, elle est étudiée en médecine humaine dès 1958 par Donald⁵³ avec comme première application l'obstétrique. Suite aux avancées techniques, la qualité des images progresse rapidement et l'échographie devient une technique d'imagerie courante en médecine humaine. Utilisée en expérimentation animale dès 1947, il faut attendre les années 1960 pour les premières applications cliniques de l'échographie en médecine vétérinaire. En 1963, Holmes et Howry décrivent son intérêt dans le diagnostic des pathologies abdominales chez le chien et le chat. Elle devient une méthode d'imagerie reconnue pour l'exploration de l'abdomen puis du thorax dans les années 1980⁷⁸. L'échographie est utilisée dès 1984¹⁰¹ chez le cheval pour le diagnostic des lésions tendineuses puis pour l'étude des articulations. C'est donc une technique d'imagerie relativement récente, encore en plein développement. Chez les animaux de compagnie, l'échographie musculo-tendineuse reste confidentielle avec une première application en 1991 pour l'exploration de l'articulation coxo-fémorale chez le chien⁸⁴. L'anatomie échographique du grasset est décrite dès 1995 par Reed⁸⁸, puis Kramer et coll.⁶⁶ appliquent l'échographie au diagnostic des lésions de cette articulation. Le nombre de publications sur ce sujet reste restreint et la radiographie reste l'examen le plus couramment utilisé lors de grasset douloureux.

L'objectif de ce travail est dans un premier temps de fournir toutes les informations nécessaires au praticien pour la réalisation pratique d'une échographie de grasset : principe de l'utilisation des échographes, matériel spécifique à l'exploration articulaire, aspect normal et pathologique en échographie articulaire et méthode d'exploration codifiée du grasset. Dans un second temps, nous présentons une étude clinique sur 13 chiens présentant une rupture partielle ou totale d'un ligament croisé. Basée sur une comparaison entre les observations obtenues par échographie et lors d'une arthrotomie, cette étude vise à déterminer l'intérêt de l'échographie lors de rupture du ligament croisé crânial.

1. Echographie du grasset chez le chien : étude bibliographique

L'échographie est une méthode d'imagerie médicale basée sur la réflexion des ultrasons dans l'organisme : un son émis dans une structure est en partie absorbé et en partie réfléchi, comme par un miroir, en direction de la sonde qui l'a envoyé. L'analyse de cette onde réfléchie et sa traduction sur un écran renseignent sur la structure étudiée. L'onde réfléchie est appelée écho, d'où le terme d'échographie.

1.1. Bases physiques et techniques de l'échographie médicale

L'utilisation de l'échographie nécessite d'en connaître les bases physiques et techniques, afin d'obtenir des images de la meilleure qualité possible et de pouvoir les interpréter.

Le son émis conduit à la mise en mouvement, de manière longitudinale, des particules du milieu de propagation. Il s'agit d'un phénomène vibratoire, avec en un point donné, des phases de dépression et de surpression qui se succèdent.

Trois paramètres, caractérisent l'onde sonore (fig 1) :

- sa fréquence f : elle correspond au nombre de compressions et d'expansions subies par les particules du milieu en une seconde. Elle s'exprime en cycles/secondes ou Hertz (Hz). Les ultrasons sont définis par une fréquence supérieure à 20 000Hz. Le spectre de l'oreille humaine s'étend en moyenne de 30 à 15 000Hz, les ultrasons sont donc inaudibles. En échographie, les fréquences utilisées varient entre 1 et 10MHz.
- sa longueur d'onde λ : elle représente la distance entre deux ondes successives, elle s'exprime en mètre.
- sa vitesse de propagation ou célérité c : elle s'exprime en $m.s^{-1}$

Ces trois paramètres sont reliés par la formule suivante : $c = f * \lambda$

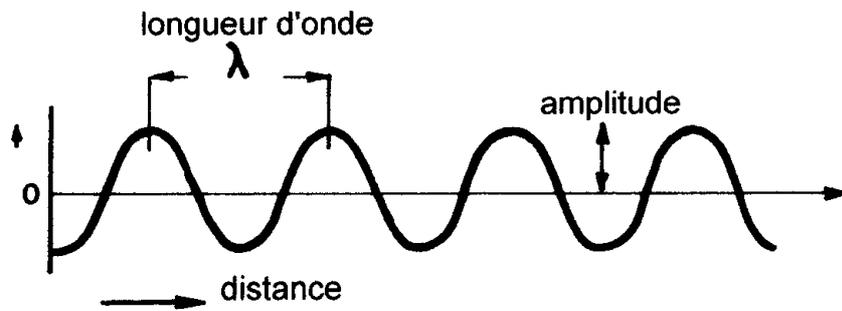


Figure 1 : Caractéristiques du son
d'après⁵⁶

La longueur d'onde et la fréquence sont caractéristiques d'un son alors que la célérité dépend du milieu traversé (tableau I). Ainsi la vitesse de propagation augmente avec la cohésion moléculaire du milieu.

Tableau I : Célérité du son en fonction du milieu
d'après¹⁰⁷

Tissus ou matériaux	Célérité (m.s ⁻¹)
Air	331
Graisse	1450
Eau	1495
Tissus mous (moyenne)	1540
Rein	1561
Muscle	1585
Os	4080

1.1.1 Emission des ultrasons

Le fonctionnement de l'échographe repose sur la transduction, c'est-à-dire la transformation d'une énergie en une énergie d'autre nature : passage d'une énergie électrique en énergie vibratoire (effet pizoélectrique)⁸¹ et inversement. La sonde échographique constitue le système de transduction : elle devient alternativement émettrice puis réceptrice à la fréquence de vibration⁷⁰.

1.1.2. Propagation des ultrasons et formation des échos

Dans les tissus, le faisceau ultrasonore se propage en subissant les phénomènes de réflexion / réfraction permettant l'obtention d'une image et les phénomènes d'absorption et diffraction (ou diffusion)²³ à l'origine d'une atténuation du signal au cours de sa progression.

1.1.2.1. Réflexion et réfraction

Le cheminement des ultrasons est conditionné par l'impédance acoustique Z qui est le produit de la densité du milieu par la célérité du son dans ce milieu. Chaque milieu a donc sa propre impédance acoustique.

$$\text{Impédance acoustique} = \text{densité du milieu} \times \text{célérité du son}$$

La surface de séparation entre deux milieux d'impédances acoustiques différentes (entre deux organes par exemple) est l'interface acoustique. Dans un milieu donné, le train d'ondes ultrasonores se propage en ligne droite. Pour qu'une onde ultrasonore émise soit à l'origine d'une image, il faut qu'elle se réfléchisse au niveau d'une interface acoustique. L'onde réfléchie représente l'écho, le reste des ultrasons traverse l'interface et est réfracté dans le milieu suivant. La partie réfractée, transmise, permet de recevoir des échos provenant de structures plus profondes. L'échographie est ainsi basée sur les lois de Descartes (fig 2).

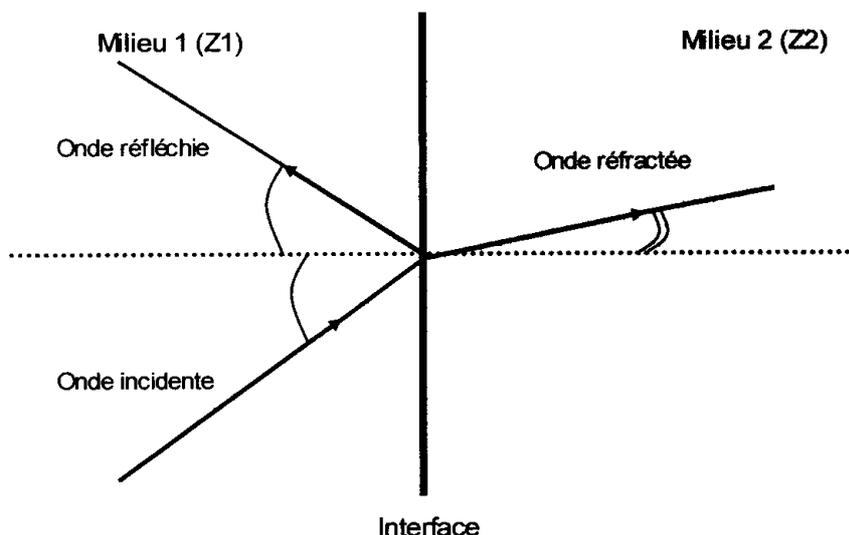


Figure 2 : Les lois de Descartes appliquées à l'échographie
d'après ⁶⁸

L'émetteur et le récepteur étant confondus dans une sonde échographique, le faisceau incident doit être le plus perpendiculaire possible, sinon l'onde réfléchie ne sera pas perçue par la sonde. Il est important de retenir que la sonde doit être orientée perpendiculairement à l'interface donc aux contours des structures à visualiser ²³, sinon l'onde réfléchie est perdue (fig 3).

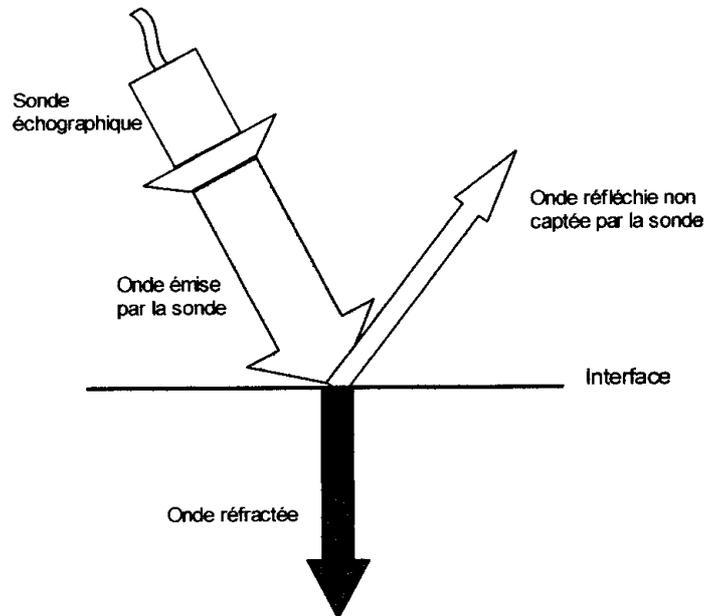


Figure 3 : Problème lié à une mauvaise incidence du faisceau d’ultrasons

En présence d’une interface acoustique, le faisceau ultrasonore généré par l’émetteur peut se comporter de trois manières différentes :

- traverser totalement le tissu sur lequel il est appliqué. N’étant pas réfléchi, il ne génère aucune image sur le récepteur.
- être partiellement arrêté et réfléchi par le tissu sur lequel il est appliqué, il génère alors une image qui dépend de l’impédance acoustique des différentes structures traversées
- ne pas traverser le milieu sur lequel il est appliqué : il est alors totalement réfléchi, ce qui permet la visualisation de la surface du milieu mais ne fournit aucun renseignement sur l’intérieur du tissu.

Le comportement de l’onde ultrasonore en présence d’une interface acoustique dépend de la différence d’impédance acoustique entre les deux milieux : la réflexion est d’autant plus importante que cette différence est importante. Ce phénomène est quantifié par le coefficient de réflexion en incidence normale R (cf tableau II).

Tableau II : Coefficient de réflexion en incidence normale en fonction de l’interface acoustique
d’après ²³

Interface	Coefficient de réflexion en incidence normale
Eau / air	0,9989
Eau / os	0,2899
Tissus adipeux / rein	0,0083

Le coefficient de réflexion en incidence normale au niveau d'une interface tissu / os est de l'ordre de 0,3, c'est-à-dire que l'interface tissus / os laisse passer seulement 1/3 des ultrasons. Une structure située derrière un os est donc masquée (fig 4). Le coefficient de réflexion eau / air est proche de 1 : tout le faisceau émis est réfléchi. La présence d'air entre la sonde et la peau atténue donc la quasi-totalité du signal. En pratique, on utilise un gel échographique. Appliqué entre la sonde et la peau, il élimine l'air et correspond à une couche anti-reflet. L'impédance acoustique du gel est adaptée pour que la transmission des ultrasons entre la sonde et le patient soit optimale²³.

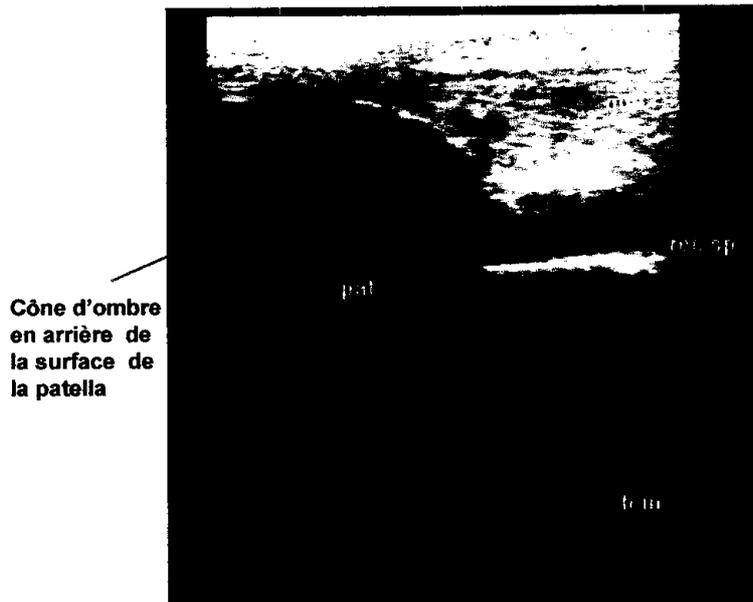


Figure 4 : Atténuation du signal par le tissu osseux
(ENVL, Sonnet)

Au passage de chaque interface, une partie des ultrasons étant réfléchi, le faisceau perd de la puissance. Le faisceau initial, émis par la sonde, doit donc être suffisamment puissant pour qu'il puisse atteindre les interfaces successives.

1.1.2.2. Absorption - Atténuation

L'énergie de l'onde ultrasonore s'atténue au fur à mesure de sa propagation dans l'organisme, et ce de manière exponentielle. Cette atténuation est liée :

- à une absorption d'une partie du faisceau par le milieu²³
- à la réflexion d'une partie de l'onde.

L'atténuation de l'onde ultrasonore dépend :

- de la fréquence d'émission : plus elle augmente plus l'absorption et la réflexion augmentent et moins le pouvoir de pénétration est important²³. Une sonde de 5MHz permettra donc d'observer des organes plus profonds qu'une sonde de 10 MHz.

- de la distance parcourue : plus il y a d'interfaces, plus le faisceau est atténué. Approximativement l'atténuation est de 1db/cm.MHz⁶⁸
- du milieu de propagation : l'atténuation est maximale pour les milieux à très forte (os) ou très faible cohésion moléculaire (air), le tableau III donne ce coefficient pour les principaux milieux.

Tableau III : Coefficient d'atténuation en fonction du milieu traversé
d'après²⁰

Tissus traversés	Coefficient d'atténuation (db/cm.MHz)
Eau	0,002
Sang	0,18
Foie	0,95
Rein	1,0
Os	20,0
Poumon	40,0

Ainsi, l'os et l'air sont défavorables à la propagation de l'onde ultrasonore. L'échographie articulaire ne permettra donc d'explorer que les surfaces osseuses et le meilleur contact sonde / peau devra être obtenu même dans les zones anfractueuses.

1.1.2.3. Diffusion

La diffusion est une réflexion de l'onde ultrasonore dans toutes les directions. Elle est maximale sur les particules dont la taille est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. Ce phénomène de diffusion du faisceau d'ultrasons est à l'origine d'une perte de résolution de l'image avec formation d'échos parasites.

1.1.3. Réception des échos et formation de l'image

Les ondes réfléchies sont captées par la sonde et transformées en courant électrique. Ces impulsions électriques sont amplifiées et traduites sur l'écran d'un oscilloscope. Différentes techniques ont été développées successivement pour analyser les échos reçus par la sonde électronique. Actuellement, en échographie articulaire, le mode BD (= bidimensionnel = en temps réel) est utilisé. Chaque écho correspond à un point dont la brillance est proportionnelle à son intensité. La brillance est traduite à l'écran par une échelle de gris allant du noir (pas de réflexion = anéchogénicité) au blanc (très forte réflexion). Un système de balayage permet ensuite la juxtaposition de tous les points, on obtient une image

dynamique et en temps réel. Cette image est un plan de coupe qui se déplace lorsque l'opérateur modifie la position de la sonde.

Deux types de balayage sont utilisés :

- mécanique : oscillation d'un seul cristal ou rotation de trois cristaux
- électronique : la sonde contient de nombreux cristaux excités avec un décalage calculé et adapté en permanence

Deux types de sondes échographiques sont également disponibles (fig 5) :

- les sondes linéaires avec de nombreux cristaux disposés côte à côte, le balayage est électronique et se fait de proche en proche. On obtient à l'écran une image rectangulaire et de bonne résolution. Toutefois, ces sondes nécessitent que la surface soit suffisamment plane pour avoir un bon contact sonde/peau.
- les sondes sectorielles pour lesquelles le balayage est électronique ou mécanique. On obtient un plan de coupe en forme de cône, le sommet correspondant à la partie la plus superficielle de la région explorée. Ces sondes nécessitent une faible surface de contact mais on a une perte d'information sur les bords du cône.

Les sondes sectorielles à balayage électronique fournissent en général la meilleure résolution, le principal obstacle à leur utilisation étant leur coût prohibitif⁵⁶. Toutefois, en échographie articulaire, on utilise le plus fréquemment des sondes linéaires car le champ proche est plus large, ce qui permet une meilleure étude des structures les plus superficielles.

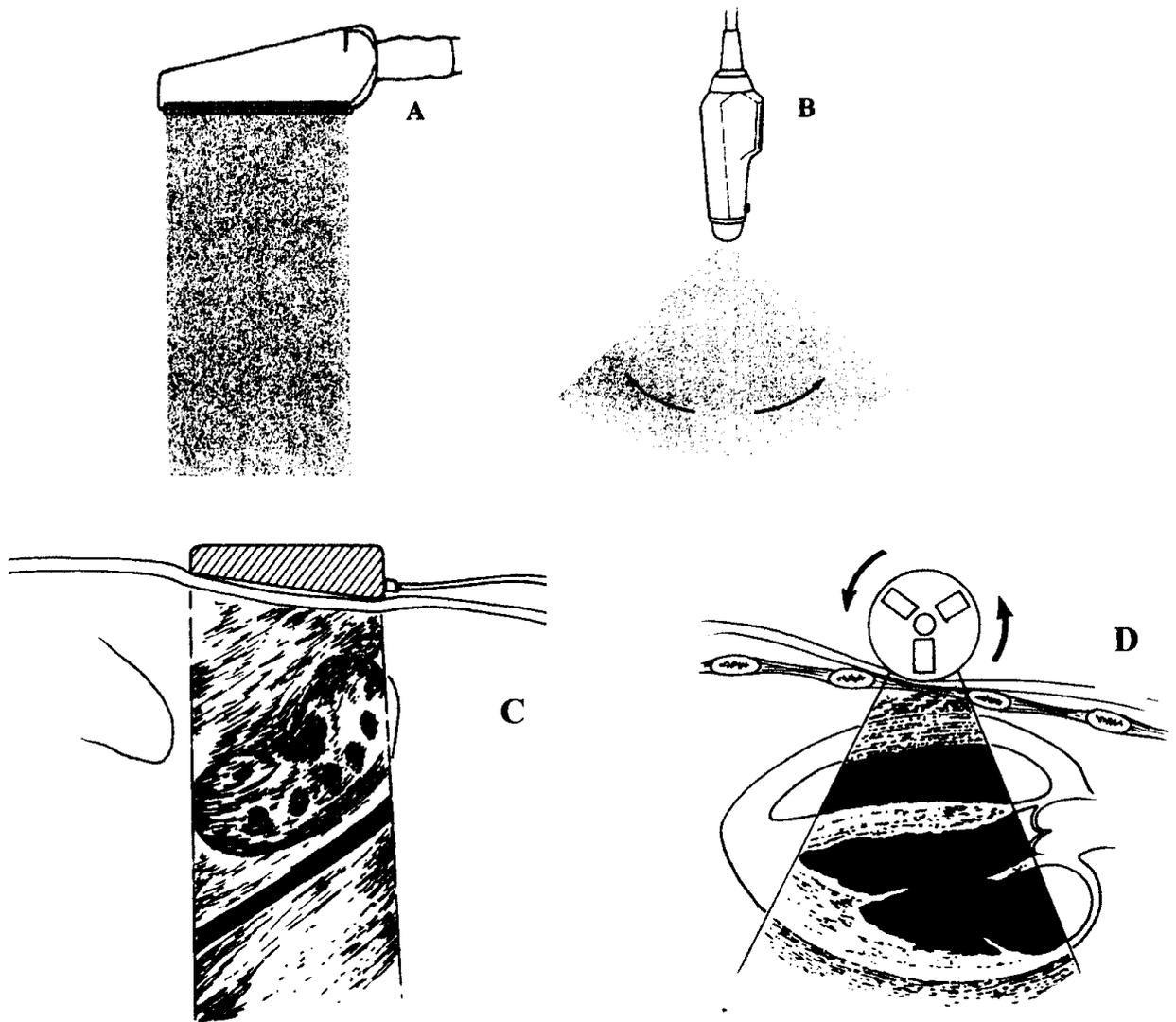


Figure 5 : Représentation d'une sonde linéaire (A), où le faisceau est émis perpendiculaire à l'axe le long du transducteur, appliquée à l'échographie d'un rein (C) et d'une sonde sectorielle (B) dans laquelle le faisceau est émis dans l'alignement de l'axe le long du transducteur, application à l'échocardiographie (D).
d'après ⁵⁶ et ²⁴

1.1.4. Facteurs de qualité de l'image

La qualité de l'image échographique dépend des caractéristiques de l'appareil ainsi que des réglages effectués. Il est possible de modifier les paramètres de l'onde émise et/ou l'exploitation de l'écho.

1.1.4.1. Réglage de la dimension de l'image

Il est possible de régler la profondeur de l'examen ce qui permet un cadrage serré, une bonne visualisation des structures étudiées tout en minimisant les phénomènes de réverbération.

1.1.4.2. Résolution spatiale

Le premier paramètre jouant sur la qualité de l'image est la résolution spatiale, capacité de l'échographe à différencier deux points proches. Elle doit être élevée en échographie articulaire car on recherche des modifications discrètes d'apparence. La résolution spatiale est la résultante :

- de la résolution axiale : capacité de l'échographe à différencier deux points situés sur un même axe
- de la résolution latérale : capacité de l'échographe à différencier deux points situés sur un axe perpendiculaire à l'axe du faisceau.

La résolution axiale et la résolution latérale dépendent de la fréquence du faisceau ultrasonore : plus la fréquence est élevée, plus les résolutions sont bonnes (tableau IV et V).

Tableau IV : Résolution axiale d'une sonde en fonction de sa fréquence
d'après ¹⁶

Fréquence de la sonde (MHz)	Résolution axiale maximale (mm)
2,8	1,1
3,5	0,9
5	0,6
7	0,4
21	0,13

Tableau V : Résolution latérale d'une sonde en fonction de sa fréquence
d'après ²⁰

Fréquence de la sonde (MHz)	Résolution latérale (mm)
2,5	3
3,5	2
5,0	<2
7,5	1

Ainsi, plus la fréquence de la sonde est élevée, plus la résolution spatiale est bonne mais plus l'atténuation est importante. Pour une sonde donnée, il est également possible d'amincir le faisceau ultrasonore en effectuant une focalisation. On améliore ainsi la résolution à une profondeur choisie : la distance focale.

En résumé, l'optimisation de la résolution spatiale est en contradiction avec la profondeur d'exploration. Le choix d'une sonde est donc un compromis entre les deux.

1.1.4.3. Résolution en densité

La résolution de la densité joue sur le traitement de l'écho afin d'en optimiser la visualisation.

1.1.4.3.1. Echelle de gris

Le nombre de niveaux de gris est lié aux caractéristiques techniques de l'appareil. Il doit y en avoir suffisamment pour transcrire différemment deux signaux d'amplitude voisine. Toutefois, si l'échelle de gris est trop détaillée, l'image perd en contraste (effet de lissage des images tissulaires⁶¹). Des réglages de compression permettent d'adapter les niveaux de gris et de visualiser à la fois des échos faibles et des échos forts, sans que ces derniers saturent l'écran.

1.1.4.3.2. Réglage des gains

Le gain, mesuré en décibel, est défini comme le taux d'amplification des échos, sans modifier l'intensité du faisceau ultrasonore émis par la sonde. Agir sur les gains va permettre d'améliorer la qualité de l'image.

1.1.4.3.2.1. Gain total

Il permet d'augmenter l'amplification de tous les échos reçus. Il est préférable de travailler avec un gain minimal pour mieux visualiser les différences d'échogénicité.

1.1.4.3.2.2. Gain par niveau

On agit, comme pour le gain total, sur l'amplification des signaux à la réception, mais en plus on réalise un réglage différentiel en fonction de la profondeur d'exploration. Le gain par niveau permet :

- de privilégier la visualisation d'une zone donnée
- de compenser l'atténuation des ultrasons en fonction de la profondeur d'exploration.

On réalise ainsi une courbe des gains avec une amplification minimale en zone proximale et maximale en zone distale (fig 6). Cela permet d'éliminer les artefacts dus à l'atténuation.

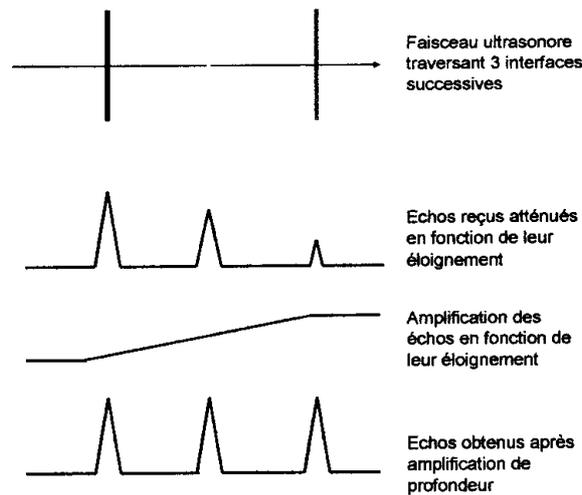


Figure 6 : Principe du gain par niveau
d'après ¹⁰⁷

1.1.4.3.3. Rejet

Il s'agit d'un artifice électronique qui élimine les signaux de faible amplitude à la réception (filtre contre les échos parasites). Il doit être réglé au minimum afin de ne pas supprimer des signaux utiles.

1.1.4.4. Amortissement

L'amortissement a pour but de diminuer l'énergie des ultrasons émis afin de diminuer la longueur d'onde. Cela permet d'augmenter la résolution axiale donc de différencier des structures proches et très échogènes.

De nombreux réglages sont donc nécessaires afin d'adapter le traitement des échos et d'améliorer la qualité de l'image. Il est également possible de jouer sur la visualisation de l'image à l'écran.

1.1.4.5. Contrôle de la visualisation

Il s'agit de jouer sur les réglages inhérents à l'écran de l'échographe.

1.1.4.5.1. Brillance ou luminosité

La brillance du spot lumineux est déterminée par la taille du faisceau d'électrons émis par le tube cathodique. Une brillance trop marquée facilite la visualisation des échos forts aux dépens des échos faibles.

1.1.4.5.2. Contraste

L'augmentation du contraste accentue la discrimination et permet donc une meilleure lisibilité de l'image. Par contre, elle entraîne la perte des échos les plus faibles.

1.1.4.5.3. Gel de l'image

Il s'agit d'un arrêt sur image qui permet d'effectuer des mesures d'organes ou de tissus. Mais la brillance est réduite et on perd en qualité par rapport aux images en mouvement.

1.2. Echographie articulaire

L'échographie articulaire a pour particularité d'étudier des structures d'impédances acoustiques très différentes (liquide synovial / os). De plus, il s'agit d'éléments de petite taille (capsule articulaire...) pour lesquelles on recherche des modifications discrètes d'apparence. La résolution doit donc être fine pour permettre une bonne étude.

Pour une échographie articulaire, l'animal est le plus souvent positionné en décubitus latéral, la sédation n'est pas nécessaire sauf si l'examen est douloureux ou l'animal non coopératif.

L'articulation est examinée au repos mais également en mouvement. Les lésions discrètes sont détectées en comparant avec le membre sain.

1.2.1. Choix du matériel en échographie articulaire

En échographie articulaire, on examine des structures superficielles avec une précision maximale. Des sondes linéaires à fréquence élevée (7,5 – 20 MHz) sont nécessaires pour obtenir une bonne résolution dans le champ proche avec une pénétration jusqu'à 5cm⁷⁹. Pour les structures très superficielles, les sondes d'une fréquence supérieure à 10MHz fournissent une image de meilleure qualité²⁵. On peut également utiliser un dispositif trans-sonore (stand-off pad) qui éloigne les structures superficielles de la sonde et évite les artefacts de champ proche. Le stand-off pad permet aussi d'améliorer le contact lorsque la surface est irrégulière (saillies osseuses)⁷⁹. Pour accentuer les contours de l'articulation, on utilise un contraste élevé. Pour les tissus mous (tendons, ménisque...), on travaille avec un contraste faible et une large échelle de gris⁷⁹.

Sauf cas particulier (épaule, grasset), les sondes sectorielles ne sont que rarement utilisées en échographie musculo-squelettique. De même, les sondes mécaniques sont à

proscrire pour l'étude des structures superficielles car elles produisent trop d'artefacts dans le champ proche²⁵.

1.2.2. Echo-anatomie

Sur une radiographie, les tissus mous péri et intra-articulaires forment un signe de la silhouette positif entre eux (même opacité liquidienne) et ne sont pas différenciables. Seuls certains tissus graisseux le sont (par exemple : le coussinet graisseux infrapatellaire). En échographie, les tissus mous peuvent être différenciés en raison de leur structure physique propre et de l'orientation de leurs fibres

1.2.2.1. Structures péri-articulaires

1.2.2.1.1. Peau

Sur une zone tondue, la peau apparaît comme une bande hyperéchogène d'épaisseur variable (fig 7). Par exemple, elle est beaucoup plus fine en face médiale qu'en face latérale du grasset. Sa visualisation nécessite l'utilisation d'un stand-off pad. Dans certaines régions, les plis formés par la peau gênent le contact avec la sonde et produisent des artefacts. L'examen échographique des structures péri-articulaires est contre-indiqué en cas de plaie ou de lacération car ces dernières bloquent la transmission des ultrasons²⁴.

1.2.2.1.2. Tissu sous-cutané

Chargé de graisse, le tissu sous-cutané apparaît hypoéchogène et ponctué de petites zones hyperéchogènes (fig 7). Son aspect varie en fonction de l'état corporel de l'animal. Il est habituellement fin et moins échogène que la peau.

1.2.2.1.3. Muscles

Les muscles sont faciles à identifier en échographie. Le tissu musculaire est hypoéchogène avec de fines striations hyperéchogènes régulières (fig 7), qui correspondent aux fibres musculaires en coupe longitudinale (tableau IV). En coupe transversale, les fibres correspondent à des points hyperéchogènes.

Tableau VI : Morphologie échographique normale d'un muscle
d'après 79

séparation par des fascias et des cloisons échogènes
structure longitudinale typique
tissu musculaire hypoéchogène et homogène entre les cloisons
vaisseaux anéchogènes, bien délimités, pulsatiles (artères) ou compressibles (veines)

L'échogénicité des fibres musculaires dépend de l'orientation des fibres par rapport au faisceau ultrasonore. Le faisceau doit avoir une direction optimale pour chaque muscle. Une incidence légèrement oblique du faisceau produit une image hypoéchogène artéfactuelle dans le tissu musculaire, qui mime une masse.

Le muscle doit être examiné en totalité, depuis son insertion proximale jusqu'à son insertion distale. L'examen doit également se faire en flexion et en extension pour mettre en évidence des lésions qui ne sont pas visibles lors d'un examen statique. Cela permet également de juger de l'étendue d'une lésion.

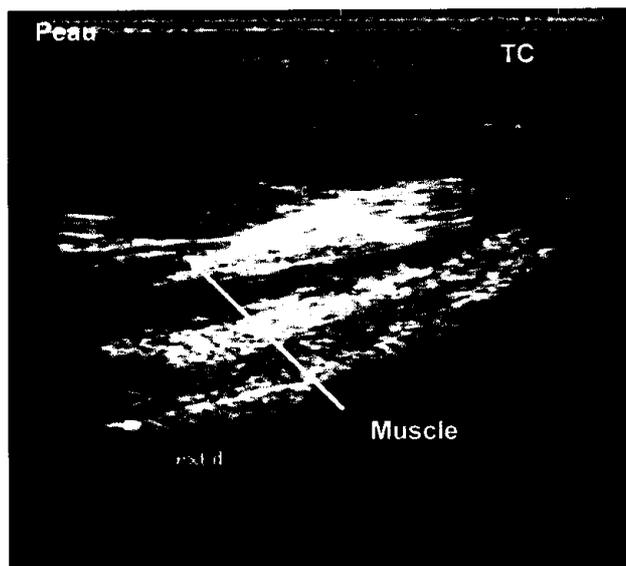


Figure 7 : Image échographique normale de la peau, du tissu sous-cutané et du muscle

1.2.2.1.4. Tendons

1.2.2.1.4.1. Aspect normal

En coupe longitudinale, les tendons sont des bandes hyperéchogènes, finement divisées en lignes parallèles légèrement ondulées (fig 8). Les échos sont produits par la réflexion des ondes ultrasonores au niveau des interfaces entre l'endotendon (cloisons conjonctives) et le faisceau de fibres de collagène. En périphérie, la ligne hyperéchogène correspond à l'épitendon (gaine externe). Le tableau VII résume les caractéristiques

échographiques des tendons. Cette architecture n'est observée que lorsque le faisceau acoustique est perpendiculaire à la surface du tendon. Le tendon apparaît moins échogène lorsque le faisceau est oblique⁸⁴. L'examen en coupe longitudinale d'un tendon relâché peut également être trompeur : le tiers externe du tendon apparaît moins échogène à cause de la concavité de la surface⁴³.

Tableau VII : Morphologie échographique normale d'un tendon en coupe longitudinale
*d'après*⁷⁹

liseré hyperéchogène uniformément délimité
échos internes longitudinaux légèrement ondulés
glissement du tendon sur les surfaces osseuses sous-jacentes lors de l'examen dynamique

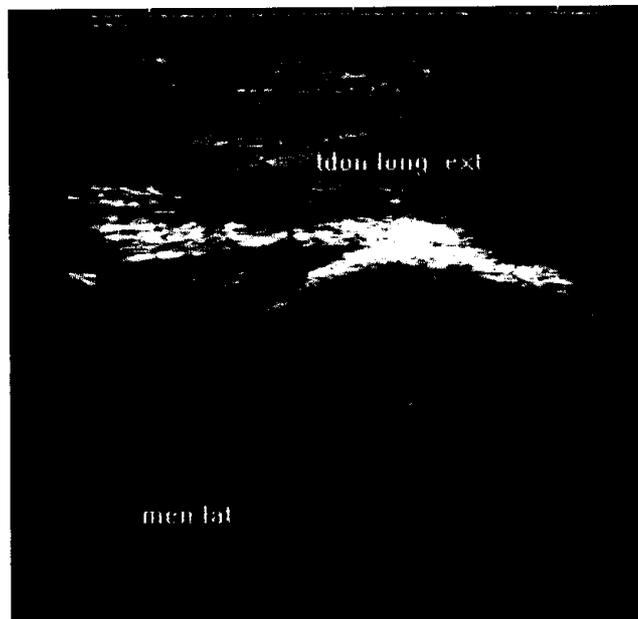


Figure 8 : Image échographique normale d'un tendon en coupe longitudinale
(ENVL, Sonnet)

En coupe transversale (fig 9), les tendons correspondent à des structures échogènes ovales ou rondes, avec un réseau de trabécules et de points, éventuellement encadrées par une petite quantité de liquide (portions entourées par une gaine tendineuse).



Figure 9 : Image échographique normale d'un tendon en coupe transversale
(ENVL, Sonnet)

1.2.2.1.4.2. Aspect lésionnel

L'apparence échographique des lésions tendineuses dépend de la sévérité de la lésion et du stade de cicatrisation.

Une étude chez le cheval a permis de préciser l'aspect échographique des lésions tendineuses⁹⁰. Les zones anéchogènes correspondent à une hémorragie, un oedème ou une infiltration cellulaire. Les lésions hypoéchogènes signent un phénomène de granulation et la présence d'un tissu fibreux immature. Le tissu fibreux mature est légèrement hyperéchogène, des spots hyperéchogènes peuvent également être visibles et correspondent à des zones de calcification.

Une autre étude conclut que les images échographiques des tendons restent modifiées tant qu'il n'y a pas réalignement des fibres et guérison complète²⁶.

Déchirures tendineuses partielles et totales

Les déchirures sont les lésions tendineuses les plus fréquentes, elles sont classées en fonction de leur degré de sévérité : premier (distension des fibres), deuxième (tendon partiellement rompu) et troisième degré (déchirure complète ou rupture).

De manière générale, les déchirures se caractérisent à l'échographie par des modifications dans l'architecture du tendon : augmentation de l'épaisseur des fibres, non visualisation des fibres, hétérogénéité de l'échostructure⁴³.

En cas de déchirure récente, la structure classique du tendon est remplacée par une zone hypo à anéchogène, cette zone correspond à de l'hémorragie ou de l'œdème (fig 10). On

note également un épaissement du tendon. Un épanchement péri-tendineux peut être associé : le tendon est entouré d'une zone hypoéchogène. Lors de lésions chroniques, le tendon est hétérogène, épaissi, hypoéchogène (comme pour une lésion aiguë). Des calcifications dystrophiques intratendineuses sont parfois visibles et sont spécifiques des lésions chroniques.

L'échogénicité du tendon augmente au fur et à mesure de la cicatrisation. Lors de lésions intra tendineuses, il faut mesurer l'étendue de la lésion et déterminer le pourcentage de fibres rompues par rapport au diamètre, en coupe transversale. Des examens successifs permettent ainsi de suivre la cicatrisation²⁵.

L'échographie d'une déchirure totale montre une perte complète de la visualisation des fibres. On obtient une zone hypoéchogène délimitée par les fragments rétractés hyperéchogènes et épaissis du tendon. Lors d'une échographie en temps réel et en mobilisant le membre, on peut visualiser les deux portions du tendon rompu qui se rapprochent et s'éloignent l'une de l'autre.

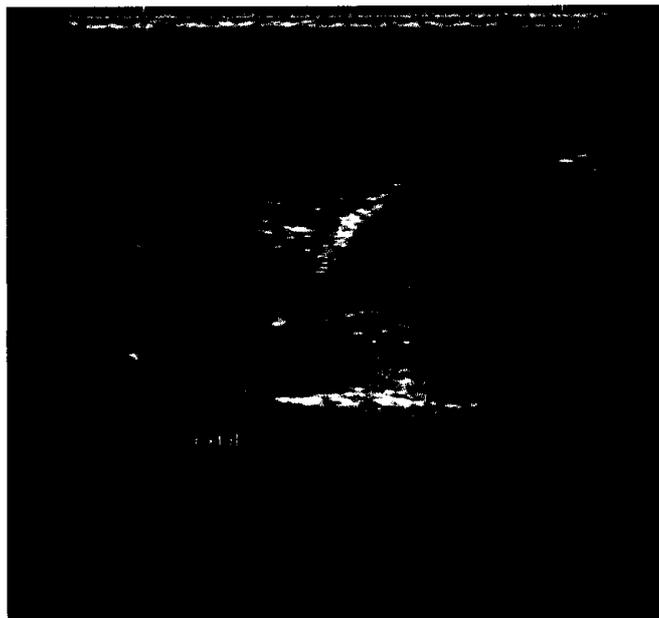


Figure 10 : Rupture tendineuse, hématome
(ENVL, Sonnet)

Avulsions

En cas d'avulsions tendineuses, on observe une diminution de l'échogénicité due à la présence d'œdème ou d'hémorragie. On note également une modification de la position des structures. Des fragments osseux sont souvent identifiés dans le tendon (fragments hyperéchogènes suivis d'un cône d'ombre)⁷⁹. Un examen en mouvement permet également de mettre en évidence une instabilité et un déplacement du fragment osseux synchrone du

tendon. Au niveau de la zone d'insertion sur l'os, la corticale présente une irrégularité de sa surface avec interruption de la ligne hyperéchogène.

Tendinite

La tendinite est caractérisée par un œdème du tissu fibreux et par une hypertrophie du tendon. Ces modifications se traduisent par un aspect plus hypoéchogène du tendon, même en incidence perpendiculaire. Généralement, une différence marquée d'échogénicité est visible entre partie saine et partie lésée⁷⁹. Les zones de régénération du tendon ont une échogénicité augmentée. Les métaplasies avec calcification sont également hyperéchogènes. Une calcification plus importante (tendon calcifié) correspond à une zone hyperéchogène suivie d'un cône d'ombre.

Les tendinites sont fréquemment associées à des ténosynovites (ou bursites) avec accumulation de liquide dans la gaine tendineuse (fig 11). En coupe transversale et longitudinale, le tendon est entouré d'un large bord hypoéchogène.



Figure 11 : Ténosynovite
(ENVL, Sonnet)

1.2.2.2. Structures articulaires

1.2.2.2.1. Os épiphysaire

1.2.2.2.1.1. Aspect normal

La différence d'impédance acoustique entre l'os et les tissus mous est très marquée, la réflexion est donc importante à la surface de l'os. Moins de 20% des ultrasons sont transmis, la structure interne d'un os sain ne peut donc pas être visualisée. Seule la surface est visible sous la forme d'une ligne hyperéchogène suivie d'un cône d'ombre (fig 12). L'évaluation de la surface n'est possible qu'avec un faisceau ultrasonore parfaitement perpendiculaire : la

ligne est fine et nette en incidence perpendiculaire, elle apparaît moins nette et irrégulière en incidence oblique. Le tableau VIII résume ces caractéristiques.

Tableau VIII : Morphologie échographique normale de l'os
*d'après*⁷⁹

ligne hyperéchogène à l'interface tissus mous / corticale
aucune évaluation de la structure interne
artefacts de réverbération fréquents



Figure 12 : Image échographique normale de l'os
(ENVL, Sonnet)

1.2.2.2.1.2. Aspect lésionnel

Les anomalies de contour de l'os sont facilement objectivables. Elles se manifestent soit par des dépressions de la ligne hyperéchogène (défaut d'ossification sous-chondrale, kystes osseux) soit par une interruption de cette ligne.

Fractures

Les fractures peuvent être visualisées à l'échographie. L'échographie ne remplace pas la radiographie mais donne des informations supplémentaires sur l'hémorragie au sein du site fracturaire, sur un détachement périosté, sur l'évolution de la granulation sur une fracture plus ancienne⁷⁹.

Une fracture correspond à une interruption de la ligne hyperéchogène. L'échographie permet également de visualiser la substance qui occupe l'espace entre les deux bouts osseux. Cet espace est faiblement échogène sur une fracture récente, il s'agit d'un hématome. Sur une fracture ancienne, l'espace est plus dense et plus échogène, traduisant l'apparition d'une

organisation fibreuse avec de multiples points hyperéchogènes. Cette image est le signe le plus précoce de la formation du cal osseux⁹⁴.

Tumeur, ostéomyélite

Lorsque la corticale est détruite par un phénomène pathologique tumoral ou infectieux, on note une interruption de la ligne hyperéchogène, associée à la visualisation des tissus situés plus en profondeur dans l'os. Un remaniement des tissus mous en périphérie est également visible. La surface osseuse est également très irrégulière ce qui traduit une réaction périostée agressive. La présence de liquide au contact de l'os est indicatrice d'ostéomyélite^{27 33 89}. L'échographie peut également être utilisée pour réaliser des biopsies échoguidées des tissus anormaux.

Ostéochondrose- ostéochondrite disséquante

Elles se manifestent par une dépression au niveau de défauts d'ossification sous-chondrale ou de kystes osseux sous-chondraux. On visualise alors une concavité de la ligne osseuse en regard de la lésion (fig 13) et du matériel échogène est visible au-delà de la limite normale de l'os sous-chondral²⁴. Les fragmentations ostéochondrales existant lors d'ostéochondrite disséquante sont visualisées soit par des amas tissulaires d'échogénicité irrégulière (caractère partiellement ossifié) soit par une ou des lignes hyperéchogènes séparées de l'os sous-chondral. L'examen dynamique peut donner des indications sur la mobilité de ces fragments ostéochondraux. L'échographie permet souvent une détection de l'ostéochondrose plus précoce que la radiographie et donne des informations sur la zone radiotransparente occupée par le matériel ostéochondral dystrophique.

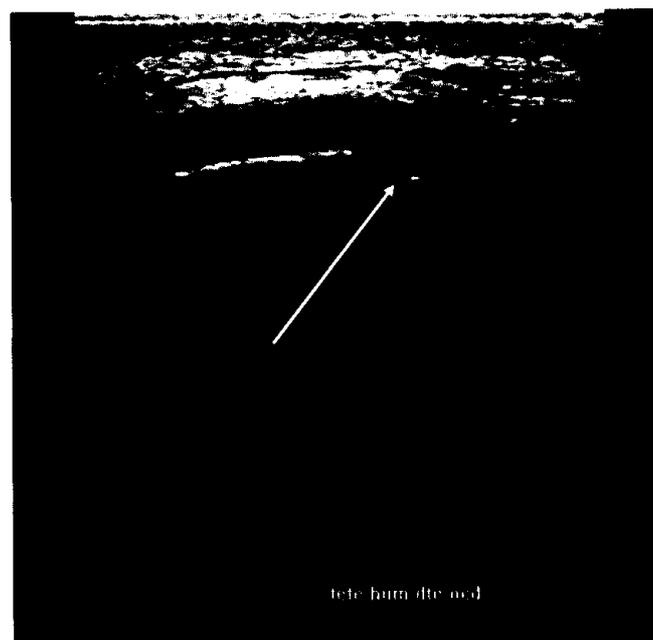


Figure 13 : Ostéochondrite disséquante sur la tête humérale
(ENVL, Sonnet)

Ostéophytes – Enthésophytes

L'échographie est une méthode plus sensible et plus précoce que la radiographie pour la détection de ces proliférations osseuses anormales³⁴. On parle d'ostéophytes pour les néoformations osseuses situées en périphérie de l'articulation et d'enthésophytes lorsqu'elles concernent les zones d'insertion de la capsule articulaire ou des ligaments. L'échographie permet également l'évaluation de toute la surface articulaire, la radiographie n'apportant qu'une vue tangentielle partielle. Les ostéophytes et les enthésophytes correspondent à des spots hyperéchogènes. Lors de formations d'ostéophytes, la ligne osseuse est irrégulière avec des points hyperéchogènes (fig 14), on note également une élévation de la surface corticale et le contour articulaire est modifié.

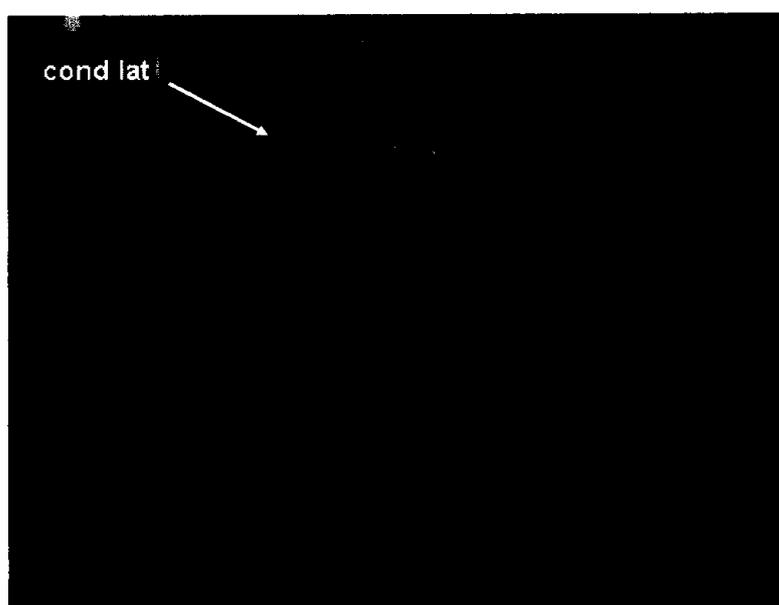


Figure 14 : Ostéophytes
(ENVL, Sonnet)

1.2.2.2.2. Cartilage articulaire

1.2.2.2.2.1. Aspect normal

Le cartilage est une mince bande hypoéchogène à la surface de l'os sous-chondral. Il est facilement identifiable entre, d'une part, la membrane synoviale et la capsule articulaire relativement échogènes, et d'autre part, l'os sous-chondral hyperéchogène. Le cartilage, accompagné d'un mince film synovial, occupe l'espace intermédiaire (fig 15).

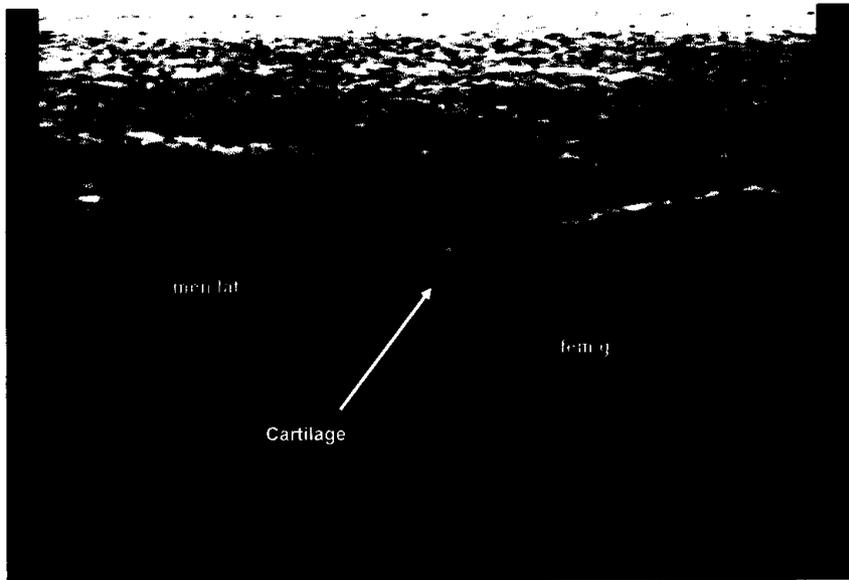


Figure 15 : Image échographique normale du cartilage
(ENVL, Sonnet)

En l'absence de distension synoviale, on ne peut pas différencier le cartilage du liquide synovial. En cas de distension, une ligne faiblement échogène est visible, correspondant à la surface du cartilage articulaire³⁴.

1.2.2.2.2. Aspect lésionnel

Les modifications vont principalement concerner l'épaisseur du cartilage, qui doit être homogène, mais aussi l'évaluation de sa surface³⁴.

L'épaisseur du cartilage augmente en cas d'œdème et lors de défaut d'ossification sous-chondrale (certains cas d'ostéochondrose). L'épaisseur de la couche cartilagineuse diminue lors de l'aplasie cartilagineuse qui accompagne les arthrites dégénératives évoluées.

L'échogénicité du cartilage peut également être modifiée : un cartilage dégénéré, partiellement minéralisé, peut être visualisé comme une bande d'échogénicité augmentée et très hétérogène. Dans les stades ultimes d'arthrose, le cartilage altéré disparaît et l'os sous-chondral est mis à nu. Ces lésions d'éburnation sont visibles à l'échographie.

En cas d'arthrite septique, la surface du cartilage est irrégulière suite à des dépôts de flammèches de fibrine.

1.2.2.2.3. Tissus mous

1.2.2.2.3.1. Capsule articulaire

Aspect normal

La capsule est fortement échogène, elle correspond à une fine couche apposée à la face externe de la membrane synoviale.

Aspect lésionnel

Lors de suspicion de lésion, l'articulation doit être mobilisée afin de tendre la capsule articulaire. Cette précaution permet d'éviter les artefacts de relaxation : la présence d'images hypoéchogènes est bien plus indicatrice d'une lésion.

Les lésions de la capsule articulaire peuvent se traduire par un épaississement, par la présence de foyers hypoéchogènes ou hétérogènes³⁵.

Un épaississement de la capsule est fréquemment visualisé. Dans les cas aigus, il est lié à un œdème ou une hémorragie. On note également un épaississement lors de capsulopathies chroniques ou anciennes, causé par une fibrose cicatricielle, une infiltration...

L'échogénicité de la capsule doit également être examinée. Une hypoéchogénicité est à relier à un processus inflammatoire (capsulite) ou à une fibrose lors d'atteintes chroniques. Une fibrose cicatricielle se traduit par une hyperéchogénicité diffuse. Des images hyperéchogènes focales associées à un cône d'ombre sont présentes lors de métaplasies osseuses, de calcification ou de dépôt de fragments ostéocondraux.

Il est également possible de visualiser des ruptures de la capsule. La bande échogène correspondant à la capsule est interrompue par une zone hypoéchogène, un épanchement synovial au niveau de la brèche est généralement associé.

1.2.2.2.3.2. Ligaments

Aspect normal

Généralement, les ligaments sont trop fins pour être visualisés chez les animaux de petit format. Les ligaments de l'articulation du grasset et les ligaments collatéraux du coude font exception²⁵.

Comme les tendons, les ligaments ont une structure fibrillaire, leur apparence échographique est donc comparable (fig 16). Toutefois, l'écho-anatomie des ligaments est plus complexe à cause des variations d'orientation des faisceaux de fibres, qui rendent hypoéchogènes certains plans ligamentaires, et du caractère spiroïdal de certains ligaments. L'apparence d'un ligament est ainsi homogène, si les toutes les fibres sont parallèles, et hétérogène, si le ligament est composé de plusieurs faisceaux d'orientations différentes²⁴.



Figure 16 : Image échographique normale d'un ligament
(ENVL, Sonnet)

Les ligaments doivent également être examinés en tension et avec une incidence perpendiculaire. Lors de leur relâchement, les fibres forment des vagues responsables d'artefacts de relaxation hypoéchogènes.

Aspect lésionnel

L'aspect des différentes lésions, déchirure partielle, rupture, avulsion, est tout à fait comparable à celui évoqué dans le paragraphe sur les tendons²⁵ (cf supra).

1.2.2.2.3.3. Membrane synoviale

La membrane synoviale est très difficilement identifiée dans une articulation saine. La pression exercée sur la sonde doit être minimale et le membre doit être positionné de manière à distendre la membrane et la capsule articulaire²⁴.

Aspect normal

La membrane est une fine couche hypoéchogène située à la face interne de la capsule articulaire³⁴. Son identification est facilitée lorsqu'elle est délimitée par une capsule articulaire fibreuse et échogène, et par un liquide synovial anéchogène et en quantité excessive. L'identification de la membrane synoviale est difficile lorsque le liquide synovial est échogène.

Aspect lésionnel

Un épaissement de la membrane synoviale est souvent visible lors de phénomènes inflammatoires. Lors d'épaississements chroniques, une hyperplasie des villosités synoviales

est présente. Cette hyperplasie est notamment visible lorsque les villosités flottent dans un liquide synovial anéchogène.

L'échogénicité de la membrane peut également être modifiée. Toutefois, la membrane normale étant très hypoéchogène, les modifications sont difficiles à détecter. Une hyperéchogénicité diffuse est visualisée lors de synovite chronique proliférative avec fibrose. Des fragments ostéochondraux libres peuvent secondairement se fixer sur la membrane et sont à l'origine d'images hyperéchogènes focalisées avec une ombre acoustique.

Lors de phases inflammatoires sévères, on peut également visualiser des caillots de fibrine adhérents à la membrane synoviale (membrane plus échogène, irrégulière, sans cône d'ombre).

Schématiquement, on observe toujours un épaissement de la membrane synoviale, associé à un épanchement lors d'une synovite aiguë ; ou associé à une hyperéchogénicité et une prolifération des villosités synoviales lors d'une synovite chronique.

La membrane synoviale peut également être le siège d'une brèche qui fait communiquer la cavité articulaire avec une cavité adjacente. L'examen dynamique ou la pression de la synoviale permettent de visualiser la communication entre les deux cavités.

1.2.2.2.3.4. Liquide synovial

Pour l'observation du liquide synovial, l'articulation doit être positionnée de telle sorte qu'une tension minimale soit appliquée sur les tissus mous (articulation en position physiologique). La pression exercée sur la sonde doit également être minimale pour éviter le collapsus des récessus²⁴.

Aspect normal

Le liquide synovial est totalement anéchogène. Dans une articulation normale, les cavités synoviales sont quasiment virtuelles et seule une petite quantité de liquide peut être visualisée. Le liquide synovial est beaucoup plus facilement identifié au niveau des récessus synoviaux car il est entouré de structures plus échogènes : capsule articulaire, ligaments péri-articulaires, coussinet adipeux...

Aspect lésionnel

Le contenu synovial peut présenter des modifications de volume et d'échogénicité^{24 34}.

Une augmentation du contenu synovial est généralement visible lors de synovite. On visualise alors une distension des récessus synoviaux.

L'échogénicité du liquide synovial augmente lors :

- de présence d'hémarthrose (sang dans la cavité articulaire) : l'augmentation d'échogénicité est due à la présence de cellules sanguines et dépend de la quantité de

sang. Elle augmente rapidement après l'hémorragie, puis le liquide synovial retrouve son échogénicité en quelques jours à quelques semaines.

- de présence de débris tissulaires (arthrite septique, inflammation...). L'échogénicité augmente alors lentement (plusieurs jours à quelques semaines).

Indépendamment de l'étiologie, l'augmentation d'échogénicité est toujours associée à une difficulté de visualisation des récessus synoviaux car la différence d'échogénicité entre le contenu synovial et les formations péri-articulaires diminue.

Des fragments peuvent également être visibles dans le liquide synovial. Les caillots de fibrine associés à un épanchement hémorragique, septique ou inflammatoire chronique correspondent à des points hyperéchogènes dans un liquide synovial modifié, plus ou moins échogène. Une pression sur l'articulation permet de les mettre en mouvement. Des fragments méniscaux ou cartilagineux peuvent également être mis en évidence. Il s'agit de points hyperéchogènes flottant dans un liquide synovial anéchogène. Il est également possible de les mettre en mouvement. Ces débris ont tendance à se fixer sur la paroi lorsque l'articulation est fixe. Une mobilisation de l'articulation les libère dans le liquide synovial.

Plusieurs jours après une arthrocentèse ou une chirurgie³⁴, des points hyperéchogènes sont visualisés dans le liquide synovial, il s'agit de bulles d'air.

1.2.3. Intérêts et limites de l'échographie articulaire

L'échographie articulaire est une méthode d'examen non invasive et qui ne nécessite en général pas d'anesthésie. Elle présente une totale innocuité pour l'animal et le manipulateur. Elle apporte beaucoup plus d'informations sur les tissus mous que la radiographie, tout en permettant une exploration satisfaisante des surfaces articulaires. Elle complète ainsi les données obtenues par radiographie. Par contre, elle nécessite un matériel spécifique. Elle requiert également une certaine expérience de la part du manipulateur, l'interprétation des lésions étant souvent subjective et les artefacts fréquents.

1.3. Actualités en échographie du grasset chez le chien

L'échographie musculo-squelettique demeure encore sous-utilisée chez l'animal suite à un manque de connaissance de ses indications et de sa réalisation. Pourtant, elle est largement utilisée en pathologie humaine et les premières publications vétérinaires datent de plus de 10 ans. Concernant le grasset, les premières descriptions de l'anatomie échographique datent de 1995⁸⁸ et 1997⁴². Puis, en 1999⁶⁶, une étude indique l'intérêt de l'échographie lors de pathologies du grasset. Le nombre de publications sur ce sujet est

relativement restreint : à celle de Kramer en 1999 s'ajoutent les travaux de Gnudi en 2001 sur l'exploration du ligament croisé crânial⁵¹, de Mahn en 2005 sur l'exploration des ménisques⁶⁹, de Seong en 2005⁹⁷ qui combine échographie et injection intra-articulaire, et de Mattern en 2006 sur les lésions du ligament patellaire après une ostéotomie de nivellement du plateau tibial⁷¹.

La réalisation d'une échographie de qualité nécessite avant tout une bonne connaissance de l'anatomie de la région étudiée ainsi que du rôle de chaque structure pour connaître les zones à explorer en priorité lors de bilans lésionnels.

1.3.1. Rappel d'anatomie du grasset

Le grasset, ou genou, est un complexe articulaire formé des articulations fémoro-tibiale et fémoro-patellaire (fig 17-18). Sa fonction associe deux impératifs : la stabilité et la mobilité du membre pendant la locomotion. L'articulation du grasset est une articulation très stable. Cette stabilité est renforcée par la tension du fascia lata et par l'ensemble des structures musculo-tendineuses qui s'insèrent autour de cette articulation²⁸.

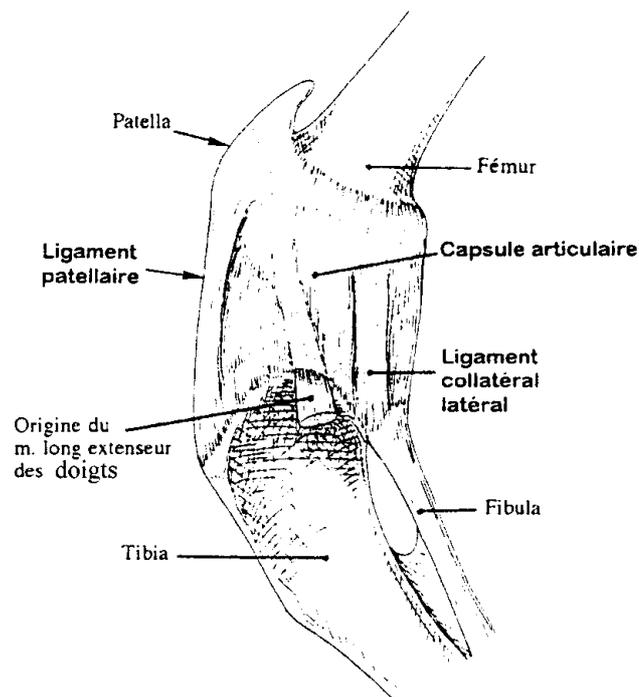


Figure 17 : Vue latérale d'un grasset gauche de chien
d'après⁶³

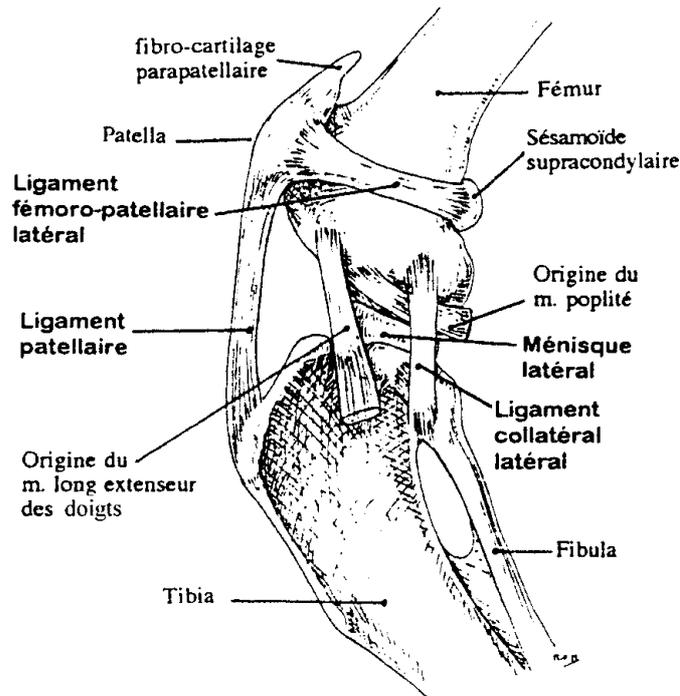


Figure 18 : Vue latérale d'un grasset gauche de chien (la capsule articulaire a été enlevée)
d'après ⁶³

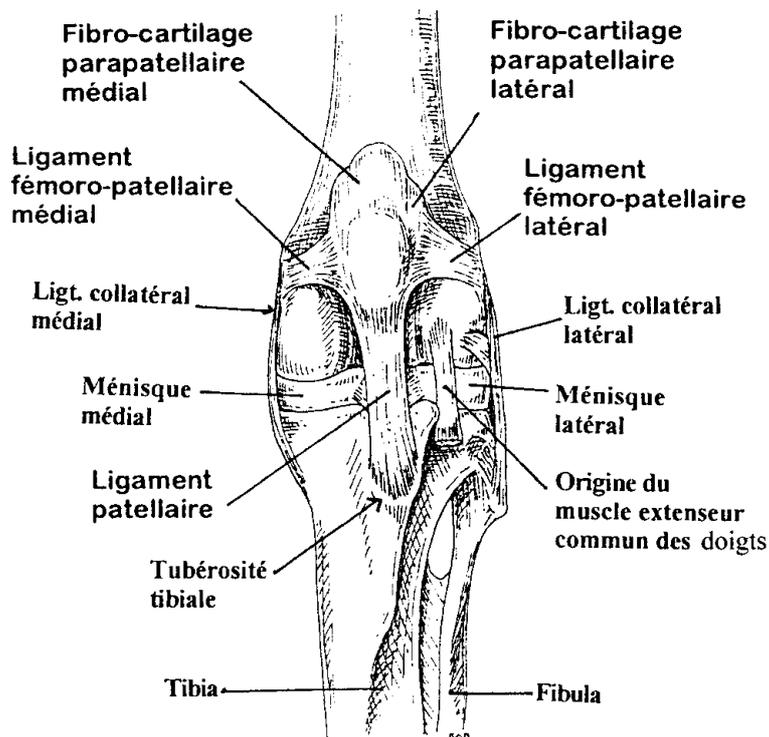


Figure 19 : Vue crâniale du grasset gauche de chien (la capsule articulaire a été enlevée)
d'après ⁶³

1.3.1.1. L'articulation fémoro-tibiale

Il s'agit d'une articulation synoviale bicondyloïde qui relie l'extrémité distale du fémur à l'extrémité proximale du tibia.

1.3.1.1.1. Les surfaces articulaires

Les surfaces articulaires sont constituées (fig 19) :

- des condyles fémoraux latéral et médial, asymétriques : le condyle latéral est plus volumineux avec une surface articulaire plus grande.
- des condyles tibiaux latéral et médial qui occupent la moitié caudale du plateau tibial. Comme pour le fémur, ils sont asymétriques.

L'asymétrie des surfaces articulaires explique l'existence d'une rotation interne passive du tibia par rapport au fémur lors de la flexion du grasset.

1.3.1.1.2. Les ménisques

Des formations complémentaires fibrocartilagineuses et semi-lunaires (fig 20), les ménisques, viennent s'intercaler entre les surfaces articulaires décrites précédemment. Ils améliorent la congruence de l'articulation.

Le ménisque médial s'attache crânialement dans l'aire intercondyloire crâniale du tibia et caudalement dans l'aire intercondyloire caudale. Il présente également de fortes adhérences à la capsule articulaire et au ligament collatéral médial du grasset. Le ménisque latéral s'attache crânialement dans la partie latérale de l'aire intercondyloire crâniale. Caudalement, il présente deux ligaments. Le ligament ménisco-tibial part de la corne caudale pour venir s'insérer sur le bord postérieur du condyle latéral du tibia. Le ligament ménisco-fémoral rejoint la fosse intercondyloire. Les deux ménisques sont réunis crânialement par le ligament transverse du grasset (fig 22).

Les ménisques transmettent et répartissent de façon radiaire une part importante des contraintes s'exerçant sur le plateau tibial. Ce sont des structures déformables qui ont un rôle d'amortisseur et d'absorption d'énergie.

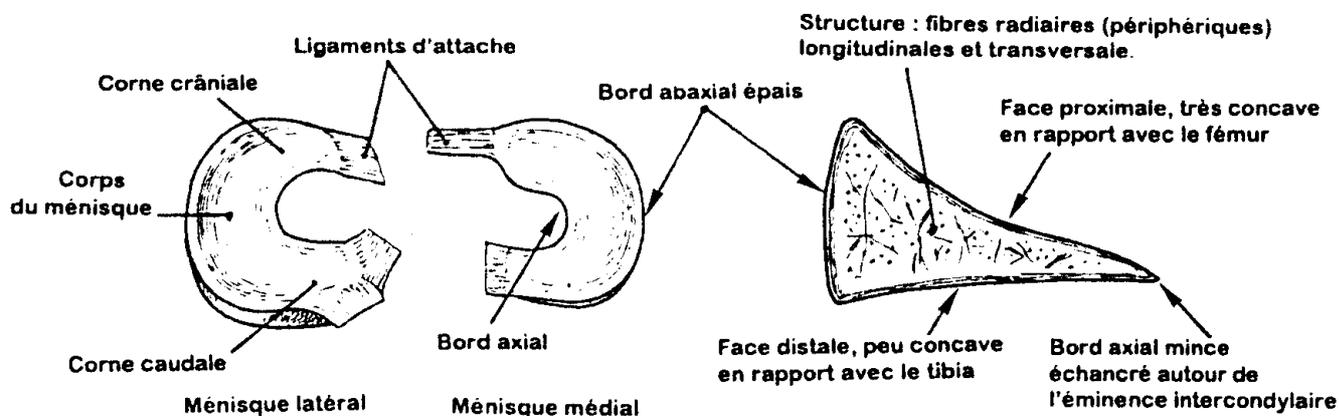


Figure 20 : Les ménisques du grasset
A : Vue proximale B : Coupe transversale
d'après ⁶³

1.3.1.1.3. Les moyens d'union

On distingue un système capsulo-ligamentaire et des ligaments intra-articulaires : les ligaments croisés.

La capsule articulaire

La capsule articulaire englobe les deux articulations : fémoro-tibiale et fémoro-patellaire. La partie caudale est nettement plus épaisse, particulièrement du côté médial où elle adhère très fortement au ménisque. La capsule articulaire laisse le passage au tendon du muscle extenseur des doigts latéralement et au tendon du muscle poplité caudalement.

Les ligaments collatéraux

Le ligament collatéral latéral part de l'épicondyle latéral du fémur et se termine sur la tête fibulaire. Sa face profonde est en rapport avec le tendon du muscle poplité. Le ligament collatéral latéral est oblique disto-caudalement. Le ligament collatéral médial s'attache sur l'épicondyle fémoral médial et se termine sur la face médiale du tibia. Il est oblique disto-crânialement.

Les ligaments collatéraux limitent les mouvements latéraux : valgus pour le ligament médial, varus pour le latéral. Leur orientation croisée leur permet également de limiter la rotation externe du tibia par rapport au fémur. Toutefois, leurs rôles ne peuvent pas être dissociés de ceux des ligaments croisés.

Les ligaments croisés

Les ligaments croisés occupent l'espace entre les condyles fémoraux. Ils constituent le pivot central du grasset autour duquel le tibia tourne par rapport au fémur.

Le ligament croisé crânial prend origine sur la face interne du condyle fémoral latéral (face axiale). Il se dirige vers l'avant et se termine dans l'aire intercondyloire crâniale du tibia (fig 21). De profil, le ligament croisé crânial est oblique en direction disto-crâniale. Vu de face, il est très oblique et orienté latéro-médialement (dans le sens proximal-distal). Le grasset étant en extension, l'ensemble du ligament croisé crânial est tendu. Lors de la flexion, il se produit une rotation interne physiologique du tibia, et le ligament croisé crânial se tord sur lui-même. On peut alors distinguer deux bandes²⁸ : une bande crânio-médiale tendue en permanence, et une caudo-latérale relâchée lors de la flexion. Donc, quelque soit la position du grasset, le ligament croisé crânial présente toujours un contingent de fibres en tension.

Le ligament croisé caudal prend origine à la face interne du condyle fémoral médial (face abaxiale). Il se dirige vers l'arrière pour se terminer dans l'incisure poplitée et sur l'aire intercondyloire caudale. Il croise donc la face médiale du ligament croisé crânial. De profil, le

ligament croisé caudal est orienté disto-caudalement. Vu de face, il est presque vertical et pratiquement situé dans le plan sagittal.

Les ligaments croisés ont des rôles antagonistes mais interviennent en synergie pour assurer une grande partie de la stabilité du grasset.

Ils assurent d'abord la stabilité dans le plan sagittal. Le ligament croisé crânial s'oppose au glissement vers l'avant (postéro-anérieur) du tibia par rapport au fémur. Ce glissement est favorisé par l'action du muscle quadriceps et par l'inclinaison des condyles tibiaux (pente tibiale)⁹⁸. Le ligament croisé caudal s'oppose au mouvement inverse : glissement caudal du tibia par rapport au fémur.

Les ligaments croisés assurent également la stabilité rotatoire du grasset. Lors de la rotation interne du tibia, les deux ligaments s'enroulent l'un autour de l'autre, ils constituent donc le principal frein à la rotation interne du tibia par rapport au fémur. Par contre, lors de rotation externe, les deux ligaments se décroisent et n'ont aucun rôle dans la limitation du mouvement. Ce sont les ligaments collatéraux qui interviennent. Deux phénomènes de rotation existent au niveau du grasset : une rotation passive physiologique (interne lors de la flexion et externe lors de l'extension), et une rotation active volontaire ou réflexe due à l'action des muscles.

Les ligaments croisés agissent également en synergie avec les ligaments collatéraux, on peut alors définir des couples : ligament croisé crânial / ligament collatéral latéral et ligament croisé caudal / ligament collatéral médial.

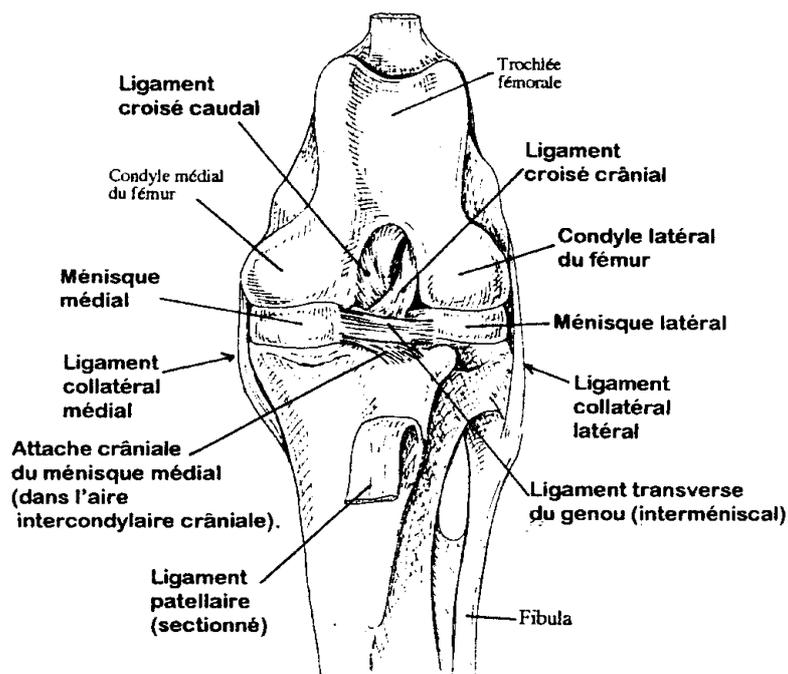


Figure 21 : Grasset gauche d'un chien. Articulation fléchie, vue crâniale (la capsule articulaire a été enlevée et le ligament patellaire sectionné)

d'après ⁶³

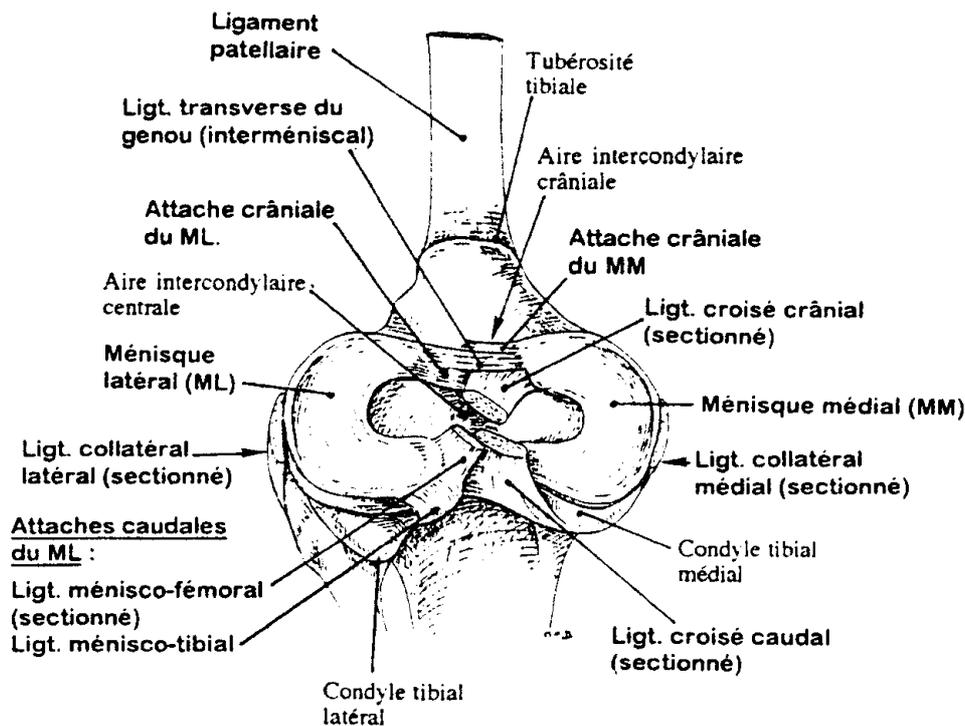


Figure 22 : Articulation du grasset de chien, vue proximale du plateau tibial après désarticulation
d'après ⁶³

1.3.1.2. L'articulation fémoro-patellaire

Il s'agit d'une articulation synoviale trochléaire.

1.3.1.2.1. Les surfaces articulaires

Les surfaces articulaires sont constituées :

- de la trochlée fémorale : droite avec une gorge large et des lèvres symétriques.
- de la patella (ou rotule) : ovale avec une face crâniale, rugueuse qui porte les insertions tendineuses et ligamentaires, et une face articulaire caudale lisse. Elle est complétée par des fibro-cartilages para-patellaires (latéral et médial) qui augmentent la surface de contact avec la trochlée.

1.3.1.2.2. Les moyens d'union

Les ligaments fémoro-patellaires médial et latéral forment deux bandelettes minces joignant les bords de la patella aux sésamoïdes supra-condylaires. Ils maintiennent ainsi la patella dans la trochlée.

Le ligament patellaire joint l'extrémité distale de la patella à la tubérosité tibiale. C'est un ligament large et épais qui transmet l'action du muscle quadriceps au tibia, provoquant l'extension du grasset.

1.3.1.3. Les synoviales du grasset

Les moyens de glissement des articulations du grasset sont constitués :

- de deux synoviales fémoro-tibiales, l'une latérale, l'autre médiale
- d'une synoviale fémoro-patellaire. Elle est séparée du ligament patellaire et de la capsule articulaire par un volumineux corps adipeux infra-patellaire (coussinet graisseux).

Ces trois synoviales communiquent largement entre elles, formant une vaste et unique cavité (fig 23). Les synoviales fémoro-tibiales délèguent trois récessus : un pour le tendon du muscle poplité, un pour le tendon du muscle extenseur commun des doigts et un pour l'articulation tibio-fibulaire proximale. La synoviale fémoro-patellaire présente un récessus proximal, sous la terminaison du muscle quadriceps.

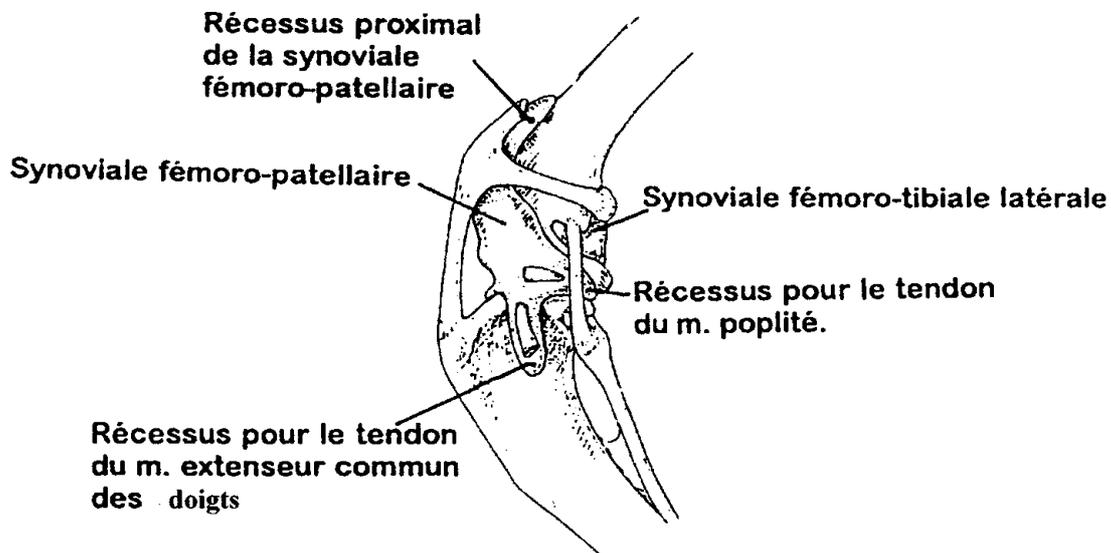


Figure 23 : Les synoviales du grasset de chien
d'après⁶³

1.3.2. Préparation de l'examen

Concernant le choix du matériel, toutes les études s'accordent sur le choix d'une sonde de fréquence moyenne à élevée. Reed⁸⁸ s'est servi d'une sonde de 7,5 MHz et Gnudi⁵¹ d'une de 5-10 MHz. Dans deux études^{69 71} consacrées à l'examen des structures superficielles du grasset (ligament patellaire et ménisques), une sonde de fréquence plus élevée : 12-14 MHz pour Mahn⁶⁹ et 5-12 MHz pour Mattern⁷¹ a été utilisée. Une sonde sectorielle a été utilisée dans deux études^{88 51}, les autres articles rapportant l'utilisation d'une sonde linéaire, sonde classiquement utilisée en échographie musculo-squelettique^{66 97 69 71}. Pour l'instant, aucun consensus sur le choix du matériel ne semble donc exister. Les sondes linéaires permettent une surface de contact plus importante donc la visualisation d'un champ proche de grande

taille. Avec les sondes sectorielles, le champ proche est très réduit (pointe du cône). Elles semblent, par contre, plus maniables dans une zone avec des reliefs osseux importants, et la forme conique du balayage permet un meilleur accès dans les zones étroites (passage entre les condyles fémoraux et tibiaux). Comme nous l'avons indiquée précédemment, les sondes électroniques sont à préférer aux sondes mécaniques. Toutefois, leur coût prohibitif explique leur faible utilisation. Un stand-off pad a été utilisé dans certaines études^{88 66 51} pour l'examen des structures les plus superficielles ou pour l'exploration de grasset de chiens de petite taille.

Concernant l'animal, l'anesthésie ne semble pas nécessaire pour la réalisation de l'examen^{88 66}. Elle a été utilisée sur des animaux très excités⁶⁶, ou lorsque d'autres procédures réalisées en parallèle le nécessitaient : test du tiroir crânial et radiographie⁵¹, injection intra-articulaire⁹⁷, chirurgie suivant l'échographie⁷¹.

La région du grasset est tondu du tiers distal du fémur jusqu'en dessous de la tubérosité tibiale⁶⁶ et ce, sur toute la circonférence du membre. Un gel de couplage échographique est ensuite appliqué sur la peau.

L'animal est placé en décubitus latéral, le membre à échographié au dessus. Dans presque toutes les études, la totalité de l'articulation est examinée de cette manière. Toutefois, Kramer and coll.⁶⁶ explorent les faces crâniale, latérale et caudale de façon similaire puis placent l'animal sur l'autre décubitus latéral afin d'échographier la face médiale. Le grasset étudié est alors au contact de la table et la face médiale est plus facile à explorer.

La présence d'un aide est souhaitable pour manipuler le grasset. La position de l'articulation est en effet différente selon la structure examinée.

1.3.3. Echographie du grasset sain

La qualité d'une échographie réside dans une connaissance parfaite de l'anatomie de la région étudiée. Il est également indispensable d'acquérir la technique permettant la visualisation des différentes structures (position de la sonde, angulation etc.). L'aspect des structures saines doit être connu pour pouvoir ensuite identifier des aspects pathologiques.

Les coupes décrites proviennent de la synthèse des publications de Reed⁸⁸, Kramer⁶⁶ et Mahn⁶⁹.

1.3.3.1. Surfaces articulaires

L'échographie du grasset ne permet pas l'examen de la totalité des surfaces articulaires. En particulier, les parties les plus internes ne sont pas accessibles.

1.3.3.1.1. Articulation fémoro-tibiale

Il est possible de visualiser une grande partie des condyles fémoraux et tibiaux par échographie, mais de nombreuses vues sont nécessaires.

1.3.3.1.1.1. Condyles fémoraux

A cause de la convexité des condyles, seule une partie de la surface articulaire est visible dans un plan vertical.

On débute par un abord crânial :

- en premier lieu, la sonde est placée sur le condyle (médial ou latéral) du fémur de telle sorte que le champ de balayage soit parallèle à l'axe du membre. Le membre est placé en flexion maximale et la sonde est déplacée le long du condyle. Cette vue ne permet l'examen que de la région la plus crâniale du condyle (fig 24).
- puis la sonde est placée sur le ligament patellaire (vue infra-patellaire) ou légèrement médialement pour le condyle médial (latéralement pour le condyle latéral), l'axe de coupe étant toujours vertical. Cette vue permet d'observer la partie crâniale des condyles fémoraux. La position et l'angulation de la sonde sont légèrement modifiées afin d'observer une plus grande partie de la surface articulaire. L'articulation doit également être manipulée : en extension, la patella glisse proximale dans la trochlée, et permet une meilleure visualisation des condyles. En flexion maximale, la région située entre les deux condyles fémoraux peut être examinée.

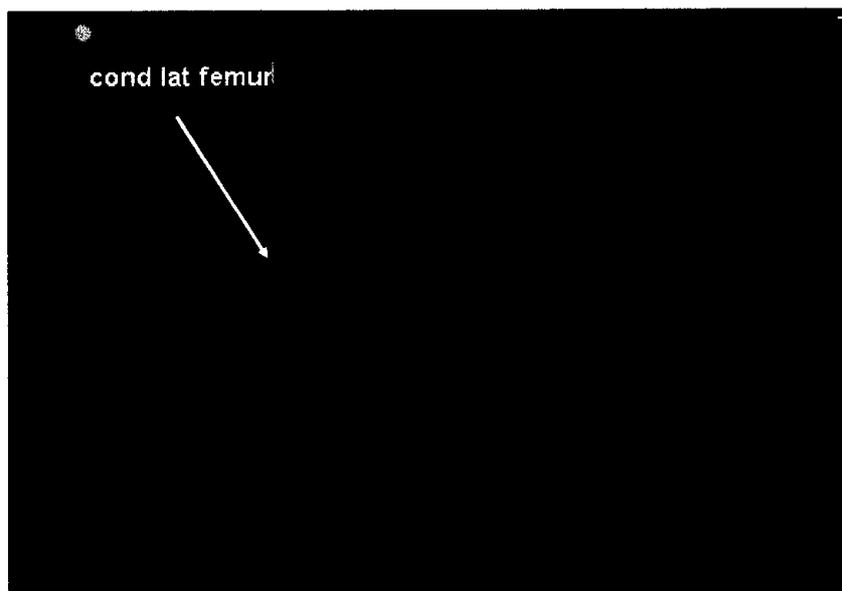


Figure 24 : Condyle fémoral latéral, abord crânial
(ENVL, Sonnet)

Ensuite, on peut réaliser un abord latéral (ou médial). Le premier plan de coupe est sagittal. Pour le condyle latéral, la sonde est placée latéralement et de manière à obtenir un

plan de balayage vertical. L'angulation de la sonde est modifiée et l'articulation mobilisée en flexion/extension et rotation. Cette vue permet de visualiser le bord externe du condyle, la partie la plus convexe et une portion de la face interne du condyle (partie au contact du ménisque). Une dépression est visible crânialement sur la surface articulaire, il s'agit de la fosse d'insertion du tendon du muscle extenseur commun des doigts.

Il est possible de réaliser un plan de coupe transversal, toutefois les images obtenues sont délicates à interpréter. La sonde est placée latéralement et légèrement caudalement au condyle fémoral, le grasset en extension. Le plan de coupe obtenu est perpendiculaire à l'axe du membre et passe à travers le sésamoïde supracondyloire latéral. On visualise alors la surface articulaire convexe du condyle fémoral suivie de la surface du sésamoïde.

Un abord caudal existe également, le grasset étant légèrement fléchi. On réalise alors des coupes sagittales et transversales. Le bord caudal des condyles est visible. Par contre, il n'est pas possible de visualiser les surfaces osseuses situées dans l'espace articulaire.

Pour le condyle fémoral médial, le même type de fenêtres échographiques est utilisé.

En conclusion, la face abaxiale et le bord des condyles sont visualisés dans leur quasi-totalité, la partie caudale étant plus difficilement observée. La face axiale n'est abordée que partiellement (zone de contact avec les ménisques). La fosse intercondyloire n'est pas accessible par échographie.

1.3.3.1.1.2. Tubérosité tibiale

On utilise une vue infra-patellaire sagittale, la sonde étant placée sur le ligament patellaire. Le plan de coupe obtenu est sagittal. Cette fenêtre échographique permet de visualiser la tubérosité tibiale et notamment le site d'insertion du ligament patellaire (fig 25). Plus profondément, le début du plateau tibial est visible.

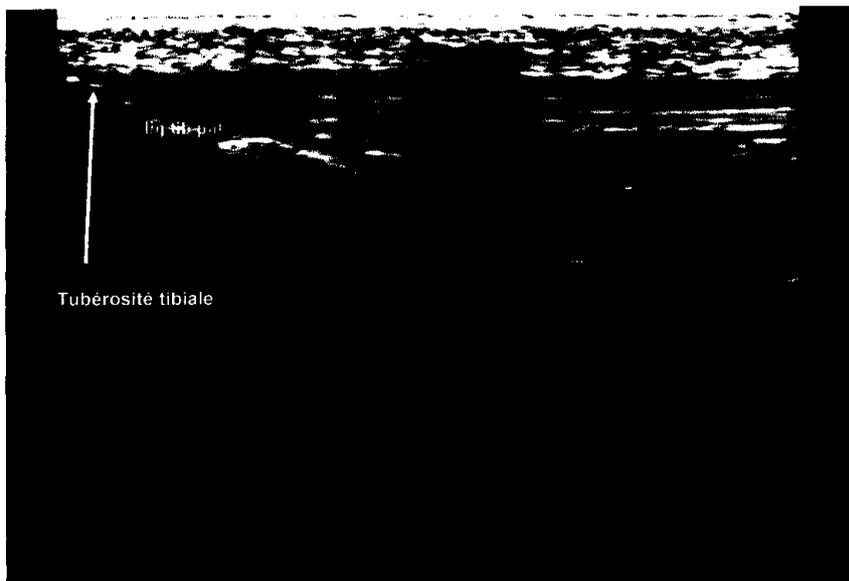


Figure 25 : Tubérosité tibiale
(ENVL, Sonnet)

1.3.3.1.1.3. Condyles tibiaux

Le condyle tibial latéral est abordé latéralement.

- On utilise d'abord un plan de coupe sagittal en faisant varier l'angulation de la sonde. La sonde orientée crânialement, le plan de coupe passe par le sillon de l'extenseur commun des doigts. En orientant progressivement la sonde caudalement, les plans de coupe successifs balayent toute la surface du condyle tibial. On examine ainsi la partie externe du condyle, le bord du condyle et la zone de contact avec le ménisque.
- Comme pour les condyles fémoraux, une vue transverse est également possible : la sonde est placée sur le condyle tibial avec un plan de coupe perpendiculaire à l'axe du membre. Le bord du condyle est ainsi visualisé. L'abord caudal est aussi réalisable. Toutefois, comme pour le fémur, l'espace intra-articulaire n'est pas accessible, seul le bord du condyle est visualisé.

L'abord du condyle tibial médial est identique.

En conclusion, la tubérosité tibiale est facilement accessible tout comme la face abaxiale, le bord des condyles et la zone de contact avec les ménisques. Par contre, il n'est pas possible de visualiser l'aire intercondyalaire.

1.3.3.1.2. Articulation fémoro-patellaire

L'articulation fémoro-patellaire est abordée crânialement, le grasset étant fléchi selon un angle de 45°.

1.3.3.1.2.1. Patella

La première fenêtre acoustique est supra-patellaire : la sonde est placée sur le tendon du muscle quadriceps, avec un plan de coupe sagittal. Le bord proximal de la patella est examiné et notamment le site d'insertion du tendon du muscle quadriceps (fig 26). Une légère angulation de la sonde permet d'observer le bord latéral et le bord médial. Une flexion plus importante du grasset permet de visualiser une petite partie de la face articulaire de la patella (extrémité proximale). En déplaçant la sonde distalement, toute la face crâniale de la patella est examinée.



Figure 26 : Patella, vue supra-patellaire sagittale
(ENVL, Sonnet)

La sonde est ensuite placée sur le ligament patellaire (vue infra-patellaire). On observe le bord distal de la patella, en particulier le site d'insertion du ligament patellaire (fig 27).



Figure 27 : Patella, vue infra-patellaire sagittale
(ENVL, Sonnet)

En conclusion, l'échographie permet de visualiser la face crâniale et les bords de la patella. Par contre, la majeure partie de la face articulaire est inaccessible.

1.3.3.1.2.2. Trochlée fémorale

La trochlée fémorale est abordée par des vues supra-patellaires.

- La sonde est placée sur le tendon du muscle quadriceps, de manière à obtenir un plan de coupe sagittal (fig 28). Proximalement, la métaphyse distale du fémur est visible. Plus distalement, juste en avant de la patella, on observe la gorge de la trochlée fémorale.



Figure 28 : Trochlée, coupe longitudinale
(ENVL, Sonnet)

- A partir de cette coupe, la sonde est tournée de 90° de manière à obtenir une coupe transversale de la trochlée fémorale (fig 29). Les lèvres et la gorge sont alors bien visibles et il est possible de mesurer la profondeur de la trochlée. Lors de cette coupe, le grasset est mobilisé en flexion/extension, on visualise alors les mouvements de la patella dans la trochlée.



Figure 29 : Trochlée, coupe transversale
(ENVL, Sonnet)

- On utilise également des coupes para-sagittales afin d'examiner successivement les deux lèvres de la trochlée. La sonde est alors placée sur la lèvre latérale et déplacée le long de cette lèvre afin d'en examiner la surface. L'opération est répétée pour la lèvre médiale.

En conclusion, la portion distale de la métaphyse fémorale est visible ainsi que les lèvres de la trochlée. La gorge de la trochlée peut être également étudiée, mais uniquement dans sa partie proximale.

1.3.3.2. Formations complémentaires : les ménisques

Théoriquement, un abord crânial des ménisques est possible, la sonde étant placée latéralement ou médialement au ligament patellaire. En réalité, cette fenêtre acoustique para-sagittale ne permet pas de distinguer la corne crâniale des ménisques. L'espace entre le tibia et le fémur est comblé de tissus homogènes d'échogénicité moyenne. Il n'est donc pas possible de différencier les ménisques du coussinet graisseux.

1.3.3.2.1. Ménisque latéral

Le ménisque latéral est visualisé grâce à un abord latéral, le grasset étant légèrement fléchi de 45° (angle entre le fémur et le tibia de 135°). La sonde est placée latéralement de manière à obtenir une image sagittale de l'espace articulaire. Arbitrairement, le ménisque est divisé en trois parties: la corne crâniale en avant du ligament collatéral latéral, la partie

moyenne en regard du ligament collatéral et la corne caudale en arrière de ce ligament. La partie moyenne est examinée en plaçant la sonde sur le ligament collatéral, l'incidence du faisceau d'ultrasons étant perpendiculaire au membre (fig 30). Sans déplacer la sonde, son inclinaison est modifiée afin d'explorer la corne crâniale puis la corne caudale. Des vues supplémentaires sont obtenues en mobilisant l'articulation en rotation interne et externe. Un ménisque normal a une échogénicité moyenne avec une fine échostructure. Il est également congruent avec les condyles fémoral et tibial et son bord abaxial est aligné avec les faces abaxiales des condyles fémoral et tibial.



Figure 30 : Ménisque latéral, abord latéral sagittal
(ENVL, Sonnet)

Il est également possible de visualiser les ménisques par un abord caudal, le grasset légèrement fléchi. Le plan de coupe est sagittal, on utilise l'artère poplitée comme repère. La corne caudale des ménisques est visible entre les condyles fémoraux et tibiaux (fig 31).

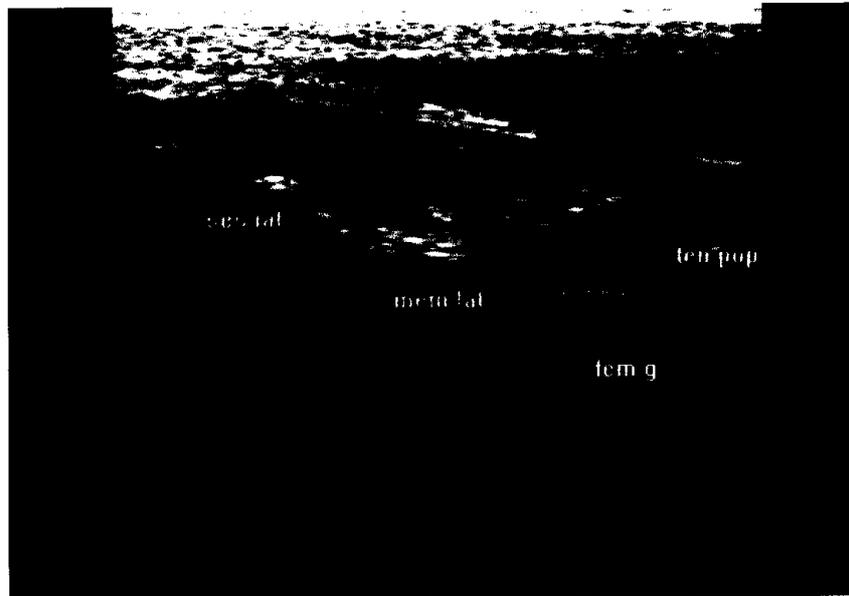


Figure 31 : Ménisque latéral, abord caudal sagittal
(ENVL, Sonnet)

Une première étude⁶⁶ indique qu'il est difficile d'obtenir des images satisfaisantes avec cette coupe caudale. Chez les chiens de petite taille, la corne caudale est trop mince pour être évaluée correctement. Chez les grands chiens, la masse des muscles fémoraux caudaux est importante et le faisceau ultrasonore pénètre difficilement jusqu'aux ménisques. Ces derniers sont situés au-delà de la zone focale de la sonde. Il est nécessaire de fléchir plus le grasset et d'appliquer une pression très forte sur la sonde, ce qui modifie l'anatomie de la région. Sur ces grands chiens, les ménisques sont donc difficiles à voir et paraissent faussement hypoéchogènes. Selon Kramer et coll.⁶⁶, l'abord caudal des ménisques n'est satisfaisant que chez les chiens de taille moyenne.

En conclusion, les premières études rapportent que les ménisques sont visualisés de manière satisfaisante par l'échographie. Toutefois, la corne caudale n'apparaît visible que chez les chiens de taille moyenne.

Une étude plus récente⁶⁹ indique que la totalité des ménisques peut être évaluée sur des chiens de taille moyenne et grande (au-delà de 21,3kg). Ces résultats contredisent les résultats des études précédentes sur les chiens de grande taille. Il semble donc que l'échographie permette l'évaluation de la position des ménisques, leur échogénicité, leur dimension et leur architecture chez des chiens de taille moyenne à grande. Chez les animaux de petite taille, l'examen est plus difficile donc moins informatif.

1.3.3.2.2. Ménisque médial

Le ménisque médial (fig 32) est visualisé de la même manière que le ménisque latéral, la seule différence résultant de leur rapport anatomique : présence du tendon du muscle poplité palpable entre le ménisque latéral et la capsule articulaire.

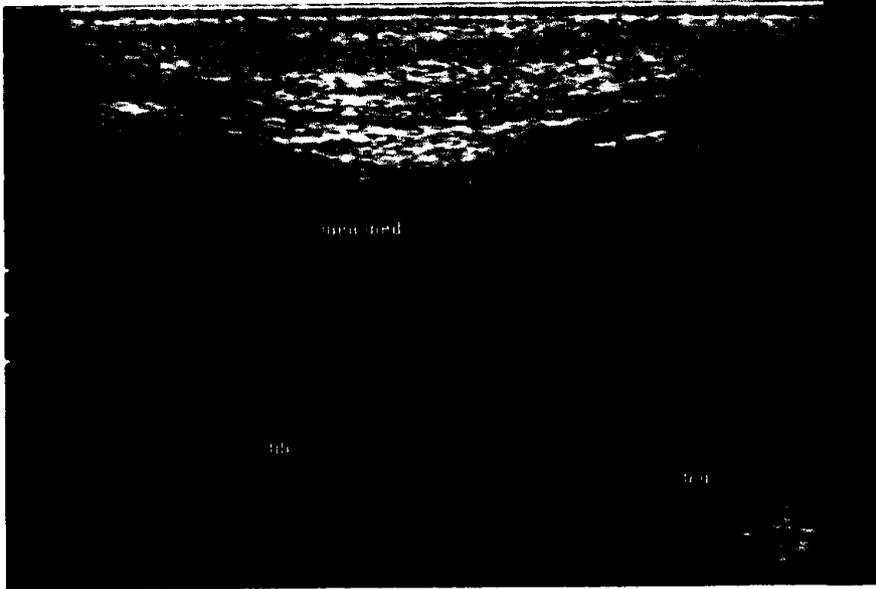


Figure 32 : Ménisque médial, abord médial sagittal
(ENVL, Sonnet)

1.3.3.3. Moyens d'union

1.3.3.3.1. Capsule articulaire

En l'absence d'anomalie, il est difficile de différencier échographiquement la capsule articulaire des structures adjacentes.

Toutefois, il est possible de visualiser une partie de la capsule articulaire au niveau de son insertion fémorale. On réalise une vue supra-patellaire, la sonde étant placée sur le tendon du muscle quadriceps avec un plan de coupe sagittal. La capsule est partiellement visible sous le muscle quadriceps, sous la forme d'une ligne hyperréfléctive (fig 33).

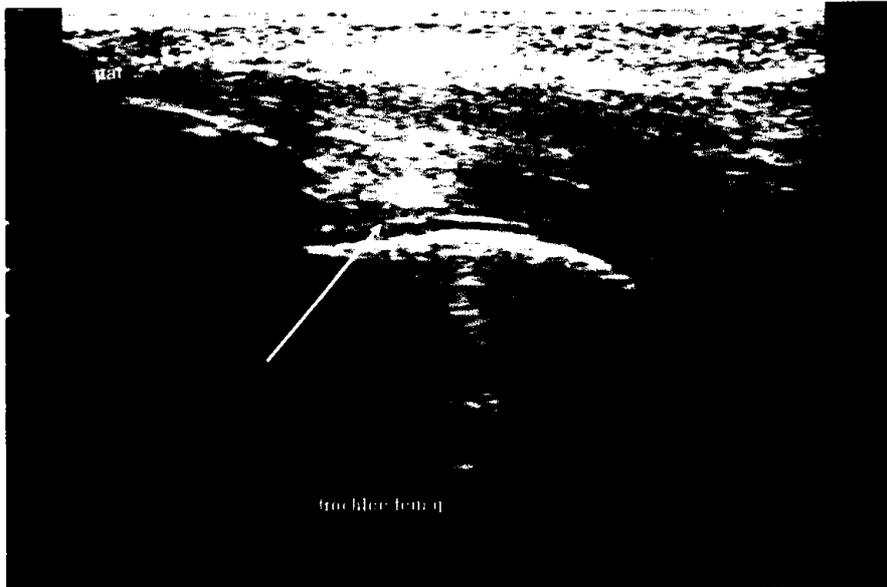


Figure 33 : Capsule articulaire, vue suprapatellaire sagittale
(ENVL, Sonnet)

Lors d'un abord latéral ou médial, avec une fenêtre échographique sagittale, le fascia, le ligament collatéral et la capsule articulaire sont confondus et apparaissent comme une bande hyperréfléctive.

1.3.3.3.2. Ligaments croisés

1.3.3.3.2.1. Ligament croisé crânial

Le ligament croisé crânial est visualisé par à un abord crânial infra-patellaire, le grasset fléchi à 90°. L'utilisation d'un dispositif trans-sonore est avantageuse sur des chiens de petite taille. Par contre, elle est à proscrire sur des animaux de grande taille, pour lesquels on obtient un phénomène de réverbération mimant une lésion⁶⁶. La sonde est placée longitudinalement sur le ligament patellaire. Elle est ensuite tournée d'environ 20° latéralement, ce qui la place sur une ligne virtuelle joignant la face interne du condyle fémoral latéral à l'aire intercondyloire du tibia^{66 97}. La fenêtre échographique obtenue passe par le trajet du ligament croisé crânial. Une bande légèrement hypoéchogène est alors visible dans l'espace articulaire : il s'agit du ligament croisé crânial (fig 34). Il apparaît moins échogène que les structures adjacentes : coussinet adipeux, ligament patellaire. Cet aspect est du à l'angle d'incidence du faisceau ultrasonore. Comme nous l'avons indiqué précédemment, un ligament apparaît hyperéchogène lorsque le faisceau est perpendiculaire, sinon il est moins échogène. Il n'est pas possible d'obtenir une incidence normale du faisceau sur le ligament croisé crânial, ce qui explique son aspect échographique. Lors de conditions expérimentales⁸⁸, après retrait de la peau et des muscles superficiels, des grassets ont été échographiés dans l'eau. Le faisceau ultrasonore a pu être orienté perpendiculairement au ligament croisé

crânial, qui apparaît alors hyperéchogène. Une angulation de 3° par rapport à la perpendiculaire suffit pour en modifier l'aspect.

Avec cette fenêtre échographique, on distingue le site d'insertion du ligament croisé crânial sur le tibia, ainsi que la moitié distale du ligament. Par contre, la partie située entre les deux condyles fémoraux n'est pas visible.

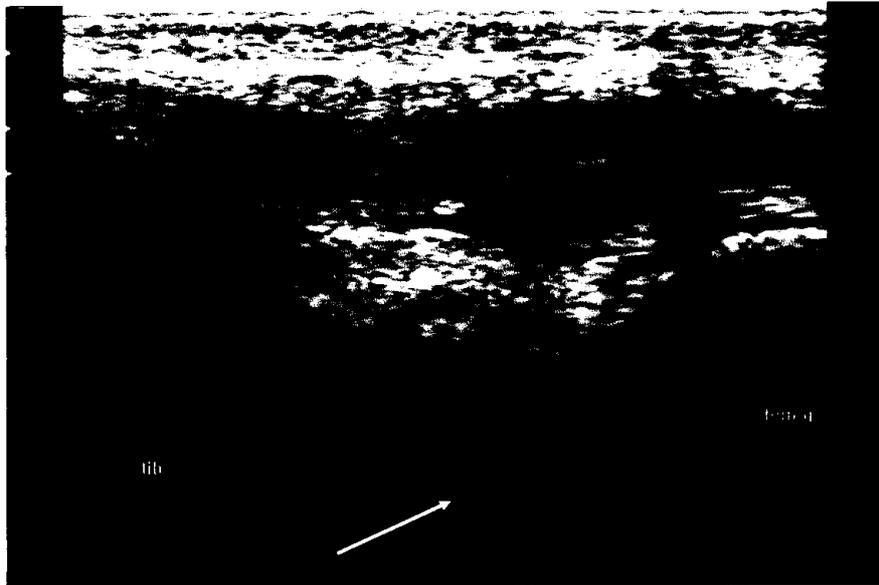


Figure 34 : Ligament croisé crânial
(ENVL, Sonnet)

On réalise ensuite une vue transversale, la sonde toujours sur le ligament patellaire. Le grasset est placé en flexion maximale. La région située entre les condyles fémoraux peut être examinée. Sur des chiens de grande taille, le ligament croisé crânial est visible en coupe, entouré par les condyles⁶⁶. Il s'agit d'une structure ronde hypoéchogène.

L'étude des premières publications permet de conclure à une exploration relativement satisfaisante du ligament croisé crânial par échographie. Ainsi, il a été visualisé systématiquement sur des grassets sains chez 4 chiens de taille moyenne dans une première étude⁸⁸ puis chez 58 chiens de toutes tailles dans une deuxième étude⁶⁶. Toutefois, il est particulièrement difficile de différencier le ligament croisé crânial des structures adjacentes, en particulier du coussinet adipeux. Une certaine expérience est donc nécessaire. De plus, la portion proximale du ligament, en particulier son attache fémorale, n'est pas accessible.

Une publication récente⁹⁷ propose une technique permettant d'améliorer la visualisation du ligament croisé crânial : l'injection intra-articulaire de solution saline. En temps normal, le ligament patellaire hyperéchogène et surtout le coussinet adipeux interfèrent avec l'examen du ligament croisé crânial. L'injection de solution saline permet de distendre la synoviale, d'éloigner le coussinet adipeux du ligament et d'augmenter le contraste. L'animal

est anesthésié, la solution saline est injectée de manière continue au moyen d'une aiguille placée entre la lèvre latérale de la trochlée et la patella. Une autre aiguille, insérée médialement dans l'espace articulaire, permet de drainer le liquide. Un anesthésique local est injecté préalablement dans l'articulation, la douleur post-examen étant traitée par du Meloxicam. Cette technique améliore grandement la visualisation du ligament croisé crânial, qui devient facilement identifiable. Il apparaît plus échogène car il est entouré de solution saline anéchogène. Une distension synoviale persiste quelques jours après la procédure. L'injection de solution saline est donc une technique efficace mais invasive : elle nécessite une anesthésie générale et deux ponctions articulaires aseptiques, actes qui ne sont pas sans risque. On peut éventuellement la réserver aux cas pour lesquels l'échographie seule ne permet pas de conclure avec certitude.

En remarque, la synovite fréquemment associée à une rupture du ligament croisé crânial n'a pas le même effet que l'injection de solution saline et ne permet pas une meilleure visualisation des structures intra-articulaires⁹⁷.

1.3.3.3.2.2. Ligament croisé caudal

Le ligament croisé caudal est très difficilement visualisé par échographie.

Le grasset est placé en flexion maximale et on réalise des vues infra-patellaires sagittale et transversale⁸⁸. Chez les chiens de grand format, le ligament croisé caudal est visible au niveau de son insertion sur le fémur sous la forme d'une bande hypoéchogène (même explication que pour le ligament croisé crânial).

Dans l'étude de Reed et coll.⁸⁸, il n'a pu être mis en évidence que pour 2 chiens sur 4, par un abord sagittal et transversal. Kramer et coll. ont visualisé le ligament croisé caudal uniquement par une coupe transversale. L'abord sagittal dorsal proposé par Reed ne leur a pas permis de voir ce ligament. Les auteurs expliquent cette différence par le type de sonde utilisée : sonde linéaire pour leur étude, sectorielle pour l'étude de Reed.

Théoriquement, un abord caudal peut être utilisé pour visualiser le ligament croisé caudal. Cette vue est classiquement utilisée chez l'homme. Pour les raisons évoquées précédemment (épaisseur des muscles caudaux...), il n'est pas possible actuellement d'examiner le ligament croisé caudal par cet abord chez le chien.

En conclusion, l'échographie n'est pas une technique d'imagerie adaptée pour l'examen du ligament croisé caudal chez le chien. Cette information ne condamne toutefois pas l'échographie dans l'étude du grasset, compte tenu de la faible incidence des ruptures du ligament croisé caudal.

1.3.3.3. Ligaments collatéraux

La sonde est placée sur le ligament collatéral latéral (identifié par palpation) selon un plan de coupe sagittal. Différentes études^{88 66} indiquent que le ligament collatéral ne peut pas être différencié des structures adjacentes. L'ensemble fascia musculaire, ligament collatéral et capsule articulaire forme une bande relativement échogène en dessous du tissu conjonctif sous-cutané.

Les études précédentes indiquent donc que le ligament collatéral latéral ne peut être identifié avec précision par échographie.

Les remarques concernant le ligament collatéral latéral sont tout à fait applicables au ligament collatéral médial.

1.3.3.3.4. Ligament patellaire

Le ligament patellaire est abordé crânialement avec une vue infra-patellaire :

- Tout d'abord, la sonde est placée sur le ligament patellaire avec un plan de coupe longitudinal (fig 35). Le faisceau d'ultrasons doit être perpendiculaire à la surface du ligament. On visualise ainsi la totalité du ligament patellaire, depuis son origine sur la patella, jusqu'à sa terminaison sur la crête tibiale. L'utilisation d'un dispositif trans-sonore permet de placer le ligament dans la zone focale de la sonde. Au niveau du bord distal de la patella, le ligament est toujours plus épais et la zone d'attache du ligament apparaît moins échogène. Cette apparence particulière de la partie proximale du ligament patellaire ne doit pas être confondue avec un aspect pathologique.



Figure 35 : Ligament patellaire, coupe longitudinale
(ENVL, Sonnet)

- On réalise ensuite des coupes transversales du ligament patellaire. Son épaisseur en divers endroits peut ainsi être mesurée. La comparaison de l'épaisseur du tendon d'un examen échographique à l'autre est utilisée pour diagnostiquer l'apparition d'une desmite⁷¹.

1.3.3.4. Tendons

1.3.3.4.1. Tendon du muscle quadriceps

Il est facilement explorable par échographie.

- On réalise d'abord une coupe supra-patellaire longitudinale, la sonde étant placée proximale à la patella (fig 36). Le tendon du muscle quadriceps est alors visualisé en coupe longitudinale. En déplaçant légèrement la sonde, le tendon est examiné depuis son origine sur le muscle jusqu'à sa terminaison sur la patella.



Figure 36 : Tendon du muscle quadriceps, coupe longitudinale
(ENVL, Sonnet)

- La sonde est ensuite pivotée de 90° afin d'obtenir une coupe transversale (fig 37).



Figure 37 : Tendon du muscle quadriceps, coupe transversale
(ENVL, Sonnet)

1.3.3.4.2. Tendon du muscle extenseur commun des doigts

Le tendon du muscle extenseur des doigts est plus difficilement visible par échographie. Une première étude⁸⁸ conclut qu'il n'est pas possible de l'identifier par échographie. Une étude plus récente⁶⁶ indique que le tendon du muscle extenseur commun des doigts est visible dans sa partie proximale, par un abord latéral de l'articulation (fig 38). La présence du fascia permet de le distinguer du muscle tibial crânial. En coupe sagittale, on peut ainsi examiner son insertion fémorale.



Figure 38 : Tendon du muscle extenseur commun des doigts
(ENVL, Sonnet)

Par contre, en regard de l'espace intra-articulaire, le tendon est confondu avec la capsule articulaire. Toutefois, lorsque le récessus synovial est distendu par du liquide synovial hypo ou anéchogène (synovite), le tendon est bien visible.

En conclusion, le tendon du muscle extenseur commun des doigts ne peut pas être évalué dans sa totalité par échographie.

1.3.3.4.3. Tendon du muscle poplité

Le tendon du muscle poplité est également difficilement abordable. Une seule étude décrit son abord échographique⁶⁶. Il peut être visualisé uniquement au niveau de l'espace articulaire par un abord latéral sagittal : il s'agit d'une petite bande hypoéchogène juste au-dessus du ménisque latéral (fig 39).

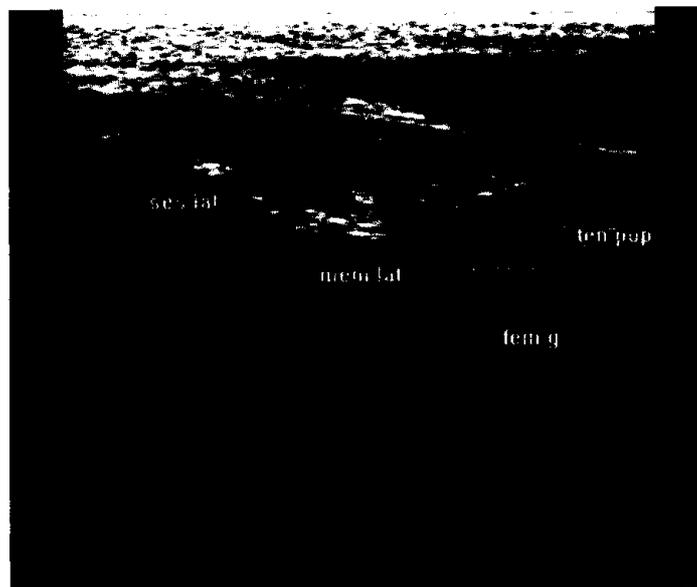


Figure 39 : Tendon du muscle poplité
(ENVL, Sonnet)

1.3.3.5. Moyens de glissement : les synoviales

1.3.3.5.1. Membrane synoviale

Sur un grasset normal, il n'est pas possible de visualiser la membrane synoviale.

1.3.3.5.2. Liquide synovial

Le liquide synovial est facilement visible par échographie. L'examen doit permettre d'appréhender la présence d'une quantité excessive de liquide et l'existence de modifications de ce liquide synovial (modifications d'échogénicité, particules en suspension).

Les vues crâiales de l'articulation sont les plus utiles pour détecter ces modifications. La vue supra-patellaire sagittale permet d'explorer le récessus synovial supra-patellaire. Il est

facilement visible sous le tendon du muscle quadriceps, proximale à la patella (fig 40). Dans une articulation saine, le récessus ne dépasse pas 1 à 2mm d'épaisseur et le liquide synovial ne peut pas être distingué du cartilage artulaire.

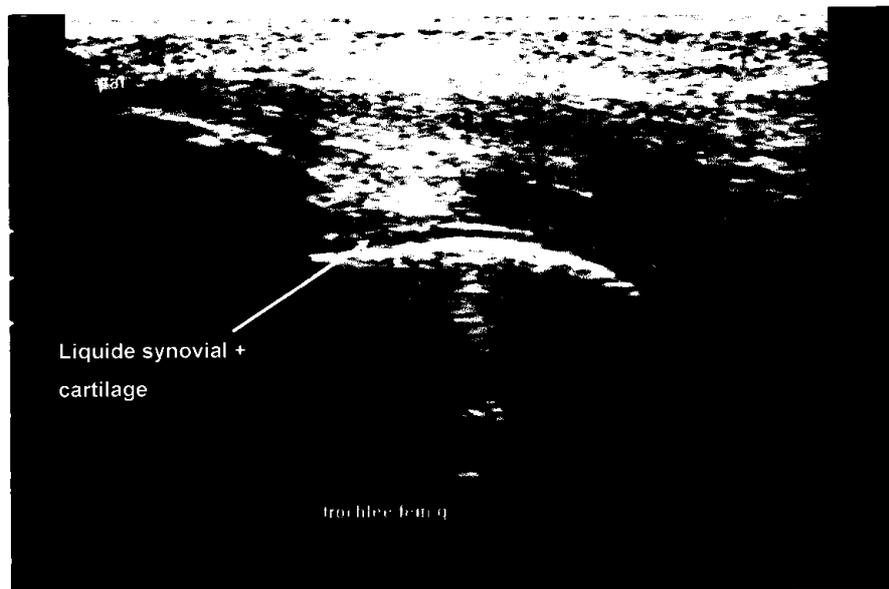


Figure 40 : Liquide synovial, récessus supra-patellaire
(ENVL, Sonnet)

On utilise également une vue infra-patellaire sagittale qui permet de visualiser la partie crâniale de la synoviale fémoro-patellaire. Une petite quantité de liquide synovial est visible sous le coussinet adipeux, au niveau des condyles fémoraux. Il s'agit d'une fine bande anéchogène.

Un abord sagittal latéral permet d'explorer une petite partie de la synoviale fémoro-latérale : une petite quantité de liquide synovial est visible entre les surfaces articulaires fémorales et tibiales et le ménisque latéral. Les mêmes remarques s'appliquent à l'abord médial. L'abord latéral permet également l'examen du récessus pour le tendon du muscle extenseur commun des doigts. Dans un grasset sain, très peu de liquide synovial est visible au niveau de ce récessus.

En conclusion, l'échographie permet une exploration satisfaisante des synoviales du grasset, en particulier du récessus supra-patellaire.

1.3.3.6. Coussinet graisseux

Le coussinet graisseux est examiné grâce à la vue infra-patellaire sagittale. C'est un tissu relativement hyperéchogène, mal délimité, situé sous le ligament patellaire (fig 41). L'échographie permet de visualiser, comme la radiographie, la position du coussinet graisseux, mais également son échostructure.

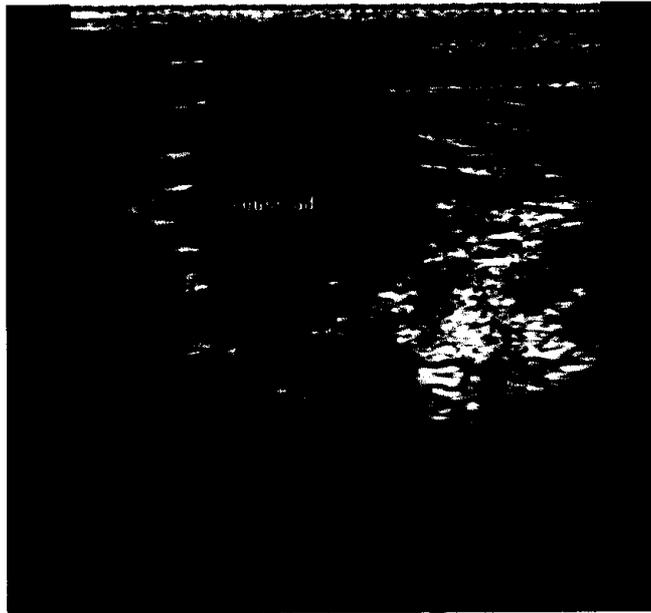


Figure 41 : Coussinet graisseux
(ENVL, Sonnet)

Remarque : sur des chiens de grande taille, il est possible de visualiser des vaisseaux à proximité du coussinet graisseux. Il s'agit de fines structures hyperéchogènes tubulaires avec un contenu peu échogène.

1.3.3.7. Conclusion : exploration échographique codifiée du grasset

L'examen du grasset doit être conduit dans sa totalité. Pour plus de rigueur, le grasset est examiné dans cet ordre : abord crânial, latéral, caudal et enfin médial. Le protocole présenté dans le tableau IX provient de la synthèse des publications de Reed⁸⁸, Kramer⁶⁶ et Mahn⁶⁹.

Tableau IX : Exploration échographique codifiée du grasset

Vues classiques	Positionnement	Éléments anatomiques visibles
Vue supra-patellaire sagittale	Grasset fléchi à 45° sonde placée longitudinalement sur le tendon du muscle quadriceps	Fémur distal, extrémité proximale de la patella Tendon du muscle quadriceps Capsule articulaire Récessus synovial supra-patellaire
Vue supra-patellaire transversale	Grasset fléchi à 45° sonde tournée de 90° par rapport à la vue précédente + vues dynamiques en flexion / extension	Partie proximale de la trochlée fémorale, bord proximal de la patella Tendon du muscle quadriceps

Vues para-patellaires	Grasset en flexion maximale Sonde déplacée le long du condyle fémoral latéral puis médial Vues para-sagittales et transversales	Condyles fémoraux
Vue infra-patellaire sagittale	Grasset légèrement fléchi Sonde placée longitudinalement sur le ligament patellaire Rotation d'environ 20° en direction latérale	Extrémité distale de la patella, partie crâniale des condyles fémoraux, tubérosité tibiale Partie crâniale de la synoviale fémoro-tibiale (liquide synovial) Coussinet graisseux Partie distale du ligament croisé crânial
Vue infra-patellaire transversale	Grasset en flexion maximale Sonde placée sur le ligament patellaire	Condyles fémoraux Ligament patellaire (mesure de son épaisseur)
Vue latérale sagittale	Grasset fléchi à 45°, sonde placée sur le ligament collatéral vue en position neutre, en rotation interne et externe	Partie latérale des condyles fémoraux et tibiaux Ménisque latéral Ligament collatéral latéral Tendon du muscle extenseur commun des doigts, tendon du muscle poplité
Vue latérale transverse	Grasset en extension plan de coupe passant par le sésamoïde latéral plan de coupe passant par la partie latéro-proximale du tibia	Condyle fémoral latéral, sésamoïde supracondylaire latéral Condyle tibial latéral
Vue caudale	Grasset fléchi vues sagittale et transverse	Bord caudal des condyles fémoraux et tibiaux Cornes caudales des ménisques Artère poplitée
Vue médiale sagittale	Grasset fléchi à 45°, sonde placée sur le ligament collatéral vues en position neutre, en rotation interne et externe	Partie médiale des condyles fémoraux et tibiaux Ménisque médial Ligament collatéral médial
Vue médiale transverse	Grasset en extension plan de coupe passant par le sésamoïde médial plan de coupe passant par la partie médio-proximale du tibia	Condyle fémoral médial, sésamoïde supracondylaire médial Condyle tibial médial

Afin d'optimiser l'exploration échographique, il est également nécessaire de connaître pour chaque structure les zones visualisables et celles qui ne le sont pas. Ces données sont recueillies dans le tableau X.

Tableau X : Résumé des structures visibles lors de l'échographie du grasset

Structures	Zones visibles	Zones non visibles
Surfaces articulaires		
Fémur	métaphyse distale face abaxiale et bord proximal des condyles lèvres de la trochlée et extrémité proximale de la gorge	face axiale des condyles gorge de la trochlée
Tibia	tubérosité tibiale bord des condyles, zones de contact avec les ménisques	aire intercondyloire
Formations complémentaires		
Ménisques	corne crâniale, partie moyenne et corne caudale	corne caudale difficilement visible chez les chiens de petite taille
Moyens d'union		
Capsule articulaire	insertion fémorale crâniale	confondue avec les autres structures par ailleurs
Ligament croisé crânial	partie moyenne et extrémité tibiale	extrémité fémorale
Ligament croisé caudal		généralement non visible
Ligaments collatéraux		non visibles
Ligament tibio-patellaire	visible en totalité	
Tendon du muscle quadriceps	visible en totalité	
Tendon du muscle extenseur commun des doigts	extrémité proximale uniquement	non individualisable par ailleurs
Tendon du muscle poplité	visible en regard de l'espace articulaire	non individualisable par ailleurs
Moyens de glissement		
Membrane synoviale		non visualisée
Liquide synovial	récessus supra-patellaire, partie crâniale de la synoviale fémoro-patellaire, parties externes de la synoviale fémoro-tibiale (au contact des ménisques), récessus pour le tendon du muscle extenseur commun des doigts	toutes les parties internes des synoviales
Coussinet graisseux	visible en totalité	

1.3.4. Echographie du grasset pathologique

1.3.4.1. Lésions ligamentaires

1.3.4.1.1. Lésions du ligament croisé crânial

La rupture du ligament croisé crânial est une pathologie orthopédique très fréquente chez le chien.

Le diagnostic de ces ruptures est avant tout clinique et radiographique. L'échographie est un moyen supplémentaire de diagnostic et d'évaluation des lésions associées, notamment lorsque les premiers examens n'ont pas permis de conclure avec certitude.

Les lésions du ligament croisé crânial sont recherchées grâce aux fenêtres échographiques décrites précédemment. L'aspect pathologique du ligament croisé crânial est bien connu :

- Lors de rupture totale, il n'est plus possible de visualiser la continuité des fibres du ligament. Ainsi dans l'étude de Kramer et coll.⁶⁶, le ligament n'a pas pu être examiné dans sa continuité, chez la totalité des patients (37) souffrant de rupture du ligament croisé crânial. Le ligament se rompt généralement en son milieu. L'extrémité fémorale restante n'est généralement pas visible, par contre, l'extrémité tibiale doit être systématiquement recherchée.
 - o Lors d'une rupture récente, on peut remarquer à sa place une zone hypoéchogène correspondant à un hématome, notamment lorsque la région est entourée du coussinet graisseux plus échogène⁵¹. L'extrémité tibiale du ligament croisé crânial rompu est encore généralement visible et apparaît tronquée. Elle n'a toutefois pas été mise en évidence dans l'étude de Kramer⁶⁶ pour 2 chiens avec une rupture récente (sur 37 cas de ruptures du ligament croisé crânial). Ces ruptures aiguës (entorse en hyper-extension ou en hyperflexion) sont rares chez le chien.
 - o Lors d'une rupture chronique (60% à 77% des cas selon les études), celle-ci survient sur un ligament très fragile et déjà dégénéré, pour lequel des modifications spécifiques seront visibles à l'échographie. La partie restante du ligament apparaît mal délimitée, épaissie et hyperéchogène (donc plus facilement visible). Cette apparence est bien nette au niveau de l'insertion tibiale (fig 42). L'insertion fémorale est plus difficile à distinguer, bien que dans certains cas, le moignon soit visible à l'endroit où il émerge de la zone intercondyloire.



Figure 42 : Ligament croisé crânial rompu (rupture ancienne), extrémité tibiale
(ENVL, Sonnet)

- Lors d'une rupture partielle, on peut visualiser une perte de continuité des fibres et/ou un ligament aminci, mais ces modifications sont plus difficiles à mettre en évidence.

L'aspect pathologique du ligament croisé crânial est donc bien décrit.

Par contre, d'après les premières publications, l'échographie ne semble pas une méthode très sensible pour le diagnostic des ruptures du ligament croisé crânial : le ligament n'a ainsi été visualisé que dans 19,6% des cas dans la série de Gnudi et coll. (9 grassets sur 46 avec rupture du ligament croisé crânial)⁵¹. Dans cette étude, aucune des ruptures partielles (3 cas) n'a été diagnostiquée par échographie. Cette faible sensibilité est due aux interférences causées par les lésions associées à la rupture du ligament croisé crânial. L'épanchement articulaire et le développement de tissus fibrosiques gênent la visualisation du ligament. Les auteurs concluent que le diagnostic de rupture du ligament croisé crânial n'est possible que dans des conditions très favorables : faible épanchement articulaire, absence ou faible réaction fibrosique, rupture laissant une extrémité tibiale de taille suffisante... Par ailleurs, l'extrémité fémorale du ligament croisé crânial n'étant pas accessible par échographie, les lésions intéressant ce site ne sont pas non plus diagnostiquées. L'apport diagnostique de l'échographie est également limité sur les chiens de très petite taille⁶⁶. L'étude des premières publications indique donc un intérêt limité de l'échographie pour le diagnostic des ruptures du ligament croisé crânial. Il ne s'agit toutefois pas de publications très récentes et la qualité du matériel échographique a progressé depuis.

La technique d'échographie associée à une injection intra-articulaire de produit salin, décrite précédemment, propose une alternative intéressante. Après injection, le ligament croisé crânial apparaît hyperéchogène et est facilement visualisé grâce à la fenêtre

échographique créée. On peut ainsi voir la perte de continuité au sein du ligament, l'extrémité rompue flottant dans le liquide salin. Avec cette technique, on obtient à priori une bonne qualité diagnostique des ruptures du ligament croisé : après injection intra-articulaire, la rupture était visible sur les 5 chiens de l'étude. Toutefois, il s'agit d'une procédure lourde et à risque. Une étude à plus grande échelle est nécessaire pour confirmer ces résultats et déterminer la sensibilité et la spécificité de cette méthode.

La rupture du ligament croisé crânial, qu'elle soit aiguë ou chronique, évolue toujours vers une arthrose de l'articulation^{103 109}. L'apparition de ces lésions arthrosiques est très précoce chez le chien (tableau XI) et le développement de l'arthrose se poursuit même après intervention chirurgicale^{41 55}. Les ruptures du ligament croisé crânial s'accompagnent souvent de lésions d'autres structures articulaires, notamment celles du compartiment médial : capsule articulaire au point d'angle caudo-médial, ménisque médial, ligament collatéral médial.

Tableau XI : Chronologie des phénomènes dégénératifs lors de rupture du ligament croisé crânial
*d'après*⁶²

Semaines	Lésions dégénératives
1	Début de fibrillation du cartilage
2	Hypervascularisation péri-articulaire
3	Formation d'ostéophytes (possible dès 7 jours)
4	Détection d'un épanchement articulaire médialement
6	Installation d'une fibrose péri-articulaire (restabilisation)
7	Lésions méniscales
8	Pic de la formation d'ostéophytes et de la synovite
13	Diminution de la synovite
16	Erosion du cartilage articulaire
24	Rupture du réseau de fibres de collagène
48	Ralentissement de la formation des ostéophytes

Lors des lésions traumatiques, les atteintes articulaires et périarticulaires sont également nombreuses et complexes¹¹¹. A la rupture du ligament croisé crânial, s'ajoutent d'autres lésions de ligaments (collatéraux, croisé postérieur), des lésions capsulaires ou méniscales et parfois des lésions cartilagineuses et osseuses.

L'échographie permet, contrairement à la radiographie, l'étude des tissus mous. Son utilisation est donc particulièrement intéressante dans le diagnostic des lésions liées à la

rupture du ligament croisé crânial, que ce soient des processus dégénératifs ou des lésions liées à une entorse traumatique complexe.

1.3.4.1.2. Lésions du ligament croisé caudal

Les ruptures isolées du ligament croisé caudal sont rares chez les carnivores domestiques. Tous les animaux ayant une atteinte de ce ligament ont des antécédents de traumatisme.

A l'examen clinique, un signe du tiroir caudal peut être mis en évidence sur un membre en flexion. Néanmoins, lors d'atteinte simultanée des deux ligaments croisés, il est difficile d'affirmer la rupture du ligament croisé caudal. De plus, la radiographie ne permet généralement pas de conclure. L'utilisation de l'échographie serait théoriquement intéressante dans cette indication. Toutefois, le ligament croisé caudal n'est visualisé que de manière partielle et uniquement chez quelques chiens de grande taille. L'échographie ne semble donc pas être un bon examen pour le diagnostic des lésions du ligament croisé caudal.

1.3.4.1.3. Lésions des ligaments collatéraux

Une atteinte des ligaments collatéraux est suspectée, à l'examen clinique, devant une laxité en varus (atteinte du collatéral latéral) ou en valgus (atteinte du collatéral médial)¹¹¹. La radiographie peut permettre de mettre en évidence cette laxité avec la réalisation de clichés sous contrainte.

L'échographie est classiquement utilisée pour le diagnostic d'atteintes tendineuses et ligamentaires. Toutefois, les études publiées indiquent que les ligaments collatéraux du grasset ne sont pas identifiables avec précision par échographie. Néanmoins, la présence d'une zone hypo à anéchogène dans la région du ligament, associée à une ouverture exagérée de l'espace articulaire lors des vues dynamiques, est une bonne indication de la présence d'une rupture ou d'une distorsion majeure d'un ligament collatéral⁶⁶.

1.3.4.1.4. Lésions du ligament patellaire

L'échographie du grasset est particulièrement intéressante pour l'examen du ligament patellaire.

Lors d'une rupture totale, l'échographie met en évidence la perte de continuité du ligament, les deux extrémités rompues se déplaçant l'une par rapport à l'autre lors de l'examen dynamique. Les ruptures totales sont également mises en évidence par radiographie avec un déplacement proximal, souvent net, de la patella. L'échographie peut préciser l'ancienneté de la lésion : une rupture aiguë se caractérise par un hématome hypo à anéchogène. Lors d'une rupture ancienne, la lésion est hyperéchogène avec un remaniement

de la structure fibrillaire⁶⁶. L'échographie apporte également un diagnostic de certitude des ruptures partielles, contrairement à la radiographie. Elle est aussi très utile dans le suivi, car elle permet de visualiser le tissu cicatriciel et de déterminer si la cicatrisation est terminée. La reprise de l'exercice est prévue avec précision.

L'échographie est également utilisée dans le diagnostic et le suivi des desmites du ligament patellaire. Une étude⁷¹ a utilisé la radiographie et l'échographie pour déterminer l'incidence de ces desmites après une ostéotomie de nivellement du plateau tibial. Les deux techniques permettent de mesurer l'épaisseur du ligament mais l'échographie apporte en plus des informations sur la structure du ligament, l'état des fibres...

1.3.4.2. Lésions méniscales

Les lésions méniscales apparaissent fréquemment lors de rupture du ligament croisé crânial. Leur incidence est variable selon les études, les populations étudiées et l'ancienneté de la rupture. Flo⁴⁵ rapporte moins de 10% de lésions méniscales sur des chiens de petite taille avec une rupture récente du ligament croisé crânial et jusqu'à 70% sur des chiens de plus grand gabarit avec un rupture ancienne. Une étude rétrospective sur 400 chiens de taille moyenne à grande³⁶ indique 67% de lésions méniscales chez des chiens présentant une rupture du ligament croisé crânial. La présence de lésions méniscales influence le pronostic après chirurgie. Un ménisque lésé et non retiré est à l'origine d'une mauvaise récupération post-chirurgicale³⁸ et de la persistance d'une douleur. Les lésions méniscales doivent donc être impérativement recherchées lors de rupture du ligament croisé crânial. Ce diagnostic n'est pas possible par radiographie et, le plus souvent, l'atteinte d'un ménisque est découverte lors de la chirurgie. Les ménisques d'apparence normale ne présentent pas de modifications histologiques de leur structure et doivent être laissés en place⁶⁰.

L'échographie peut permettre un diagnostic pré-chirurgical des lésions méniscales, ce qui a une influence sur la technique chirurgicale et sur le pronostic.

Le ménisque médial est de loin le plus touché, le ménisque latéral ne l'est que dans 6,73% des cas dans l'étude de Drape et coll.³⁶. Le point le plus sensible est la corne caudale du ménisque médial, qui peut être libérée de son attache tibiale et de ses adhérences à la capsule articulaire. On obtient alors une aggravation de l'instabilité du grasset, accélérant la progression de l'arthrose.

Les lésions méniscales sont très variables et plusieurs classifications ont été décrites.

On distingue ainsi (fig 43) :

- les désinsertions ou rupture des attaches capsulaires ou ligamentaires du ménisque qui touchent fréquemment les attaches caudales du ménisque médial (lésions ménisco-tibiales, ménisco-fémorales, ménisco-capsulaires)
- les ruptures longitudinales, qui touchent partiellement ou totalement l'épaisseur du ménisque, et siègent à des distances variées du bord libre. Elles se localisent plus fréquemment sur la partie caudale du ménisque médial. Il s'agit de lésions évolutives classées en 4 stades ^{105 37}. Le stade I correspond au stade initial. Le stade II regroupe toutes les lésions entre le stade I et la présence d'une anse de seau. Dans l'anse de seau (stade III), la partie déchirée du ménisque vient se positionner dans l'espace intercondylien, sous la poussée du condyle fémoral. L'extension du grasset est alors difficile. Lorsque l'anse de seau est luxée en permanence dans l'espace intercondylien, on parle de stade IV. L'existence de plusieurs anses de seau sur un même ménisque est possible.
- les ruptures obliques dites « en bec de perroquet » : il s'agit de ruptures longitudinales ayant atteint le bord concentrique du ménisque.
- les ruptures transversales, plus rares. Elles partent du bord interne vers le bord externe et sont dûes au cisaillement du condyle fémoral lors de la rotation interne. On les retrouve surtout au niveau de la corne antérieure ou de la partie moyenne du ménisque latéral.
- les déchirures horizontales qui siègent dans l'épaisseur du ménisque. Elles sont souvent associées aux autres déchirures. Par contre, elles sont sous diagnostiquées car difficilement visibles même sous arthroscopie.
- les kystes méniscaux liés au passage du liquide synovial au travers d'une fissure méniscale habituellement horizontale
- les atteintes dégénératives souvent associées à une chondromalacie ou une fibrillation cartilagineuse. Le ménisque apparaît alors atrophié (plus étroit, translucide, flasque, en collapsus) ou prolifératif (prolifération de tissus fibreux). Le ménisque peut devenir discoïde, ses attaches restant normales.

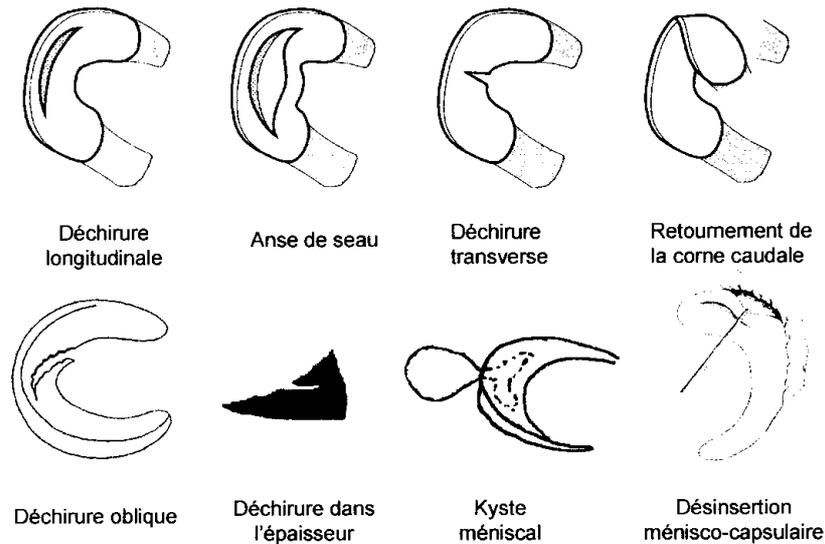


Figure 43 : Lésions méniscales
d'après^{19 22}

Cette description lésionnelle, très complète, est parfaitement adaptée aux lésions visualisées lors d'une arthroscopie ou une arthrotomie. Par contre, elle est plus difficilement utilisable en échographie, qui ne permet pas une description aussi fine des lésions.

Les premières études de Gnudi et Mahn rapportent que les ruptures partielles ou complètes sont difficilement diagnostiquées par échographie^{66 51}. Les atteintes chroniques sont, par contre, plus caractéristiques avec un aspect échographique très hétérogène du ménisque qui présente des zones hypo et hyperéchogènes (fig 44). Dans certains cas, il peut être luxé (il fait saillie entre les condyles fémoral et tibial), ou au contraire en collapsus.

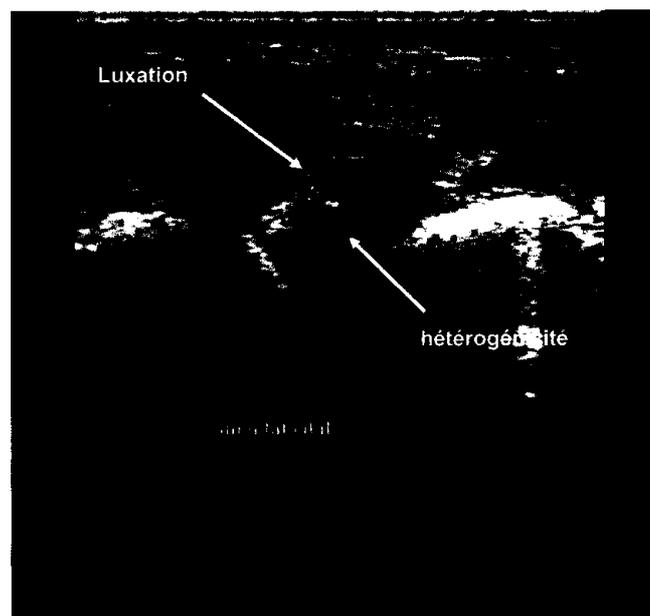


Figure 44 : Ménisque latéral hétérogène et luxé
(ENVL, Sonnet)

Ces premières publications concluent que l'échographie est une technique peu sensible, notamment car la corne caudale (la plus fréquemment atteinte) n'est pas explorable. Une étude de 2005⁶⁹ contredit ces résultats et accorde à l'échographie une sensibilité de 90,0% et une spécificité de 92,9%, ces valeurs étant obtenues sur un échantillon de 10 chiens. Les auteurs considèrent que tout changement dans l'apparence échographique d'un ménisque est indicateur de l'existence d'une lésion, et que la suspicion augmente avec le nombre d'anomalies observées. Les anomalies les plus fréquentes sont la présence d'un épanchement articulaire entre le ménisque et les condyles, d'un tissu méniscal hypo ou hyperéchogène, d'un contour irrégulier du ménisque ou d'un déplacement de ce dernier. Un déplacement crânial ou médial de la corne caudale du ménisque est en faveur de la présence d'une anse de seau. Lors de l'étude, une rupture complexe a pu être visualisée directement chez un chien.

Aucune étude ne rapporte par contre le diagnostic échographique d'une désinsertion ménisco-capsulaire, d'une lésion ménisco-tibiale ou ménisco-fémorale, atteintes fréquemment rencontrées lors de ruptures traumatiques mais aussi parfois lors d'atteintes dégénératives du ligament croisé crânial. Ces lésions sont de diagnostic difficile même par arthroscopie et il est possible que l'échographie ne puisse pas les mettre en évidence. Toutefois, un examen dynamique pourrait être utile et une étude échographique sur une série de cas comportant ce type de lésion permettrait de conclure.

L'échographie peut donc permettre le diagnostic de lésions méniscales, ce qui influence le traitement et modifie le pronostic. Toutefois, certains facteurs tels qu'une fibrose sévère des tissus mous en face médiale, la présence de nombreux ostéophytes ou une chirurgie préalable, limitent l'exploration des ménisques.

1.3.4.3. Lésions ostéocartilagineuses

1.3.4.3.1. Arthrose

L'arthrose est une pathologie commune des carnivores domestiques, elle concerne plus de 20% des chiens âgés de plus de 1 an. Le grasset est fréquemment concerné par cette pathologie dégénérative : sur 150 chiens pris au hasard, 20% présentent un grasset arthrosique¹⁰⁴, la cause la plus fréquente étant l'existence d'une rupture du ligament croisé crânial.

Au cours du processus arthrosique, le cartilage se dégrade progressivement et des fissures multiples apparaissent^{11 13}. Des fragments de cartilage sont alors libérés dans l'articulation, stimulant une réponse inflammatoire au niveau de la membrane synoviale.

Cette synovite entraîne la libération de cytokines pro-inflammatoires renforçant le processus de dégradation cartilagineuse. Le processus dégénératif se caractérise donc par l'installation d'un cercle vicieux cartilagino-synovial.

L'os sous-chondral souffre également suite à la modification des contraintes biomécaniques et à la présence de phénomènes inflammatoires : il se sclérose et produit des ostéophytes.

L'arthrose se caractérise donc par une atteinte concomitante du cartilage, de l'os sous-chondral et de la membrane synoviale.

Ces modifications microscopiques se traduisent par des lésions macroscopiques caractéristiques.

Les altérations du cartilage sont classiquement décrites par la classification de l'International Cartilage Repair Society (ICRS). On distingue^{62 44} :

- le grade I : on note une chondromalacie suivie par une fibrillation du cartilage, qui apparaît opaque et dépoli. A l'échographie, chez le chien, on peut éventuellement visualiser avec une sonde de fréquence moyenne à élevée (à partir de 7,5MHz) une augmentation localisée de l'épaisseur du cartilage, l'épaisseur normale variant entre 0,6 et 1,1mm selon le gabarit de l'animal⁸⁸.
- le grade II : il s'agit d'une fissuration, c'est-à-dire d'une lésion ne s'étendant pas à l'os sous-chondral (20 à 50% de l'épaisseur du cartilage). Chez le chien, ces lésions sont difficilement visualisées à l'échographie.
- le grade III : les lésions sont plus profondes et atteignent l'os sous-chondral, on parle d'ulcération.
- le grade IV : L'os sous-chondral est totalement mis à nu et se sclérose. Ces lésions d'éburnation sont facilement diagnostiquées chez le chien par échographie.

L'arthrose se caractérise également par la formation d'ostéophytes, première modification macroscopique visible. Ils apparaissent en général dès trois semaines après une rupture du ligament croisé crânial, certaines études rapportent même un délai minimum de 7 jours⁶². Dans le grasset, les ostéophytes sont diagnostiqués précocement par échographie. Des dépôts irréguliers et hyperéchogènes sur la surface articulaire sont à rechercher, en priorité, au niveau du pôle antérieur de la patella (premier lieu de formation), sur les faces médiales et latérales de la patella, au niveau de la trochlée et des condyles fémoraux (fig 45).

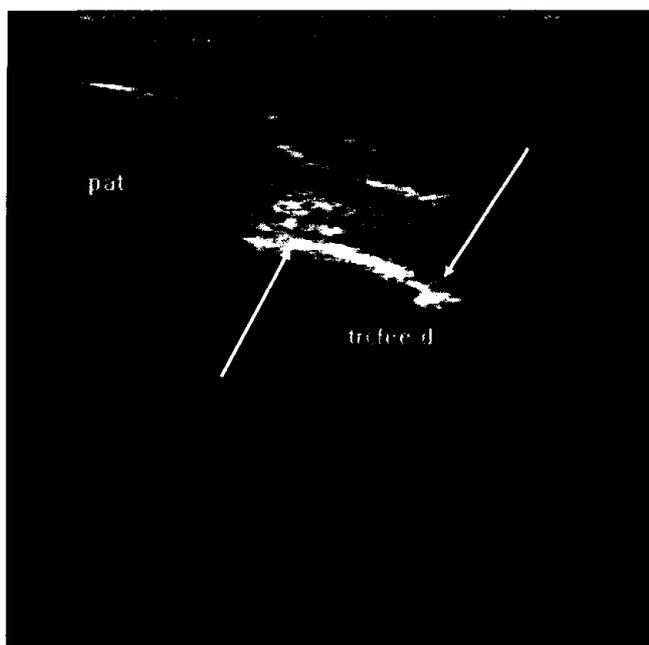


Figure 45 : Ostéophytes en regard de la trochlée
(ENVL, Sonnet)

1.3.4.3.2. Ostéocondrose - ostéocondrite disséquante

L'ostéocondrose est un défaut d'ossification du cartilage de croissance, se traduisant par un épaissement anormal du cartilage. Une fissure peut ensuite apparaître, un volet cartilagineux se sépare et est libéré dans la cavité articulaire, on parle alors d'ostéocondrite disséquante^{48 64 108}. Des fissures se développent depuis cet espace vers la cavité articulaire, formant un volet cartilagineux. Des médiateurs de l'inflammation sont libérés et engendrent ostéite, synovite et douleur articulaire. Le volet cartilagineux se détache et est libéré dans la cavité articulaire, on parle alors de souris articulaire. Ces fragments peuvent secondairement se calcifier.

La suspicion est clinique et le diagnostic est habituellement confirmé par radiographie, avec mise en évidence d'une image par soustraction au niveau de la surface articulaire. Les cas douteux relèvent de l'arthroscopie.

A l'échographie, la zone d'ostéocondrite disséquante a des bords irréguliers. On note d'abord une augmentation de l'épaisseur du cartilage. En regard, la ligne hyperéchogène correspondant à la surface osseuse est en dépression (fig 46), voire même absente. Dans tous les cas, des images sagittales et transversales doivent être obtenues, afin d'exclure la présence d'un artefact. Plus tardivement, les souris articulaires sont visibles : il s'agit de structures hyperéchogènes, de taille variable, flottant dans le liquide synovial ou accolées à la membrane synoviale. L'échogénicité des fragments cartilagineux dépend de leur degré de minéralisation. L'échographie semble avoir une bonne qualité diagnostique pour l'ostéocondrite disséquante

du grasset : dans l'étude de Kramer et coll.⁶⁶, l'OCD a été facilement mise en évidence par échographie chez les 15 chiens souffrant de cette pathologie. De plus, l'échographie permettrait un diagnostic plus précoce que la radiographie, dès la phase de chondrite, avec mise en évidence d'un œdème du cartilage.

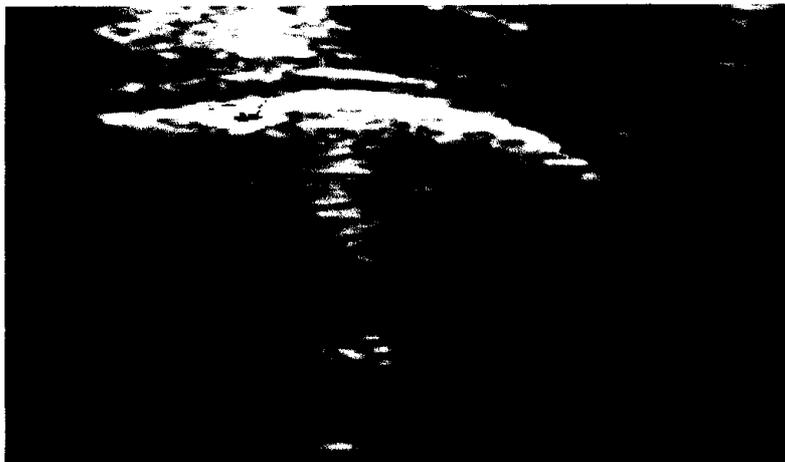


Figure 46 : Lésion d'ostéochondrite disséquante sur le condyle fémoral latéral
(ENVL, Sonnet)

1.3.4.4. Lésions capsulo-synoviales

1.3.4.4.1. Synovite

La synovite, lésion inflammatoire de la membrane synoviale, s'installe souvent secondairement à une autre pathologie articulaire. Elle est très fréquente lors de rupture du ligament croisé crânial : une synovite a été diagnostiquée par arthroscopie sur les 50 chiens souffrant de rupture du ligament croisé crânial¹.

Une synovite se traduit cliniquement par une distension articulaire liée à une quantité excessive de liquide synovial¹⁰³. L'échographie est particulièrement intéressante pour visualiser l'augmentation de la quantité de liquide, notamment au niveau du grasset. La distension du récessus synovial supra-patellaire est aisément visible (fig 47), le récessus ne dépassant pas normalement 1 à 2mm d'épaisseur. La présence d'un épanchement articulaire est facilement diagnostiquée. Lorsque l'accumulation de fluide est plus importante, il est possible de déterminer si des débris sont présents dans le liquide synovial.

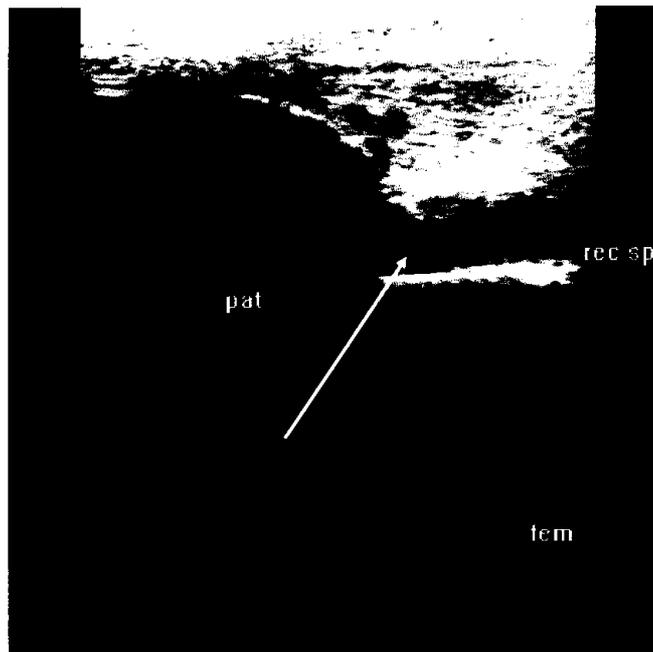


Figure 47 : Récessus supra-patellaire distendu par du liquide synovial
(ENVL, Sonnet)

Une vue infra-patellaire permet également de visualiser la présence d'une quantité excessive de liquide synovial en arrière du coussinet graisseux.

Les modifications affectant la membrane synoviale sont également diagnostiquées par échographie. On peut ainsi mettre en évidence, par une coupe infra-patellaire, un épaissement de cette membrane, une modification de son échogénicité, la présence de villosités ou de brides fibreuses.

1.3.4.4.2. Lésions capsulaires

Lors d'une rupture ancienne du ligament croisé crânial chronique, on visualise également des modifications de la capsule articulaire qui se sclérose et s'épaissit par la formation de tissu fibreux¹⁰³. Lors de l'échographie du grasset, ces modifications sont à rechercher plus particulièrement au niveau du récessus supra-patellaire, du récessus pour le tendon du muscle extenseur commun des doigts et sous le coussinet adipeux.

L'échographie peut également permettre le diagnostic des ruptures capsulaires intervenant notamment lors de rupture traumatique du ligament croisé crânial : rupture du coin postéro-interne ou postéro-externe. La ligne hyperéchogène correspondant à la capsule est interrompue et une extravasation de liquide synovial peut être présente. Toutefois, aucune étude ne rapporte le diagnostic de ces lésions par échographie et les zones postérieures du grasset sont difficilement accessibles par échographie.

1.3.4.4.3. Arthrite septique

L'échographie peut être utilisée en cas de suspicion d'arthrite du grasset où elle permet de mettre en évidence des modifications du liquide synovial (épanchement, hétérogénéité, particules en suspension), de la membrane synoviale et de la capsule articulaire (épaississement, hyperéchogénéité). Les complications dues à l'arthrite sont également visualisées : modification du cartilage, de l'os sous-chondral...

1.3.4.5. Lésions tendineuses

Ces lésions sont facilement diagnostiquées par échographie, l'aspect pathologique du tendon ayant été décrit précédemment.

1.3.4.5.1. Lésion du tendon du muscle extenseur commun des doigts

Le tendon du muscle extenseur commun des doigts est très bien visualisé par échographie. Elle permet le diagnostic des ruptures totales ou partielles, des tendinites et des tenosynovites affectant ce tendon. Aucune lésion de ce type n'est rapportée dans les études sur l'échographie du grasset. Toutefois, l'échographie semble particulièrement intéressante pour examiner ce ligament notamment lors d'une entorse grave où elle permet de faire un bilan lésionnel complet.

1.3.4.5.2. Lésion du tendon du muscle poplité

Le tendon du muscle peut également être le siège de lésions (rupture partielle ou totale, tendinite...) accompagnant la rupture du ligament croisé en particulier lors d'une atteinte du coin postéro-externe. Comme nous l'avons vu, ce tendon est difficilement isolé à l'échographie. Toutefois, d'autres études comportant des cas d'entorses complexes du grasset sont nécessaires pour évaluer la qualité diagnostique de l'échographie lors d'atteintes du tendon du muscle poplité.

1.3.4.6. Modification du coussinet graisseux

Lors de la rupture du ligament croisé crânial, le coussinet graisseux est généralement repoussé vers l'avant et médialement par l'épanchement articulaire. Cet effet de masse est visible à la radiographie mais également par échographie. Une fibrose se met également en place avec un coussinet graisseux qui apparaît plus échogène et hétérogène à l'échographie. Des zones d'opacité liquidienne sont parfois visibles à l'intérieur du coussinet.

2. Etude clinique sur treize chiens

2.1. Objectif

L'objectif de ce travail est d'étudier l'apport de l'échographie dans le diagnostic des ruptures du ligament croisé crânial et des lésions associées chez le chien. A terme, si les résultats s'avèrent concluants, l'échographie pourrait être utilisée en pratique notamment pour les cas où les examens orthopédiques et radiographiques ne permettent pas de conclure avec certitude, ou pour détecter des lésions associées telles que les lésions méniscales.

2.2. Matériels et Méthodes

Le principe est la comparaison de l'évaluation lésionnelle pré-opératoire par échographie à une visualisation directe des structures par arthrotomie. Cette dernière constitue la méthode de référence du diagnostic lésionnel pour l'analyse statistique, l'arthrotomie étant réalisée à la faveur du traitement chirurgical de la rupture du ligament croisé crânial. A l'issue de l'étude, la spécificité et la sensibilité de l'échographie, pour le diagnostic des ruptures du ligament croisé crânial et des lésions associées, sont comparées à celles des autres méthodes diagnostiques disponibles dans la littérature.

2.2.1. Animaux choisis

Cette étude porte sur des chiens vus à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon pour suspicion de rupture du ligament croisé crânial de mai 2006 à juin 2007.

2.2.1.1. Critères d'inclusion

Il s'agit d'une étude prospective réalisée en aveugle. Sont inclus dans l'étude, les chiens présentant une rupture du ligament croisé crânial, diagnostiquée ou fortement suspectée à la manipulation et/ou à la radiographie latérale du grasset, que ce soit :

- une rupture partielle ou complète
- une rupture aiguë ou chronique
- une rupture unilatérale ou bilatérale

Pour chaque cas, une consultation de chirurgie est réalisée préalablement, avec un examen clinique général et un examen orthopédique effectués par un chirurgien expérimenté.

Tous les renseignements recueillis sont enregistrés dans une base de données informatique. Après information et accord du propriétaire, une échographie du grasset est réalisée selon un protocole codifié. Lorsque le diagnostic de lésion du ligament croisé crânial est posé, un traitement chirurgical incluant une arthrotomie est effectué dans les deux jours suivant l'échographie.

2.2.1.2. Critères d'exclusion

L'étude comportant une comparaison entre les découvertes échographiques et chirurgicales, seuls sont inclus les chiens faisant l'objet d'une chirurgie du grasset par les chirurgiens de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon. Les lésions méniscales et arthrosiques étant progressives, seuls les cas où la chirurgie est effectuée dans les deux jours suivant l'échographie sont pris en compte. L'animal ne doit également pas avoir eu de pathologie antérieure sur ce même grasset.

2.2.2. Echographie du grasset

Pour l'étude échographique, l'appareil utilisé est un échographe Dynamic Imaging Diasus® avec une sonde linéaire 8-16MHz, d'une longueur de 26mm.

La méthode exploration échographique choisie pour cette étude dérive des méthodes précédemment décrites et est utilisée à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon. Elle est simplifiée par rapport à celles proposées dans la littérature et comporte moins de coupes. L'annexe 1 présente ces différentes coupes ainsi que l'image échographique correspondante.

Une étude préliminaire est d'abord réalisée sur cinq chiens sains afin de standardiser la méthode entre les différents imageurs. Ces deux cliniciens ont été formés à l'échographie du grasset mais ne sont pas spécialistes dans ce domaine. Comme prérequis, les échographistes ont une connaissance parfaite de l'anatomie du grasset et du fonctionnement de l'échographie. Les deux échographistes ignorent les résultats de la consultation de chirurgie et ne réalisent aucun examen orthopédique.

Pour presque toutes les coupes, l'examen est réalisé en décubitus latéral, du côté opposé à la lésion. Pour les coupes médiales, l'animal est parfois placé sur l'autre décubitus latéral. Dans tous les cas, l'examen échographique ne nécessite pas de sédation.

L'examen échographique est réalisé dans cet ordre :

- coupe suprapatellaire sagittale
- coupe suprapatellaire transverse
- coupes para-patellaires

- coupe infrapatellaire sagittale
- coupe infrapatellaire avec rotation externe de 20° de la sonde
- coupes latérales sagittales
- coupes médiales sagittales
- coupes caudales
- coupes transversale et longitudinale du tendon du muscle extenseur commun des doigts.

Les observations sont consignées sur des fiches d'exploration échographique (annexe 2).

2.2.3. Exploration per-opératoire

A la suite de l'échographie, les animaux subissent une chirurgie pour stabilisation du grasset. Quelque soit la technique thérapeutique utilisée, une arthrotomie est toujours effectuée afin d'inspecter l'articulation et de détecter la présence de lésions. Au besoin, une résection des fibres résiduelles du ligament croisé crânial rompu et une ménissectomie partielle sont réalisées.

L'arthrotomie commence par un abord latéral de l'articulation. L'incision cutanée est para-patellaire, et crânio-latérale au membre, elle débute proximale à la rotule et se termine distalement à la crête tibiale. Le tissu conjonctif sous-cutané est alors disséqué. On réalise ensuite une incision du fascia lata latéralement au ligament fémoro-patellaire et une dissection mousse des tissus sous-jacents. L'arthrotomie est effectuée latéralement avec une incision d'environ 1cm dans la capsule articulaire. Le grasset est ensuite fléchi et la patella luxée médialement. La cavité articulaire est alors inspectée dans sa totalité, un levier pouvant être utilisé pour faciliter la visualisation des portions caudales des ménisques. Lors de l'opération, le chirurgien, ignorant les conclusions de l'échographie, établit un bilan lésionnel. Les observations chirurgicales sont relevées sur des fiches d'évaluation per-opératoires (annexe 2).

2.2.4. Création des fiches d'évaluation

Le but étant de réaliser une étude statistique, il a été nécessaire de créer des fiches d'évaluation afin d'obtenir des données standardisées.

Une fiche a été élaborée pour chacune des évaluations : échographique (annexe 2) et per-opératoire (annexe 3). Le but étant de comparer les résultats obtenus lors des deux évaluations, les grilles ont été créées avec le plus de critères communs.

Chaque grille a été détaillée selon une évaluation par structure anatomique. Toutes les structures pouvant être visualisées à l'échographie, et ce, même de manière occasionnelle, ont été incluses dans les critères d'évaluation. Les structures non visibles à l'échographie ont été exclues des deux grilles d'évaluation.

Ensuite, pour chaque structure, la grille propose un choix entre absence et présence de lésions, le type de lésions étant ensuite détaillé. Dans un souci d'objectivité, les questions à réponse ouverte ont été évitées.

2.2.5. Analyse statistique

L'analyse statistique est réalisée au moyen du logiciel R 2.5.0.⁵⁹.

La sensibilité Se (capacité du test à donner un résultat positif en cas de lésion) est obtenue selon la formule :

$$\boxed{Se = VP / (VP + FN)} \text{ avec VP=vrais positifs et FN=faux négatifs}$$

La spécificité Sp (capacité du test à donner un résultat négatif en l'absence de lésion) est obtenue selon la formule :

$$\boxed{Sp = VN / (VN + FP)} \text{ avec VN=vrais négatifs et FP=faux positifs}$$

La valeur prédictive positive VPP (probabilité qu'une réponse positive corresponde à la présence d'une lésion) correspond à :

$$\boxed{VPP = VP / (VP + FP)}$$

La valeur prédictive négative VPN (probabilité qu'une réponse négative corresponde à une structure non lésionnelle) correspond à :

$$\boxed{VPN = VN / (VN + FN)}$$

Les effectifs étant faible, les intervalles de confiance sont calculés avec la loi binomiale.

Les grades ostéophytiques obtenus par échographie et par visualisation directe sont comparés avec le test non paramétrique de comparaison de moyennes sur séries appariées de Wilcoxon et le test non paramétrique de corrélation basé sur le coefficient de corrélation de Spearman.

2.3. Résultats

L'ensemble des résultats est reporté en annexe 4. Treize chiens sont inclus dans l'étude. Il s'agit majoritairement de chiens de grande taille (38,4% de labradors, 23,1% de rottweilers), pesant en moyenne 30kg (+/- 14kg), âgés en moyenne de 7,3 ans. Ils boitent en

moyenne depuis 4 mois. Le grasset droit est atteint dans 10 cas, le grasset gauche dans 3 cas (cas 2, 4 et 10).

La durée de l'examen échographique est à chaque fois inférieure à 30 minutes. Ce délai a progressivement diminué au cours de l'étude, chaque imageur devenant plus expérimenté. Toutefois, une durée minimale de 20 minutes est nécessaire pour pratiquer un examen de qualité.

2.3.1. Evaluation du ligament croisé crânial

2.3.1.1. Observations cliniques

Lors de l'examen orthopédique, sans sédation, 11 chiens présentent une instabilité crânio-caudale en flexion et en extension, 2 chiens ne présentent de signe du tiroir crânial positif qu'en flexion (cas 3 et 10).

2.3.1.2. Observations échographiques

Le ligament croisé crânial n'est pas visualisé à l'échographie dans 4 cas (cas 1, 2, 4 et 12). Dans 7 cas (cas 3, 6, 7, 9, 10, 11 et 13), seule l'extrémité tibiale est visible et les images obtenues ne permettent pas de poser un diagnostic. Dans deux cas, les images obtenues sont interprétables et indiquent une rupture partielle pour le cas 5 et une rupture totale pour le cas 8 (fig 48).

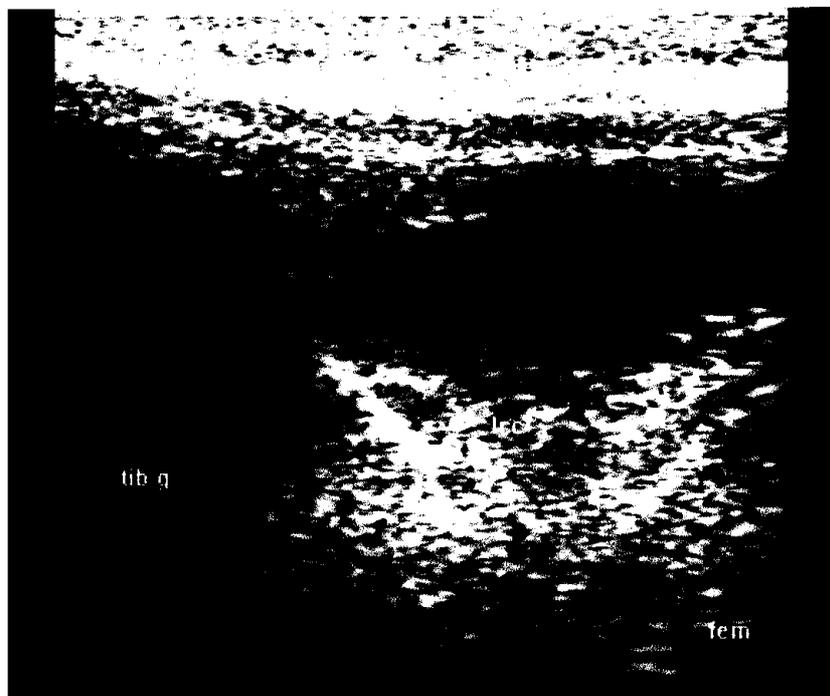


Figure 48 : Rupture totale du ligament croisé crânial, cas 8
ENVL, Sonnet

2.3.1.3. Observations per-opératoires

Lors de l'arthrotomie, on note 3 (23,1%) ruptures partielles (cas 2, 5 et 6) et 10 (76,9%) ruptures totales. Les cas présentant un signe du tiroir crânial positif uniquement en flexion (cas 3 et 10) sont atteints d'une rupture totale du ligament croisé crânial.

2.3.1.4. Synthèse

Les quatre cas pour lesquels le ligament croisé crânial n'était pas du tout visualisé à l'échographie présentent une rupture totale. Les 7 cas pour lesquels l'extrémité distale était visible mais l'image non diagnostique présentent une rupture partielle pour 1 cas (cas 6) et une rupture totale pour 6 cas (cas 3, 7, 9, 10, 11 et 13). Le diagnostic échographique de rupture partielle pour le cas 5 et de rupture totale pour le cas 8 est confirmé lors de l'arthrotomie. L'échographie a donc permis de poser un diagnostic dans 15,4% des cas. Un calcul de spécificité n'est par contre pas possible car l'étude ne comporte pas de cas avec un ligament croisé crânial sain.

2.3.2. Evaluation des ménisques

2.3.2.1. Observations cliniques

Lors de l'examen orthopédique, un claquement méniscal est perceptible pour 6 cas (cas 1, 2, 4, 5, 7 et 13).

2.3.2.2. Observations échographiques

Tous les ménisques sont être visualisés lors de l'échographie : 4 cas présentent deux ménisques normaux (cas 2, 5, 6 et 9) ; 8 cas ont un ménisque lésé et le cas 13 a les deux ménisques lésés. Au total, à l'échographie, on note 16 ménisques normaux et 10 ménisques lésés, dont 7 ménisques médiaux et 3 ménisques latéraux. Sur les 10 ménisques lésés, le type de lésion ne peut être précisé que pour 6 ménisques : cas 4 (fig 49), 7, 10, 12 et les deux ménisques du cas 13.



Figure 49 : Lésion en regard de la corne caudale du ménisque médial, cas 4
ENVL, Sonnet

2.3.2.3. Observations per-opératoires

Lors de l'inspection de l'articulation sous arthrotomie latérale, 9 chiens sur 13 (cas 1, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12 et 13) présentent au moins une lésion méniscale soit 69,3%. On note 8 replis ou luxations dynamiques de la corne postérieure du ménisque médial et 1 déchirure transverse de la corne postérieure d'un ménisque médial (cas 11). 69,2% des ménisques médiaux présentent donc une lésion, toujours située sur la corne postérieure. Lors de l'arthrotomie, on note deux déchirures de la corne antérieure du ménisque latéral (cas 12 et 13), 15,4% des ménisques latéraux présentent donc une lésion dans cette étude.

2.3.2.4. Synthèse

Sur les 6 chiens pour lesquels un claquement méniscal a été noté lors de la consultation, un cas ne présente aucune lésion méniscale lors de l'arthrotomie (cas 2). Dans cette étude, la sensibilité du claquement méniscal pour la détection de lésions méniscales est donc de 55,6% (intervalle de confiance à 95% : [48,9% ; 61,7%]) et la spécificité de 75,0% (intervalle de confiance à 95% : [59,9% ; 85,2%]), les résultats sont présentés dans le tableau XII.

Tableau XII : Sensibilité et spécificité du claquement méniscal

Claquement méniscal	Ménisque lésé		Ménisque normal		Se / Sp
	VP	FN	VN	FP	
	5	4	3	1	Se=55,6% Sp=75%

En ne prenant pas en compte le détail des lésions (uniquement dichotomie ménisque normal / ménisque anormal), l'échographie a une sensibilité de 81,8% (intervalle de confiance à 95% : [48,2% ; 97,8%]) et une spécificité de 93,3% (intervalle de confiance à 95% : [68,0% ; 99,9%]), une valeur prédictive positive de 90,9% (intervalle de confiance à 95% : [58,7% ; 99,8%]) et une valeur prédictive négative de 87,5% (intervalle de confiance à 95% : [61,6% ; 98,5%]) dans la détection des lésions méniscales. Les résultats sont présentés dans le tableau XIII. Les faux négatifs correspondent à des luxations dynamiques de la corne postérieure du ménisque médial.

Tableau XIII : Sensibilité et spécificité de l'échographie pour les lésions méniscales

Echographie	Structure lésée		Structure normale		Se / Sp
	VP	FN	VN	FP	
	9	2	14	1	Se= 81,8% Sp=93,3%

Par contre, l'échographie ne permet pas de préciser le type de lésion présente sur le ménisque, elle autorise uniquement la localisation de la lésion : corne antérieure ou postérieure.

2.3.3. Evaluation des synoviales

2.3.3.1. Observations échographiques

Un épanchement articulaire est visible pour 8 cas à l'échographie (cas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 13).

La membrane synoviale est visualisée à l'échographie pour 3 cas : elle apparaît normale pour un cas (cas 4) et épaissie pour les deux autres (cas 1 et 2).

La capsule articulaire est visualisée pour 8 cas, elle apparaît normale à l'échographie pour 1 cas (cas 4) et épaissie pour les 7 autres cas (cas 1, 8, 9, 10, 11, 12 et 13).

2.3.3.2. Observations per-opératoires

Sept cas présentent un épanchement articulaire lors de la chirurgie (cas 5, 6, 7, 8, 10, 11 et 13).

Des changements de type inflammatoire sont également régulièrement notés au niveau de la capsule articulaire et de la membrane synoviale lors de l'arthrotomie. Ainsi, un épaississement de la capsule et de la membrane synoviale est visible sur 8 cas (61,5% des cas : cas 1, 2, 3, 8, 10, 11, 12 et 13), un cas en plus présentant un épaississement isolé de la capsule articulaire (cas 9) et un autre de la membrane synoviale (cas 6).

2.3.3.3. Synthèse

L'épanchement articulaire détecté par échographie est confirmé pour 7 des 8 cas lors de la chirurgie. Le cas pour lequel le résultat n'est pas confirmé à l'arthrotomie présente un épanchement modéré à l'échographie (cas 9).

Les modifications de la membrane synoviale et de la capsule articulaire détectées lors de l'échographie sont confirmées lors de l'évaluation per-opératoire. Par contre, le bilan lésionnel effectué lors de la chirurgie montre que l'épaississement de la membrane synoviale n'a été détecté à l'échographie que pour deux cas sur 9 (cas 1 et 2) et que celui de la capsule articulaire ne l'a été que pour 7 cas sur 9 (cas 1, 8, 9, 10, 11, 12 et 13).

2.3.4. Evaluation des ligaments patellaire et collatéraux

Les ligaments collatéraux du grasset et le ligament patellaire sont observés de manière systématique lors des échographies. Par contre, aucune lésion du ligament patellaire ou des ligaments collatéraux n'est présente dans notre série de cas.

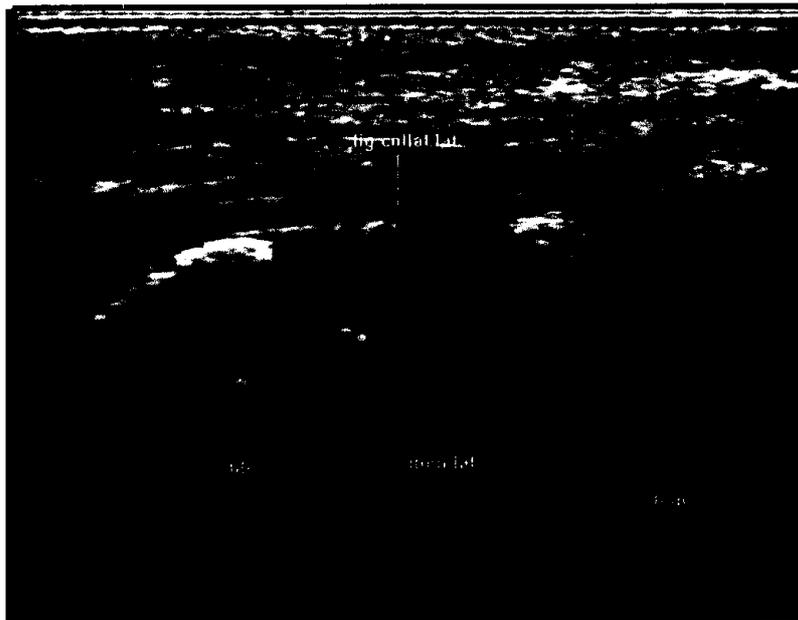


Figure 50 : Ligament collatéral latéral
ENVL, Sonnet

2.3.5. Evaluation des surfaces osseuses

2.3.5.1. Observations échographiques

L'échographie détecte des ostéophytes dans 12 cas sur 13 (tous sauf le cas 2), notamment en regard de la trochlée fémorale avec 15,4% de grade 1 (cas 5 et 7), 38,5% de grade 2 (cas 3, 4, cf figure 51, 8, 10 et 11) et 38,5% de grade 3 (cas 1, 6, 9, 12 et 13).

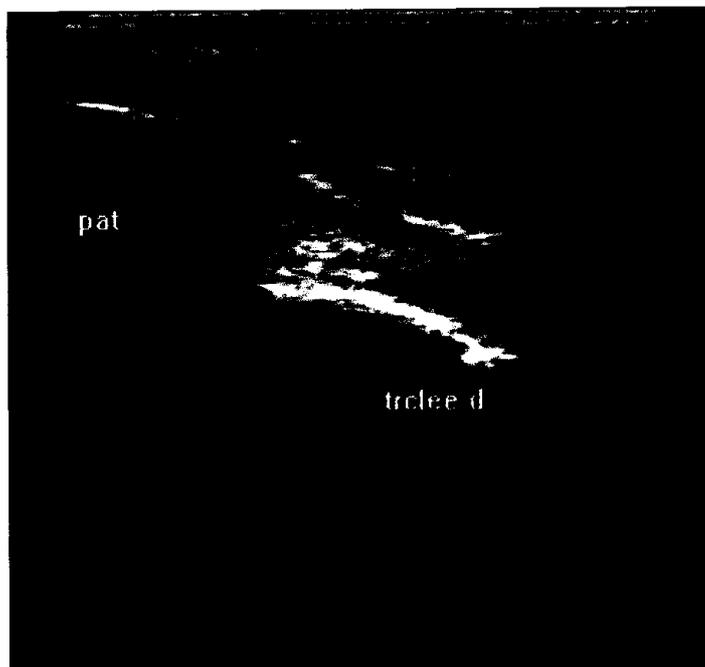


Figure 51 : Ostéophytes grade 2, cas 4

ENVL, Sonnet

Une lésion d'ostéochondrite disséquante du condyle fémorale latéral est diagnostiquée lors de l'examen échographique (cas 10).

2.3.5.2. Observations per-opératoires

Des ostéophytes sont présents dans la totalité des cas lors de l'arthrotomie. Il s'agit majoritairement d'ostéophytes nombreux et volumineux : grade 3 dans 69,2% des cas, grade 2 dans 15,4% (cas 2 et 4) et grade 1 dans 15,4% des cas (cas 5 et 7). Les ostéophytes sont toujours présents au niveau de la trochlée et parfois sur les condyles fémoraux (38,5% des cas) et la patella (15,4% des cas). Un cas présente une lésion d'ostéochondrite disséquante du condyle fémoral latéral (cas 10).

2.3.5.3. Synthèse

Le score ostéophytique échographique est corrélé au score ostéophytique réel (visualisé lors de l'arthrotomie) avec $p < 0,01$. Il existe par contre une différence significative ($p < 0,05$) entre la moyenne des grades obtenus par échographie et la moyenne réelle. L'échographie sous-estime le grade ostéophytique réel (nombre et taille des ostéophytes).

Le seul cas d'ostéochondrite disséquante présent dans notre étude est visualisé lors de l'échographie (cas 10).

2.3.6. Evaluation des tendons

Le tendon du muscle extenseur commun des doigts est également visualisé à l'échographie pour tous les cas. Deux cas présentent des signes d'épanchement dans les enveloppes du tendon lors de l'échographie, ces lésions de bursite sont confirmées lors de la chirurgie (cas 3, cf figure 52, et 4).



Figure 52 : Bursite en regard du tendon du muscle extenseur commun des doigts, cas 3
ENVL, Sonnet

Par contre, le tendon du muscle poplité n'est jamais identifié lors de l'examen échographique.

2.4. Discussion

2.4.1. Choix du matériel

Le matériel utilisé était celui disponible à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon pendant la durée de l'étude. La sonde échographique linéaire de 8-16MHz était adaptée à l'étude de l'articulation du grasset. Toutefois, une deuxième sonde de fréquence plus élevée aurait permis une meilleure résolution (résolution axiale de 0,13mm pour une sonde de 21MHz contre 0,2 pour une sonde de 16MHz) pour les structures les plus superficielles, en particulier pour l'étude du cartilage, des ménisques et des ligaments collatéraux. Une sonde sectorielle de plus faible fréquence aurait éventuellement permis une meilleure visualisation du ligament croisé crânial, grâce à la forme en cône de son faisceau d'ultrasons et la profondeur d'exploration plus importante. Contrairement à ce qui est décrit dans d'autres

études^{88 66 51}, l'utilisation d'un « stand-off pad » n'a pas été nécessaire pour obtenir des images interprétables.

2.4.2. Animaux utilisés

Afin d'obtenir un nombre suffisant de cas pour réaliser une étude statistique valable, les critères ont volontairement été choisis peu sélectifs (pas de critère de poids, d'ancienneté de la boiterie...), permettant ainsi d'inclure un maximum de cas. Par contre, aucune méthode d'échantillonnage n'a été utilisée et les résultats s'appliquent donc uniquement à la population étudiée, composée majoritairement de :

- chiens de grandes races
- chiens pour lesquels une chirurgie de stabilisation était recommandée (fibrose modérée, pas trop de remaniement osseux)
- chiens relativement bien médicalisés.

Les résultats obtenus ne peuvent être extrapolés à tous les gabarits de chiens. Toutefois, la population étudiée appartient à celle couramment atteinte de rupture du ligament croisé crânial^{39 62 114}.

De plus, seuls les chiens pour lesquels une chirurgie pour rupture du ligament croisé crânial avait été planifiée ont été inclus. Ainsi cette étude ne porte que sur des chiens pour lesquels un diagnostic de certitude ou de quasi certitude a été posé préalablement à l'échographie.

En outre, cette étude ne comporte qu'un faible nombre de cas, ce qui explique qu'on obtienne des intervalles de confiance très large pour les calculs de sensibilité, spécificité, valeur prédictive positive et négative. Sachant que pour de tels effectifs, une comparaison entre les résultats obtenus par les deux imageurs n'est pas possible, nous n'avons donc pas pu quantifier le biais lié au facteur manipulateur.

2.4.3. Critique de la méthode

2.4.3.1. Evaluation échographique

Cette méthode présente l'avantage d'être simplifiée donc plus abordable pour personne ayant une formation échographique de base. Après un apprentissage minimum de 3 à 4 séances d'une heure, elle peut être utilisée par tout praticien possédant de bonnes bases anatomiques et sachant utiliser un échographe. Elle permet également un examen plus rapide donc plus adapté à la pratique quotidienne.

Elle présente toutefois moins de coupes échographiques et par conséquent l'étude est moins exhaustive : les coupes infrapatellaire transverse, latérale transverse et médiale transverse ne sont pas réalisées. Le ligament tibio-patellaire, la partie crânio-distale et l'extrémité proximale des condyles fémoraux, l'extrémité distale des condyles tibiaux ainsi que les sésamoïdes supracondyloire sont donc moins bien examinés. Néanmoins, de manière rétrospective, il apparaît que les structures les plus importantes sont visualisées et que cette technique semble suffisante pour le diagnostic de la majorité des pathologies du grasset (lésions ligamentaires et tendineuses, synovite, lésions méniscales, arthrose, ostéochondrite disséquante...).

L'autre défaut que l'on peut imputer à cette méthode est l'intervention non négligeable du facteur manipulateur. En effet, l'interprétation des images obtenues est subjective. Elle est notamment conditionnée l'expérience de l'imageur, les images méniscales prêtant le plus à discussion. Une relecture des images par le deuxième manipulateur aurait donc été intéressante mais elle n'a pas pu avoir lieu pour des raisons pratiques.

2.4.3.2. Evaluation per-opératoire

Une visualisation directe des structures lors de l'arthrotomie permet un diagnostic de certitude. Il s'agit également d'une méthode avec très peu de biais : le facteur manipulateur est quasi inexistant étant donné qu'aucune interprétation n'est nécessaire, contrairement à une méthode utilisant un outil d'imagerie (résonance magnétique par exemple). Toutefois, certaines études ont montré que le bilan lésionnel établi par arthrotomie pouvait être incomplet : les déchirures méniscales transverses sont beaucoup moins bien diagnostiquées par arthrotomie que par arthroscopie^{4,87}.

2.4.4. Critique des résultats

2.4.4.1. Valeur diagnostique de l'échographie lors de pathologie du grasset avec une sonde de 8-16MHz

2.4.4.1.1. Valeur diagnostique de l'échographie lors de rupture du ligament croisé crânial

Dans notre étude, l'évaluation échographique du ligament croisé crânial s'est avérée très décevante. Il n'a été possible de le visualiser que dans 9 cas sur 13, et ce, uniquement dans sa partie distale, au niveau de l'insertion tibiale. Il n'a pas été possible de le suivre sur toute sa longueur, même sur les 5 chiens sains examinés préalablement à l'étude. Une rupture partielle ou totale n'a donc pu être diagnostiquée avec certitude que pour 2 cas. Ainsi,

l'échographie a permis un diagnostic dans 15,4% des cas. Ce résultat est comparable à celui rapporté par Gnudi en 2001 où le ligament croisé crânial rompu avait pu être observé dans 19,6% des cas⁵¹. Cette faible qualité diagnostique est également rapportée dans d'autres études^{42 88 66 97}, toutefois aucune sensibilité n'était mesurée dans ces publications. Elle est liée, comme nous l'avons déjà vu, à l'incidence non normale du faisceau ultrasonore et à la proximité avec le coussinet graisseux. De plus, la présence d'un épanchement inflammatoire complique l'interprétation des images^{88 97}. Les résultats plus faibles dans notre étude, comparés à ceux de Gnudi peuvent être liés au faible effectif étudié mais peuvent aussi s'expliquer par le type de matériel utilisé et par la moindre expérience en échographie articulaire des deux imageurs de notre étude.

La valeur diagnostique de l'échographie pour les lésions des structures ligamentaires profondes du grasset s'avère nettement insuffisante. L'utilisation d'une sonde sectorielle de plus faible fréquence pourrait légèrement l'améliorer en augmentant la profondeur d'exploration. La dimension de la fenêtre reste néanmoins un facteur limitant, l'axe du faisceau devant passer entre les condyles. L'association de l'échographie avec une injection intra-articulaire de sérum physiologique proposée par Seong⁹⁷ semble prometteuse, toutefois aucune sensibilité n'ayant été mesurée dans son étude, il n'est pas possible de déterminer si elle apporte réellement un bénéfice en termes de sensibilité et spécificité.

2.4.4.1.2. Valeur diagnostique de l'échographie lors de lésions méniscales

Dans notre étude, l'échographie s'est révélée très spécifique et relativement sensible pour la détection des lésions méniscales. Les résultats obtenus montrent qu'elle est plus performante que la détection d'un claquement méniscal (sensibilité de 81,8% pour l'échographie comparée à 55,6% pour la détection d'un claquement méniscal et spécificité de 93,3% comparée à 75%). Contrairement à ce que rapportent d'autres auteurs^{88 66}, l'examen des ménisques est possible sur des chiens de moins de 20kg, en utilisant une sonde linéaire de haute fréquence, notre série de cas comportant un caniche et un yorkshire.

Un ménisque normal est d'échogénicité homogène, son bord abaxial est en continuité avec le condyle fémoral et le plateau tibial. Lorsque son apparence est modifiée à l'échographie (ménisque hétérogène, déplacé ou de contours modifiés), une lésion doit être fortement suspectée. Par contre, l'échographie ne permet pas de préciser le type de lésion. De plus, dans notre série de cas, toutes les lésions méniscales ne sont pas représentées, nous ignorons donc si elles sont toutes détectables à l'échographie. L'ensemble des faux négatifs de notre étude est lié à des luxations dynamiques de la corne postérieure du ménisque médial,

le ménisque étant en place lors de l'échographie. Un examen dynamique systématique est à envisager pour améliorer la sensibilité diagnostique de l'échographie.

Les résultats que nous avons obtenus (sensibilité 81,8% et spécificité 93,3%) sont proches de ceux publiés dans un article récent par Mahn⁶⁹ (sensibilité 90,0% et spécificité 92,9%). En raison des faibles effectifs de notre étude, la différence de sensibilité entre les deux études peut ne pas être significative (intervalle de confiance très large pour notre étude). Si cette différence est réelle, la moindre sensibilité obtenue dans notre série de cas peut être expliquée par la différence d'expérience entre les échographistes des deux études (échographistes expérimentés pour celle de Mahn par rapport aux échographistes formés mais avec moins d'expérience dans notre étude), les sondes échographiques étant comparables et les fenêtres échographiques identiques.

2.4.4.1.3. Valeur diagnostique de l'échographie lors de lésions synoviales

Les modifications capsulo-synoviales sont moins bien diagnostiquées par échographie. L'échographie est très sensible pour le diagnostic de l'épanchement articulaire et permet de mettre en évidence des accumulations de faible volume. Par contre, elle est plus aléatoire pour la détection des changements capsulaires : elle permet de diagnostiquer ces lésions lorsque la capsule est identifiée, mais ceci n'a été possible que pour 8 cas sur 13. De plus, aucune lésion autre qu'un épaissement de la capsule n'étant présente dans notre étude, nous ignorons la sensibilité de l'échographie pour la détection des déchirures capsulaires. De même, la membrane synoviale n'a été visualisée que pour 3 cas. L'échographie est donc très performante pour détecter un épanchement articulaire et peut permettre de visualiser des changements de la capsule articulaire et de la membrane synoviale. Elle n'apporte toutefois pas de diagnostic de certitude concernant les lésions de ces deux dernières structures.

2.4.4.1.4. Valeur diagnostique de l'échographie lors de lésions des ligaments collatéraux

Contrairement aux conclusions obtenues dans d'autres études utilisant des sondes de 7,5MHz^{88 66}, les ligaments collatéraux ont pu être visualisés de manière satisfaisante. Nous supposons donc que l'échographie permet le diagnostic des lésions des ligaments collatéraux, avec une sonde de fréquence relativement élevée. Néanmoins, aucune lésion de ce type n'était présente dans notre série de cas, une étude portant sur des grassets avec lésion des ligaments collatéraux serait nécessaire pour vérifier cette conclusion.

2.4.4.1.5. Valeur diagnostique de l'échographie lors de lésions ostéocartilagineuses

L'échographie nous a également permis de diagnostiquer les lésions ostéocartilagineuses. Les ostéophytes, généralement secondaires à l'instabilité du grasset, sont notés préférentiellement en regard de la trochlée fémorale et se traduisent par une irrégularité de la surface osseuse avec des zones en relief hyperéchogènes. Les lésions ostéophytiques diagnostiquées par échographie sont corrélées aux lésions réelles, visualisées lors de l'arthrotomie. Toutefois, l'échographie sous-estime ces lésions en particulier la taille et le nombre des ostéophytes. En revanche, l'échographie permet un diagnostic très précoce de la formation d'ostéophytes, ces derniers étant visibles dans notre étude dès 2 semaines après le début des symptômes. Le cartilage est également bien visualisé à l'échographie, sous forme d'un liseré hypoéchogène à la surface de l'os. Une sonde de très haute fréquence (40MHz¹⁰²) aurait pu permettre une meilleure visualisation du cartilage. Mais ces sondes sont encore peu répandues et d'un coût prohibitif. L'échographie a permis de diagnostiquer la seule lésion d'ostéochondrite disséquante présente dans notre série. Sur une série de 15 cas, Kramer⁶⁶ avait déjà noté la très bonne qualité diagnostique de l'échographie pour les lésions d'ostéochondrite disséquante.

2.4.4.1.6. Valeur diagnostique de l'échographie lors de lésions tendineuses

Le tendon du muscle extenseur commun a été observé systématiquement à l'échographie et deux bursites ont pu être diagnostiquées. L'échographie nous apparaît donc être une bonne méthode diagnostique des atteintes du tendon de l'extenseur commun des doigts. Bien que Kramer⁶⁶ rapporte qu'il ne peut être correctement visualisé qu'à l'aide d'un « stand-off pad », ceci ne nous semble pas nécessaire avec une sonde de haute fréquence. Le tendon du muscle poplité n'a pas pu être visualisé, contrairement à l'étude de Kramer, ce qui est peut être lié au manque d'expérience des imageurs de notre étude.

2.4.4.2. Comparaison de l'échographie avec d'autres examens complémentaires

Lors de pathologie musculo-squelettique, l'examen orthopédique est indispensable afin de localiser la lésion avant d'envisager des examens complémentaires et permet souvent une première orientation diagnostique.

Il débute par un examen à distance puis rapproché.

L'articulation est ensuite mobilisée. Les anomalies le plus souvent rencontrées, lors de rupture du ligament croisé crânial, sont une douleur à l'hyperextension, une rotation interne exagérée lors de la flexion^{62 6,100 14} et des crépitements. La présence d'un claquement lors des mouvements de flexion-extension peut faire suspecter la présence de lésions méniscales^{62 76}⁴⁶. L'existence d'un ressaut lors de la manipulation du grasset, particulièrement lors de la mise en évidence du mouvement de tiroir crânial est également en faveur de la présence d'une lésion méniscale^{7 46}. Cependant, la présence de ce « clic méniscal » doit être interprétée avec précaution⁷⁷. Il peut être confondu avec des crépitements provenant de lésions ostéocartilagineuses ou d'autres tissus mous. Flo rapporte dans une étude, que pour deux cas, le clic audible était lié à une portion résiduelle de ligament croisé crânial, de grande taille, qui s'accrochait lors des manipulations⁴⁵. De même, l'absence de claquement audible ne permet pas d'exclure la présence d'une lésion méniscale^{95 19}.

L'examen orthopédique se termine par la réalisation des tests spécifiques de la rupture du ligament croisé crânial : le test du tiroir crânial et le test de compression tibiale. Ces tests mettent en évidence une instabilité crânio-caudale du grasset, ce mouvement étant pathognomonique de la rupture du ligament croisé crânial. Ainsi, dans une étude portant sur 42 grassets sains et 72 grassets avec rupture du ligament croisé crânial, De Rooster, Van Ryssen et Van Bree ont obtenu une spécificité de 98% et une sensibilité de 86% pour le test du tiroir crânial³².

La mise en évidence d'au moins un test de laxité positif permet un diagnostic de certitude de rupture du ligament croisé crânial. Par contre, la présence de deux tests négatifs ne permet en aucun cas d'exclure une rupture du ligament croisé crânial : les faux-négatifs sont fréquents. Le grasset peut être stable à la manipulation suite à une fibrose articulaire chronique ou à la contraction musculaire^{49 76}. Une sédation profonde ou une anesthésie assurent une myorelaxation et améliorent la sensibilité des tests de laxité^{49 76}.

Les tests peuvent également être faussement négatifs lors de ruptures partielles car l'instabilité est moins marquée⁴⁹ et le mouvement de tiroir est bloqué de manière abrupte comme sur un grasset sain⁷⁶. Ainsi une étude de Scavelli et coll. rapporte que sur 25 ruptures partielles confirmées par arthrotomie, un signe du tiroir était palpable uniquement sur 13 cas⁹⁵. Les ruptures partielles concernant uniquement la bande caudo-latérale sont particulièrement difficiles à détecter à l'examen clinique. La bande cranio-médiale, tendue en permanence, empêche le mouvement de tiroir à tous les degrés de flexion¹⁰⁰.

Ainsi, l'examen orthopédique permet de mettre en évidence une boiterie et de localiser le segment douloureux. Les tests du tiroir crânial et de compression tibiale peuvent détecter une laxité antéro-postérieure du tibia par rapport au fémur, laxité pathognomonique d'une

rupture du ligament croisé crânial. Bien que très spécifiques, ces tests sont peu sensibles et le recours à des examens complémentaires est nécessaire face à tout grasset stable et douloureux.

En outre, l'examen orthopédique ne permet pas de mettre en évidence avec certitude la présence de lésions associées : ostéo-arthrose, lésions méniscales, tendineuses...et n'a pas de valeur pronostique.

2.4.4.2.1. Radiographie du grasset

La radiographie est une technique accessible dans la quasi-totalité des cliniques vétérinaires. Elle est facilement réalisable et peu coûteuse. Pour de nombreux praticiens, l'imagerie du grasset reste essentiellement radiographique, et sans préparation¹⁷.

2.4.4.2.1.1. Sans produit de contraste

Les radiographies sans préparation permettent une bonne évaluation du tissu osseux, contrairement à l'échographie où seules les surfaces osseuses sont accessibles. Par contre, les tissus mous ne sont pratiquement pas visualisés.

On réalise classiquement deux incidences : crânio-caudale et médio-latérale, cette dernière étant la plus utilisée. Une vue particulière, caudo-crâniale a été proposée par Montgomery et coll.⁷⁵ pour radiographier la fosse intercondyloire, souvent sténosée lors de rupture du ligament croisé crânial : le faisceau doit être orienté avec un angle de 12° par rapport à la diaphyse fémorale dans le plan sagittal et avec une obliquité de 7° caudolatéralement et craniomédialement.

La radiographie permet d'abord d'exclure les autres pathologies pouvant affecter le grasset : fracture, ostéochondrite disséquante, avulsion tendineuse ou ligamentaire¹¹⁷, processus tumoral... Pour ces indications, elle est beaucoup plus informative que l'échographie. Toutefois, il est montré que l'échographie a une bonne qualité diagnostique concernant l'ostéochondrite disséquante⁶⁶. En effet, cette pathologie concerne la surface articulaire des condyles fémoraux, zone facilement accessible par échographie.

La radiographie permet également d'estimer indirectement la stabilité du grasset et de documenter la présence de lésions dégénératives.

Evaluation de la stabilité

L'instabilité est recherchée en observant les relations spatiales entre les os⁸⁵. La position du tibia par rapport au fémur dépend directement de l'intégrité des ligaments qui les unissent. Ainsi une modification de cette position est indicatrice d'une lésion ligamentaire.

Dans cette indication, on utilise l'incidence médio-latérale. Lorsque la laxité est particulièrement importante, un cliché standard, grasset fléchi à 90°, peut suffire à mettre en évidence une avancée du plateau tibial par rapport à l'épiphyse fémorale (signe de Cazieux positif⁷²). Cette image est diagnostique d'une rupture du ligament croisé crânial. Toutefois, il est fréquent qu'aucun déplacement ne soit visible sur ce cliché standard.

Une nouvelle méthode radiographique a été proposée par De Rooster et Van Bree³² pour améliorer la sensibilité de cet examen lors de rupture du ligament croisé crânial. Cette méthode utilise un cliché pris en incidence médio-latérale, sous contrainte. Pour favoriser la myorelaxation, l'animal est tranquilisé ou anesthésié. Le grasset est maintenu fléchi à 90° et une pression manuelle sur le métatarse permet de fléchir le tarse au maximum. Comme pour le test de compression tibiale, on obtient, lors de rupture du ligament croisé crânial, une avancée du plateau tibial par rapport au fémur. On trace sur le cliché la parallèle à l'axe du fémur, passant crânialement au sésamoïde supracondyloire. Cette droite doit être tangente à l'extrémité caudale du plateau tibial. Lors de rupture du ligament croisé crânial, le tibia est déplacé crânialement et la droite passe caudalement au plateau tibial.

Dans une étude³² portant sur 42 grassets sains, 72 grassets avec rupture partielle ou totale et 5 grassets avec une autre pathologie, De Rooster, Van Ryssen et Van Bree ont obtenu une spécificité de 100% (pas de test positif sur les grassets sains ou ceux avec une pathologie autre qu'une rupture du ligament croisé crânial) et une sensibilité de 97% (deux tests négatifs : un sur une rupture partielle et un sur une rupture totale) pour les radiographies avec compression tibiale. Les auteurs accordent donc à cette technique une forte valeur diagnostique, la sensibilité semblant bien meilleure que l'échographie. Le principal inconvénient est l'obligation d'une contention du membre pendant la prise de cliché, ce qui nécessite des mesures de radioprotection très rigoureuses.

Cette technique de radiographie sous contrainte a également été testée dans une étude portant uniquement sur des ruptures partielles du ligament croisé³⁰. Sur les 33 cas, une radiographie positive a été obtenue systématiquement, alors que le test du tiroir crânial était faussement négatif pour 9 cas. La sensibilité de ce test semble donc également très élevée, même pour les ruptures partielles.

Une autre étude, moins concluante, a été réalisée par De Rooster et Van Bree³¹, où différents repères osseux étaient utilisés pour quantifier l'avancée tibiale. Un large éventail de valeurs a été obtenu sur les grassets sains, ce qui ne permet pas de donner un intervalle de référence. En outre, aucune différence significative n'a été obtenue ni entre les cas de rupture partielle et de rupture totale, ni entre les cas avec ou sans lésion méniscale. Cette technique ne

permet donc pas de préciser le type de rupture du ligament croisé ou la présence de lésion méniscale, l'échographie pouvant apporter plus de précision dans ce cas.

De Rooster et Van Bree ont noté au cours de leurs travaux que, lors de rupture du ligament croisé crânial, les radiographies mettaient également en évidence un déplacement du sésamoïde poplité. Précédemment, un déplacement disto-médial du sésamoïde poplité n'avait été rapporté que deux fois, lors d'avulsions du muscle poplité^{40,83}. Une nouvelle étude a donc été réalisée pour déterminer l'utilité du sésamoïde poplité comme marqueur radiographique d'une rupture du ligament croisé crânial²⁹. La position du sésamoïde dépendant du degré de tension du muscle poplité, les radiographies doivent toujours être prises avec le même degré de flexion. Dans cette étude, la technique de radiographie sous contrainte, précédemment décrite, a été utilisée. 79 grassets avec rupture du ligament croisé crânial, 10 grassets avec luxation médiale de la rotule et 20 grassets sains ont été radiographiés. Aucun déplacement du sésamoïde poplité n'a été noté sur les grassets sains ou sur ceux avec une luxation de la rotule. Excepté dans un cas, un déplacement distal du sésamoïde était présent sur tous les grassets avec rupture du ligament croisé. Ce déplacement était notamment visible même sur les cas où l'avancée du plateau tibial était peu évidente. Les auteurs ont donc obtenu avec ce marqueur une spécificité de 100% et une sensibilité de 99% pour le diagnostic d'une rupture du ligament croisé crânial. Toutefois, le sésamoïde poplité n'est pas visible chez tous les chiens et cette technique est plus fastidieuse à mettre en œuvre.

Malgré des résultats encourageants, ces techniques sont actuellement délaissées et les radiographies sous contrainte sont plutôt utilisées pour rechercher des lésions des ligaments collatéraux.

Evaluation des lésions associées à une rupture du ligament croisé crânial

Actuellement, la radiographie est surtout utilisée pour évaluer les conséquences de l'instabilité du grasset.

Lésions des tissus mous

Seuls le tendon patellaire et le coussinet adipeux étant visualisés à la radiographie, la majorité des lésions des tissus mous ne sont pas diagnostiquées par cette technique.

L'examen radiographique permet de mettre en évidence un déplacement crânial du coussinet adipeux. Cette anomalie signe la présence d'un épanchement ou d'une fibrose articulaire. L'épanchement articulaire, distendant la capsule articulaire, peut également être visualisé caudalement au plateau tibial. Ces lésions ne sont pas spécifiques d'une rupture du

ligament croisé crânial mais permettent d'orienter le diagnostic. La radiographie permet également d'évaluer la masse musculaire.

Dans cette indication l'échographie est beaucoup plus pertinente que la radiographie :

- elle permet de distinguer épanchement articulaire et fibrose
- l'épanchement articulaire est visible quelle que soit la quantité de liquide synovial
- le tendon supra-patellaire est très bien examiné
- d'autres lésions sont potentiellement visibles sur la capsule articulaire, les ménisques, les ligaments collatéraux, les tendons...

Lésions osseuses

L'indication principale de la radiographie, lors d'une suspicion de rupture du ligament croisé crânial, est la recherche de lésions osseuses dégénératives : ostéophytose, sclérose sous-chondrale (fig 53). Ces lésions arthrosiques sont la conséquence de l'instabilité.

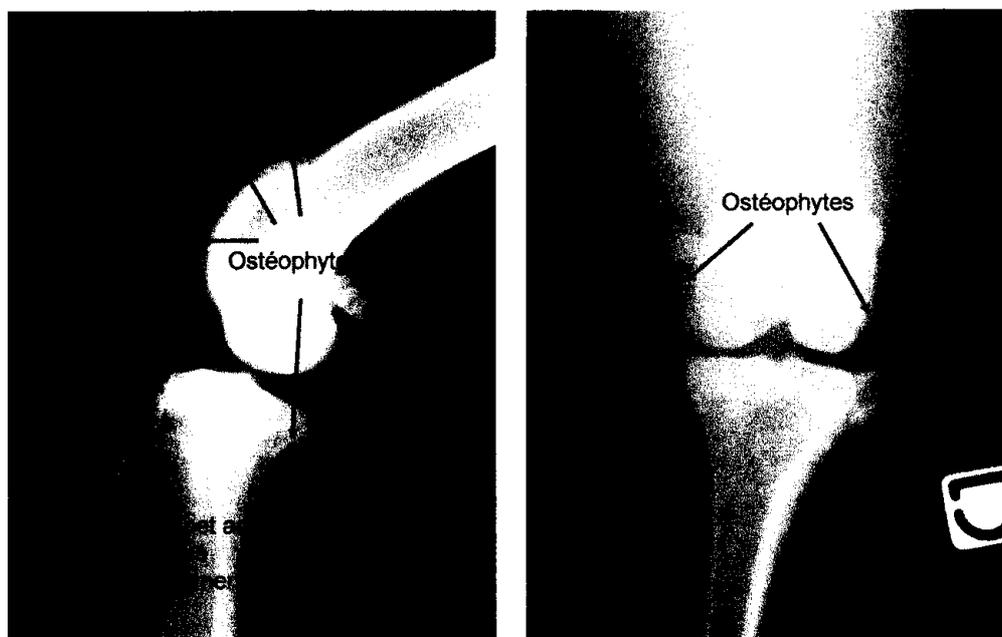


Figure 53 : Modifications radiographiques lors de rupture ancienne du ligament croisé crânial, vues médio-latérale (à gauche) et crânio-caudale (à droite)
(ENVL, Sonnet)

Le rétrécissement de l'espace articulaire n'est pas appréciable sur une radiographie de grasset en raison de la superposition des condyles et de l'axe des rayons.

Les ostéophytes se développent d'abord sur les lèvres de la trochlée et le bord distal de la rotule, puis sur les condyles fémoraux et le plateau tibial. La plupart des études rapportent qu'ils sont visibles dès 3 semaines après une rupture du ligament croisé crânial sur des vues médio-latérale et crânio-caudale. Dans une étude de 1994, des ostéophytes ont pu être identifiés radiographiquement dès 2 semaines après une section du ligament croisé crânial¹¹⁵.

Cette détection précoce est liée à l'utilisation de vues obliques (caudomédiale-crâniolatérale et craniomédiale-caudolatérale) en plus des vues classiques. Sur les vues obliques, les deux lèvres de la trochlée sont séparées, facilitant la visualisation des ostéophytes de petite taille.

La radiographie permet également la détection des modifications de l'os sous-chondral. La sclérose sous chondrale, lésion plus tardive, est ainsi bien visible. Toutefois, ces modifications sont plus facilement et plus précocement observées par IRM ou scintigraphie¹¹⁵.

Ainsi, l'échographie est moins pertinente que la radiographie pour le diagnostic des lésions osseuses associées à la rupture du ligament croisé crânial. Les ostéophytes sont détectés aussi précocement par échographie mais ceux situés sur les condyles et le plateau tibial sont plus difficilement mis en évidence. De plus, l'échographie ne détecte pas les modifications de l'os sous-chondral. Elle permet par contre de visualiser le cartilage, bien que de manière imparfaite.

La radiographie a également été utilisée comme outil pronostique. Lors des ruptures du ligament croisé crânial, 40% des chiens, en moyenne, vont présenter dans l'année une rupture de l'autre ligament croisé crânial. Si le grasset controlatéral présente des signes d'arthrose à la radiographie, le pourcentage passe à 70%, contre 10% si aucune lésion arthrosique n'est visible.

2.4.4.2.1.2. Avec produit de contraste

La radiographie avec préparation (arthrographie) utilise l'injection intra-articulaire d'un produit de contraste afin de surligner la surface du cartilage et les ménisques. L'arthrographie demande peu de matériel mais elle est très contraignante. Elle nécessite un protocole précis avec de nombreux clichés. Son interprétation est également très délicate en raison de la discrétion des lésions articulaires, de la superposition des tissus et de l'effet de masque causé par l'accumulation de produit de contraste dans les culs de sacs synoviaux. Elle est donc très peu utilisée en médecine vétérinaire.

Toutefois, en médecine humaine, on attribue à l'arthrographie une sensibilité proche de 100% et une spécificité de 98% pour les lésions méniscales, l'arthroscopie étant la méthode de référence⁶⁷. Cette technique est donc classiquement utilisée en cas de lésions méniscales ou lors de genoux douloureux en l'absence de lésion visible à la radiographie. La qualité diagnostique de l'arthroscopie semble identique à celle de l'IRM pour les lésions méniscales et même supérieure pour les désinsertions ménisco-capsulaire du ménisque médial. L'IRM présentant de nombreux artefacts après une chirurgie, l'arthrographie est également très utilisée pour explorer un genou en post-chirurgical^{2 67}.

En conclusion, on peut dire que la radiographie est un examen de première intention très informatif, qui permet une bonne orientation diagnostique. Toutefois, elle reste parfois insuffisante pour déterminer l'origine d'un grasset arthrosique, douloureux et non inflammatoire. La radiographie permet surtout l'exploration des tissus durs du grasset, elle est donc complémentaire de l'échographie.

2.4.4.2.2. Tomodensitométrie

Autre technique d'imagerie utilisant les rayons X, la tomodensitométrie ou CT scan a pour avantage, par rapport à la radiographie, d'éviter la superposition des structures. L'image est obtenue par coupe, la résolution est ainsi nettement améliorée.

Une étude sur des grassets sains de chiens a montré que la tomodensitométrie permet la visualisation : des ligaments croisés, des ménisques et des ligaments collatéraux⁹³. Toutefois, cette technique présente pour les tissus mous une résolution bien inférieure à celle de l'IRM, au profit de laquelle elle est délaissée aussi bien chez l'homme que chez le chien.

La combinaison d'un CT-scan avec l'injection intra-articulaire d'un produit de contraste, nommé arthros scanner, améliore la résolution et permet la visualisation d'un plus grand nombre de structures, comme le ligament ménisco-fémoral, les ligaments ménisco-tibiaux crâniens et caudaux, le ligament interméniscal, le tendon du muscle extenseur commun des doigts, le tendon du muscle poplité et le tendon patellaire⁹³. Les reconstructions obliques permettent de visualiser le ligament croisé crânial dans sa continuité. Le cartilage est par contre difficilement identifié et apparaît artificiellement absent par endroit. Toutefois, aucune étude n'est encore publiée sur l'utilisation de la tomodensitométrie, avec ou sans produit de contraste, lors de rupture du ligament croisé chez le chien. Chez l'homme, l'arthros scanner apporte des renseignements comparables à ceux de l'IRM et est réservé au diagnostic des lésions ostéochondrales, pour lesquelles il semble plus performant⁶⁷. L'arthros scanner, plus informatif, présente comme risques ceux liés à une injection intra-articulaire (arthrite septique, inflammation...). Une inflammation articulaire et des réactions allergiques, rapportées chez l'homme, n'ont jamais été mises en évidence chez le chien⁹³.

En comparaison de l'échographie, le scanner apporte une meilleure définition des structures articulaires et permet de suivre le ligament croisé crânial dans sa continuité. Par contre, c'est une technique encore relativement peu disponible en médecine vétérinaire, coûteuse, qui utilise des rayons ionisants et nécessite une anesthésie générale. De plus, aucune étude n'a vérifié sa qualité diagnostique lors de rupture du ligament croisé crânial chez le chien.

2.4.4.2.3. IRM

L'imagerie par résonance magnétique utilise le principe de la résonance magnétique nucléaire¹¹⁶ : on place le patient dans un champ magnétique très puissant. Tous les atomes d'hydrogène vont alors s'orienter selon ce champ magnétique. L'application d'une onde radio pulsatile permet ensuite de faire dévier légèrement l'axe des atomes d'hydrogène. Lors de la phase de relaxation, les atomes d'hydrogène se replacent selon le champ magnétique et émettent en même temps de l'énergie. On obtient alors un signal enregistré par l'appareil. Le signal dépend de la quantité d'atomes d'hydrogène présents dans un tissu et de leur environnement. Chaque tissu émet un signal propre, le contraste de l'imagerie par résonance magnétique est donc excellent. De plus, toute modification au sein d'un tissu va entraîner une altération de son signal. Tous les processus pathologiques sont identifiables par résonance magnétique : tumeur, infection, trauma, troubles métaboliques et dégénératifs.

Les tissus contenant le plus de graisse apparaissent très blancs (moelle osseuse, coussinet graisseux), à l'inverse la corticale, les muscles, les ligaments et les ménisques sont plutôt noirs. Le cartilage articulaire a une opacité intermédiaire⁵⁸. En fonction du type de pondération choisi (T1, T2...), des paramètres d'acquisition sont modifiés et certains tissus seront mieux visualisés^{8,116}. Par contre, l'imagerie par résonance magnétique ne permet pas de visualisation directe du calcium, qui n'émet aucune résonance¹¹⁶. Les éléments calcifiés peuvent être visualisés indirectement lorsqu'ils sont surlignés par les tissus mous environnants. L'imagerie par résonance magnétique est donc très souvent associée à des radiographies, notamment lors de tumeurs osseuses.

Un autre avantage de l'IRM est l'obtention d'image par coupes, évitant la superposition des tissus et améliorant encore la résolution.

L'IRM peut être conjuguée avec l'administration intraveineuse de gadolinium, qui a son propre moment magnétique et améliore le contraste¹¹⁶. Il fait également ressortir les éléments les plus vascularisés (zones inflammatoires, tumeur très irriguée...).

Toutes les structures du grasset sont identifiables (muscles, tendons, ligaments, ménisques, capsule, cartilage) y compris certains nerfs et vaisseaux (fig 54).



Figure 54 : IRM d'un grasset de chien, coupe para sagittale
(Crédit photographique E. Viguiet)

Lors d'une rupture du ligament croisé crânial, on observe une discontinuité du ligament, un signal anormal ou une position anormale^{18 57}. En présence d'une lésion aiguë, on enregistre un signal de haute intensité dans le ligament, qui correspond à de l'œdème et de l'hémorragie⁹⁶.

Chez l'homme, d'après les résultats de Fisher sur 1014 cas et en prenant l'arthroscopie comme méthode de référence⁵², Gonzalez estime la sensibilité de l'IRM à 93% pour les atteintes du ligament croisé crânial, du croisé caudal et du ménisque médial, 69% pour les lésions du ménisque latéral; la spécificité est estimée à 93% pour les lésions du ligament croisé crânial, 100% pour celles du croisé caudal, 84% pour le ménisque médial et 94% pour le ménisque latéral. Ces résultats sont confirmés par une étude rétrospective sur 194 patients, du même auteur. La valeur prédictive négative de l'IRM est également très bonne : 94 à 96%²¹. L'IRM constitue donc une excellente méthode diagnostique en médecine humaine où elle supplante l'arthrographie pour l'évaluation des ménisques⁹⁶.

En médecine vétérinaire, la technique est relativement bien connue car le chien a longtemps servi de modèle expérimental. En 1994¹¹⁵, l'IRM a été utilisée pour observer les changements dégénératifs faisant suite à une section du ligament croisé crânial. Elle a permis de mettre en évidence des changements subtils et précoces au niveau du cartilage, alors que dans une étude précédente de 1987⁹², l'IRM n'avait pas permis de détecter ces défauts cartilagineux. Les auteurs expliquent cette différence par des coupes beaucoup plus fines, qui limitent les superpositions et améliorent la visualisation : coupes de 4mm contre 1cm pour l'étude de 1987. L'aspect normal et lésionnel du grasset est ensuite décrit en 1997⁸.

Toutes les études précédentes utilisant des appareils à haute ou moyenne fréquence, Baird et coll ont testé un appareil à basse fréquence pour décrire l'anatomie normale du grasset chez 4 chiens⁹. Ces appareils à basse fréquence, à priori moins performants, sont beaucoup plus pratiques en médecine vétérinaire, un système d'anesthésie pouvant être placé dans la salle. Cette étude montre que les images obtenues sont de bonne qualité, par contre l'acquisition nécessite plus de temps. Les auteurs concluent que cette technique peut être mise en oeuvre pour le diagnostic des pathologies du grasset chez le chien.

L'IRM est une technique d'imagerie très performante, permettant le diagnostic des ruptures du ligament croisé crânial, du ligament croisé caudal, des atteintes méniscales, des lésions des ligaments collatéraux et des tendons. Elle est par contre moins fiable que l'arthroscopie pour le diagnostic des désinsertions ménisco-capsulaires. L'IRM autorise également la détection des ostéophytes, des modifications du cartilage articulaire et de l'os épiphysaire. Les synovites peuvent également être diagnostiquées, toutefois il semble que l'échographie soit plus performante dans cette indication. En effet, dans l'étude de Widmer et coll, sur 6 grassets présentant un épanchement articulaire lors de l'examen post-mortem, seul 1 cas avait été diagnostiqué à l'IRM¹¹⁵. Les auteurs attribuent ce manque de sensibilité au faible contraste entre le liquide synovial et le coussinet graisseux, et ce en raison de la technique utilisée.

Cependant l'IRM connaît certaines limites. Elle nécessite une anesthésie générale, est très peu disponible en France et coûteuse. L'interprétation des images obtenues est difficile et les fausses lésions diagnostiquées sont nombreuses. En raison de l'imbrication de nombreuses structures dans le grasset, des images construites peuvent mimer des lésions méniscales. Dans une publication en médecine humaine de 2004 sur 148 patients²¹, 15 lésions du ménisque médial et 13 lésions du ménisque latéral diagnostiquées à l'IRM n'ont pas été confirmées à l'arthroscopie. Du fait de ces fausses lésions, la valeur prédictive positive de l'IRM est de 88%⁶⁷. Néanmoins, certaines lésions réelles diagnostiquées à l'IRM ne peuvent pas être visualisées à l'arthroscopie car elles n'intéressent ni la surface ni les attaches méniscales. Il s'agit de lésions concernant la partie interne du ménisque : ponction intraméniscale et trait intraméniscal²¹. Toutefois, il est conseillé de ne pas intervenir chirurgicalement sur ce type de lésions.

Des faux positifs sont également notés dans le diagnostic des ruptures du ligament croisé crânial : sur une étude de 48 patients, seulement 67% des ruptures totales ont été confirmées par arthroscopie, les autres cas étant en réalité des ruptures partielles¹⁰⁶.

Inversement, des lésions réelles visualisées à l'IRM ne sont pas confirmées à l'arthroscopie : il s'agit des lésions internes au ligament, les fibres superficielles restant intactes³.

L'autre inconvénient de l'IRM est son manque de fiabilité en post-opératoire. Ceci est le plus souvent lié à l'utilisation de prothèses qui génèrent de nombreux artefacts. Des artefacts sont également visibles lorsque aucun implant n'a été mis en place, ils sont induits par des microfragments métalliques issus des instruments utilisés lors de la chirurgie⁷⁴.

Récemment, l'IRM a été combinée à une injection intra-articulaire, on parle d'arthroIRM. Lors d'épanchements articulaires, en pondération T2, le liquide synovial améliore la visualisation des structures intra-articulaires en les soulignant (effet arthrogramme). L'injection de produit de contraste augmente la quantité de fluide dans l'articulation et reproduit de manière iatrogène cet effet arthrogramme. L'arthroIRM est notamment intéressante sur des articulations complexes comme le genou.

D'abord testée en médecine humaine, avec des résultats intéressants, elle a été ensuite appliquée en médecine vétérinaire en 2000 par Banfield et Morrison¹⁰. Ces derniers utilisaient initialement un protocole d'IRM pour évaluer les grassetts de chiens de travail de l'armée américaine. Cette technique n'apportant pas une qualité diagnostique suffisante, ils ont réalisé une étude sur 11 chiens pour déterminer les apports supplémentaires de l'arthroIRM lors de pathologie du grasset. Une IRM était réalisée sur chaque grasset puis du gadolinium dilué était injecté en intra-articulaire et les séquences d'acquisition répétées. En arthroIRM, ils ont obtenu un excellent contraste entre les ménisques, les ligaments, le cartilage et le gadolinium. Le gadolinium permet de distinguer deux structures adjacentes et facilite la visualisation des déchirures méniscales en s'infiltrant dans la lésion. Un artefact du à des bulles d'air était présent dans trois cas. Néanmoins, il ne gênait pas l'interprétation des images. De manière subjective, les ligaments étaient mieux visualisés après injection du produit de contraste. L'arthroIRM permet également une bonne visualisation des ménisques. Des changements dans l'intensité du signal et des irrégularités ont été notés à la surface des ménisques lors de l'arthroIRM. La plupart de ces anomalies n'étaient que partiellement visibles, voire absentes sur les images avant contraste. Le tendon du muscle poplité était également visible en arthroIRM, ce qui n'avait jamais été possible en IRM. Aucune complication n'a été observée après la procédure.

En conclusion, les auteurs rapportent que de manière subjective l'arthroIRM permet une meilleure étude que l'IRM, avec des images plus faciles à lire. Ces avantages leur apparaissent supérieurs aux inconvénients liés à l'ajout d'une procédure invasive et à un

temps d'étude plus long. Une étude à plus grande échelle est nécessaire pour déterminer s'il existe une différence statistique entre la valeur diagnostique de l'IRM et de l'arthroIRM.

2.4.4.2.4 Analyse du liquide synovial

L'analyse du liquide synovial est un bon reflet de l'état de l'articulation et aide au diagnostic différentiel d'une arthropathie. Pour le grasset, le liquide synovial est prélevé de manière stérile par ponction de l'articulation sous anesthésie générale, au centre du triangle parapatellaire latéral ou médial.

Son analyse est intéressante lors de grassets douloureux pour lesquels la radiographie ne permet pas de conclure. Elle peut ainsi permettre d'exclure une arthropathie à médiation immune ou une arthrite septique.

Dans une étude de 1992⁵⁴, Griffin et Vasseur ont cherché à préciser les modifications du liquide synovial associées à une rupture du ligament croisé crânial. Le liquide synovial a été prélevé sur 49 grassets présentant des ruptures partielles ou totales. Dans 80% des cas, le liquide synovial était considéré comme normal d'après les différentes analyses, seul le taux de protéines étant légèrement élevé : 3,2g/L en moyenne. Les cas restants présentaient de faibles changements inflammatoires et/ou dégénératifs : comptages cellulaires entre 3000 et 12 000 cellules/mm³, pourcentage de neutrophiles compris entre 10 et 60%. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence entre les grassets avec rupture partielle et ceux avec une rupture totale, hormis un comptage cellulaire significativement supérieur lors de rupture partielle ($p < 0,01$). Cette étude confirme que l'analyse du liquide synovial ne permet pas le diagnostic d'une rupture du ligament croisé crânial, mais elle reste intéressante pour exclure d'autre arthropathie.

2.4.4.2.5. Arthroscopie

L'arthroscopie consiste en une observation directe de la cavité articulaire grâce à un système optique ou arthroscope. Ses objectifs sont diagnostiques, pronostiques et thérapeutiques¹¹². Elle permet de visualiser les surfaces articulaires, la face interne de la membrane synoviale, les culs de sac articulaires, les surfaces des tendons et ligaments intra-articulaires et les pièces complémentaires. Ces structures sont observées sous un grossissement important qui peut être ajusté.

Il s'agit d'une intervention mini-invasive mais douloureuse, nécessitant une anesthésie générale et une analgésie adaptée.

Le grasset peut être exploré par une approche parapatellaire latérale entre le plateau tibial, le bord crânial du condyle fémoral latéral et la partie disto-latérale de la rotule⁵. Les cinq compartiments sont généralement explorés dans cet ordre : culs de sac péri et suprapatellaire, articulation fémoro-patellaire, compartiment médial (fig 55), fosse intercondyloire et compartiment latéral⁹⁹. Les compartiments médial et intercondylien sont ceux où la fréquence des lésions est la plus importante. D'après Person, le stress induit lors de l'exploration du compartiment suprapatellaire peut entraîner des saignements et des extravasations de liquide d'irrigation en périarticulaire, compromettant ainsi la suite de l'exploration. Person propose donc un ordre différent d'exploration : compartiments médial, intercondylien, latéral, fémoropatellaire et suprapatellaire, dans cet ordre⁸². Si le coussinet graisseux perturbe l'examen, il est rétracté ou le plus souvent excisé. Selon le compartiment exploré, l'aide manipule le grasset en flexion-extension, valgus-varus et rotation interne-externe pour faciliter la visualisation^{91 12}. Des mouvements de tiroir sont réalisés pendant l'examen pour apprécier l'état de tension du ligament croisé crânial. La dynamique rotulienne est également évaluée.

La plupart des structures internes du grasset sont ainsi examinées avec leur couleur et leur forme. Le ligament croisé crânial est très bien visualisé, sauf au niveau de son insertion distale, plus difficile à voir.



Figure 55 : Arthroscopie du ménisque médial
(Crédit photographique E. Viguier)

L'arthroscopie permet la visualisation des différentes structures du grasset mais ces dernières doivent être également palpées durant l'examen. Un crochet palpateur est introduit par une voie instrumentale antéro-médiale. Il permet de palper les ménisques, de vérifier leurs attaches et d'estimer la profondeur d'une éventuelle lésion méniscale. Les ménisques sont

soulevés pour contrôler l'état du plateau tibial. L'intégrité des ligaments croisés est également testée avec le crochet palpateur.

La voie d'abord peut être modifiée si le chirurgien estime qu'une lésion peut exister dans une zone impossible à observer par une voie d'abord conventionnelle. C'est notamment le cas avec un arthroscope de 30° où les compartiments postéro externe, postéro interne, l'extrémité caudale des condyles, la face inférieure du ménisque interne et la partie antérieure du ménisque externe sont difficiles à observer. Une voie d'abord antéro-médiale apporte par exemple une meilleure visualisation du compartiment latéral⁶⁵.

L'arthroscopie permet de diagnostiquer de très nombreuses anomalies au niveau du grasset :

- lésions ligamentaires :
 - o Elle permet un diagnostic de certitude d'une rupture du ligament croisé crânial et distingue les ruptures partielles des ruptures totales. Certaines observations sous arthroscopie nous renseignent également sur l'ancienneté de la rupture : un hématome au sein du site de rupture indique une rupture récente alors qu'un ligament croisé crânial « en battant de cloche » associé à des lésions arthrosiques importantes est caractéristique d'une rupture ancienne.
 - o Elle est très intéressante pour le diagnostic des ruptures du ligament croisé caudal pour lesquelles l'examen orthopédique, la radiographie et l'échographie ne permettent généralement pas de conclure.
 - o Les lésions graves des ligaments collatéraux peuvent également être diagnostiquées par arthroscopie, leur face profonde étant visible lors de l'examen des régions latéro et médio-condyliennes. Toutefois, lors d'atteintes plus superficielles, ces lésions peuvent passer inaperçues. L'échographie permettra de les diagnostiquer.
- lésions méniscales : l'arthroscopie a longtemps été considérée comme la méthode diagnostique de référence des lésions méniscales. Elle met en évidence tous les types de rupture: longitudinale, oblique, transverse, anse de seau. Les désinsertions ménisco-capsulaires sont également recherchées systématiquement, mais dans ce cas le diagnostic peut être plus difficile²².
- lésions capsulaires : les lésions inflammatoires de type synovite aiguë très vascularisée ou plus chronique sont facilement diagnostiquées grâce à la visualisation directe fournie par l'arthroscopie. La présence du liquide d'irrigation améliore nettement la visualisation⁶⁵. Ainsi les villosités flottent, alors qu'elles sont collabées lors d'une arthrotomie. Il est également possible de réaliser des biopsies synoviales sous

- arthroscopie. Les lésions traumatiques (déchirure, perforation...) sont aussi facilement diagnostiquées avec visualisation de la brèche et extravasation du liquide synovial.
- lésions cartilagineuses : elles témoignent d'un processus arthrosique (chondromalacie, fibrillation, fissure, ulcération, éburnation) ou ostéochondrosique (fissure, décollement, souris articulaire) et sont directement visualisées à l'arthroscopie⁶⁵. Le cartilage anormal apparaît craquelé, moins luisant et jaunâtre. L'arthroscopie permet un diagnostic précoce des lésions cartilagineuses d'origine arthrosique, dès le stade de fibrillation⁶⁵.
 - lésions osseuses : l'arthroscopie met en évidence les lésions osseuses arthrosiques (ostéophytes, sclérose sous-chondrale lorsque l'os est mis à nu), et traumatiques (fracture, fêlure). Dans une étude de Kivumbi et Bennett⁶⁵, l'arthroscopie a révélé une fracture du condyle fémoral latéral qui n'avait pas pu être diagnostiquée avec certitude à la radiographie.
 - lésions tendineuses : les lésions des portions intra-articulaires des tendons (quadriceps, poplité, extenseur commun des doigts) peuvent être diagnostiquées par arthroscopie : distension, déchirure, rupture.
 - recherche de corps étrangers (fragment ostéochondral, méniscal, ligamentaire): l'arthroscopie permet leur visualisation grâce au système d'irrigation qui les met en suspension. Cette recherche est difficile si le corps étranger est situé dans les culs de sac caudaux, dans le hiatus poplité ou sous une corne méniscale. L'arthroscopie est notamment intéressante lors de corps étrangers non radio-opaques.

L'arthroscopie permet également la réalisation de gestes thérapeutiques : excision des ligaments croisés rompus, méniscectomie partielle ou sub-totale, synovectomie partielle, retrait des corps étrangers, traitement des ostéochondroses^{3 113}... La stabilisation du grasset avec mise en place d'une prothèse intra-articulaire est classiquement réalisée sous contrôle arthroscopique en médecine humaine, les descriptions de ce type de techniques restant encore très rares chez le chien¹⁵.

L'arthroscopie est une excellente méthode diagnostique des affections du grasset. Elle a l'avantage sur l'échographie de visualiser directement les structures articulaires. Elle permet ainsi un diagnostic de certitude des ruptures du ligament croisé crânial, tout en distinguant rupture partielle et rupture totale. Les atteintes méniscales sont aussi diagnostiquées de manière précise alors qu'il s'agit le plus souvent d'une suspicion à l'échographie. Toutefois, l'examen des ménisques peut conduire à la surinterprétation : 17% de fausses lésions dans

certaines études^{50 86}. Les autres atteintes du grasset sont également mises en évidence, l'échographie semblant toutefois plus performante pour le diagnostic des atteintes superficielles des ligaments collatéraux et des portions extra-articulaires des tendons. L'arthroscopie fournit, comme l'échographie, une analyse dynamique de l'articulation. Mais elle permet en plus la réalisation de gestes curatifs.

Néanmoins, l'arthroscopie présente également plusieurs inconvénients : elle nécessite une anesthésie générale et peut être à l'origine de complications : lésions iatrogènes, arthrite. Les lésions iatrogènes ne sont pas rares⁶⁵ : lésions cartilagineuses, tendineuses, méniscales ou vasculaires (l'hémorragie est la complication la plus fréquente en médecine humaine : 60% des complications⁸⁰) mais ces lésions iatrogènes n'ont généralement pas de répercussion clinique^{65 3}. Les infections restent exceptionnelles : entre 0,04 et 0,5% en médecine humaine.

En outre, cette méthode requiert un matériel coûteux et surtout une durée d'apprentissage longue. L'arthroscopie présente également des limites diagnostiques : certaines zones restent difficiles d'accès comme le compartiment postérieur^{99 65}. Une extravasation extra-articulaire du liquide d'irrigation par une brèche traumatique diminue l'espace intra-articulaire et peut compromettre la visualisation⁶⁵. L'arthroscopie est également difficile sur des grassets très arthrosiques ou très réactionnels, et en présence d'un coussinet graisseux très inflammatoire⁶⁵. Tout comme l'échographie, l'arthroscopie peut se révéler décevante sur des chiens de petite taille³.

En conclusion, l'arthroscopie est une technique plus performante que l'échographie, mais elle nécessite une intervention chirurgicale pratiquée par un spécialiste. C'est un examen complémentaire de seconde intention à réserver aux cas pour lesquels les autres moyens diagnostiques (radiographie, échographie, analyse du liquide synovial) n'ont pas permis de conclure.

2.4.4.2.6 Arthrotomie

L'arthrotomie est le moyen le plus simple de visualisation des structures intra-articulaires. Elle requiert beaucoup moins de technicité et de matériel que l'arthroscopie. De plus, elle est classiquement employée lors des chirurgies stabilisatrices d'une rupture du ligament croisé crânial. La réalisation d'une arthrotomie exploratrice peut donc constituer un préalable à une chirurgie correctrice, si cette première a permis de diagnostiquer une rupture ligamentaire ou tendineuse, une atteinte méniscale ou une ostéochondrite disséquante.

L'arthrotomie du grasset se fait classiquement par un abord parapatellaire latéral ou médial, la rotule étant luxée au cours de la procédure pour faciliter l'accès à la totalité de la cavité articulaire. Les structures intra-articulaires sont inspectées, le membre manipulé en flexion-extension, valgus-varus et rotation interne-externe. Des tests dynamiques sont réalisés (tiroirs crânial et caudal) et les ménisques sont palpés, afin de détecter d'éventuelles déchirures. Le cartilage l'est également pour rechercher des zones de chondromalacie.

Comme l'arthroscopie, l'arthrotomie permet une bonne visualisation des structures intra-articulaires et par conséquent le diagnostic des ruptures partielles et totales du ligament croisé crânial, des atteintes méniscales et des lésions ostécartilagineuses. Les cornes postérieures des ménisques sont toutefois difficiles à visualiser et des lésions les concernant peuvent passer inaperçues. Les études initiales accordent la même sensibilité diagnostique à l'arthrotomie qu'à l'arthroscopie pour les lésions méniscales : en 1984, Miller trouve une correspondance de 92% sur 24 grassets entre les deux techniques. Néanmoins, dans une étude de 2002⁸⁷, Ralphs diagnostique par arthroscopie 77% de lésions du ménisque latéral sur 100 chiens présentant une rupture du ligament croisé crânial, alors que Flo n'en rapporte que 4% par arthrotomie⁴⁷. Cette différence est, d'après Ralphs, à relier en grande partie à la meilleure capacité de l'arthroscopie à détecter les petites lésions méniscales. Il s'agit notamment de déchirures radiaires difficiles à voir en l'absence de liquide synovial et du grossissement apporté par l'arthroscope. L'arthrotomie est également moins performante que l'arthroscopie pour l'examen de la membrane synoviale et du cartilage en raison de l'absence de liquide synovial : les villosités se collabent et les couleurs sont moins bien définies après ouverture de la cavité articulaire.

L'arthrotomie est à l'origine d'un traumatisme chirurgical important et peut occasionner des séquelles non négligeables. En post-opératoire, les adhérences articulaires et la fibrose induisent une perte de l'amplitude articulaire¹¹⁰. Dans une étude de Miller⁷³ portant sur des cas initialement sains, les 6 chiens ayant subi une arthrotomie boitent en post-opératoire: 5 chiens durant 5 jours et un animal pendant 13 jours après l'intervention.

Tout comme l'arthroscopie, l'arthrotomie est une technique qui apporte beaucoup plus de renseignements que l'échographie et permet un diagnostic de certitude. Plus facile à réaliser qu'une arthroscopie, elle reste réservée aux chirurgiens expérimentés et présente de nombreux inconvénients. Une arthrotomie exploratrice n'est à envisager que si les autres examens complémentaires à disposition n'ont pas permis de conclure.

En conclusion, dans cette étude, l'échographie s'est montrée décevante pour le diagnostic des ruptures ligamentaires profondes, elle ne peut donc pas être utilisée seule pour le diagnostic d'une rupture du ligament croisé crânial. Par contre, elle permet le diagnostic des synovites et une excellente approche des lésions des autres tissus mous du grasset : ligament patellaire, ligaments collatéraux, tendon du muscle quadriceps et du muscle extenseur commun des doigts, ménisques. L'échographie est donc particulièrement intéressante pour établir un bilan lésionnel lors d'une entorse complexe du grasset. Elle est très spécifique et relativement sensible pour le diagnostic des lésions méniscales, qui ont une incidence sur le pronostic et sur la technique chirurgicale. Les lésions ostéocartilagineuses sont également bien évaluées par échographie en particulier l'ostéochondrite disséquante du condyle fémoral latéral. Elle sous-estime le développement des ostéophytes bien qu'elle apporte un diagnostic précoce des lésions arthrosiques. En regard de la technique et du matériel utilisés, les résultats que nous avons obtenus sont à la portée de tout praticien formé à l'échographie.

Technique non invasive, l'échographie nous apparaît complémentaire de la radiographie pour l'évaluation de première intention d'un grasset douloureux. Le scanner et l'imagerie par résonance magnétique, plus informatives, sont encore peu disponibles en médecine vétérinaire et de coût élevé. L'arthroscopie et l'arthrotomie évaluent la totalité des lésions du grasset et peuvent être couplées au traitement chirurgical. Beaucoup plus invasives, elles doivent être réservées aux cas pour lesquels les autres examens ne permettent pas de conclure.

CONCLUSION

L'échographie est une technique d'imagerie qui connaît un développement croissant en clientèle vétérinaire depuis 25 ans. Comme en médecine humaine, initialement développée pour l'étude des lésions des organes thoraciques et abdominaux, l'échographie apporte aussi des renseignements précis pour le diagnostic et le suivi des lésions musculo-squelettiques chez le cheval et plus récemment chez le chien. Cependant dans cette espèce, l'échographie musculo-tendineuse est encore confidentielle; les vétérinaires préférant réaliser des radiographies malgré la faible visualisation des lésions des tendons, ligaments et muscles. Chez l'homme, l'échographie des articulations telle le grasset a connu un développement limité par l'utilisation de l'arthroscanner ou de l'IRM. En revanche, chez l'animal, elle trouve toute son importance pour l'étude de cette articulation. Les premières descriptions de l'échographie du grasset chez le chien datent de 1995. L'étude que nous avons menée sur 13 chiens nous a permis de préciser la valeur diagnostique de l'échographie lors de rupture du ligament croisé crânial. Dans cette étude, l'échographie s'est révélée décevante pour le diagnostic des ruptures du ligament croisé, les lésions étant difficilement visualisées. Par contre, elle est particulièrement intéressante pour l'évaluation des lésions associées à la rupture ligamentaire: lésions méniscales, capsulaires, ligamentaires, lésions arthrosiques, et épanchements articulaires. Elle semble pouvoir être utilisée pour l'approche des entorses graves du grasset car elle permet de visualiser les ligaments collatéraux médial et latéral, le ligament patellaire et le tendon du muscle extenseur commun des doigts. Un examen standardisé avec une sonde échographique de 8 à 16MHz apporte une bonne qualité diagnostique pour l'examen des structures superficielles. Ces résultats peuvent être obtenus par tout vétérinaire, habitué à l'échographie et disposant du matériel adéquat. L'échographie est une technique non invasive, maintenant accessible à de nombreux praticiens, qui ne nécessite pas d'anesthésie et n'utilise aucun rayon ionisant. Il s'agit d'une méthode d'imagerie, complémentaire de la radiographie pour l'approche diagnostique du grasset douloureux.

**Le Professeur responsable
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon**

Le Président de la thèse

R. ITTI

Vu et permis d'imprimer

Lyon, le **25 JUIN 2007**

Pour Le Président de l'Université
Le Président du Comité de Coordination
Des Etudes Médicales

Professeur F.N GILLY



**Vu : Le Directeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon**

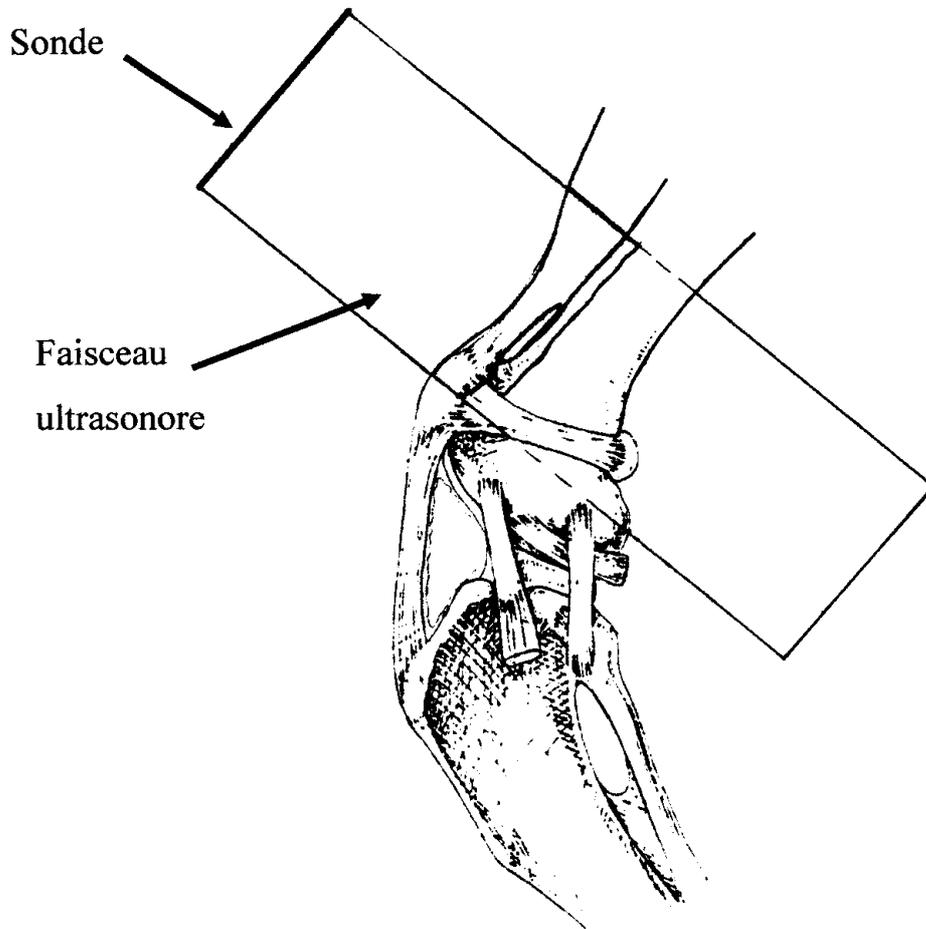
Pour le Directeur et par délégation,
LA DIRECTRICE DE L'ENSEIGNEMENT

Professeur Françoise GRAIN

ANNEXES

Annexe 1: Méthode d'exploration échographique simplifiée du grasset

Vue suprapatellaire sagittale



Plan de coupe

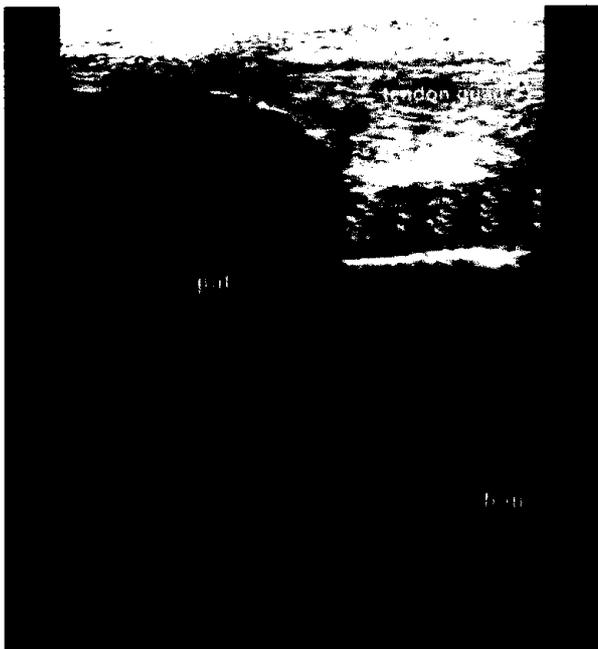
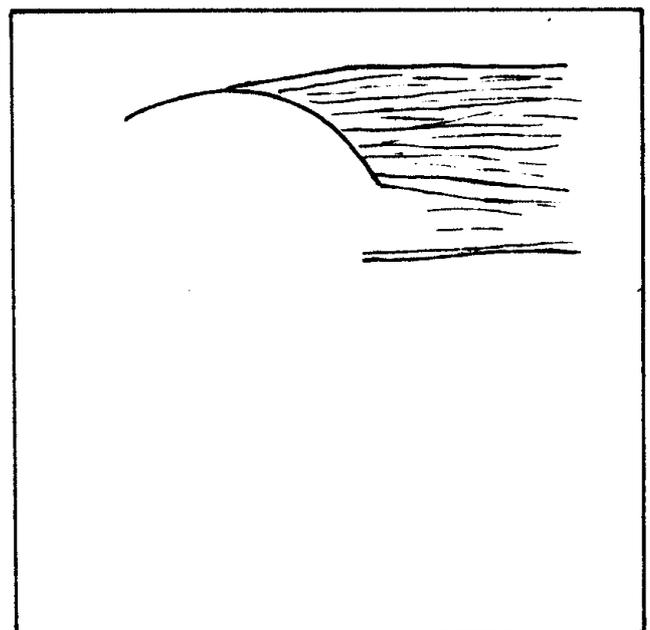


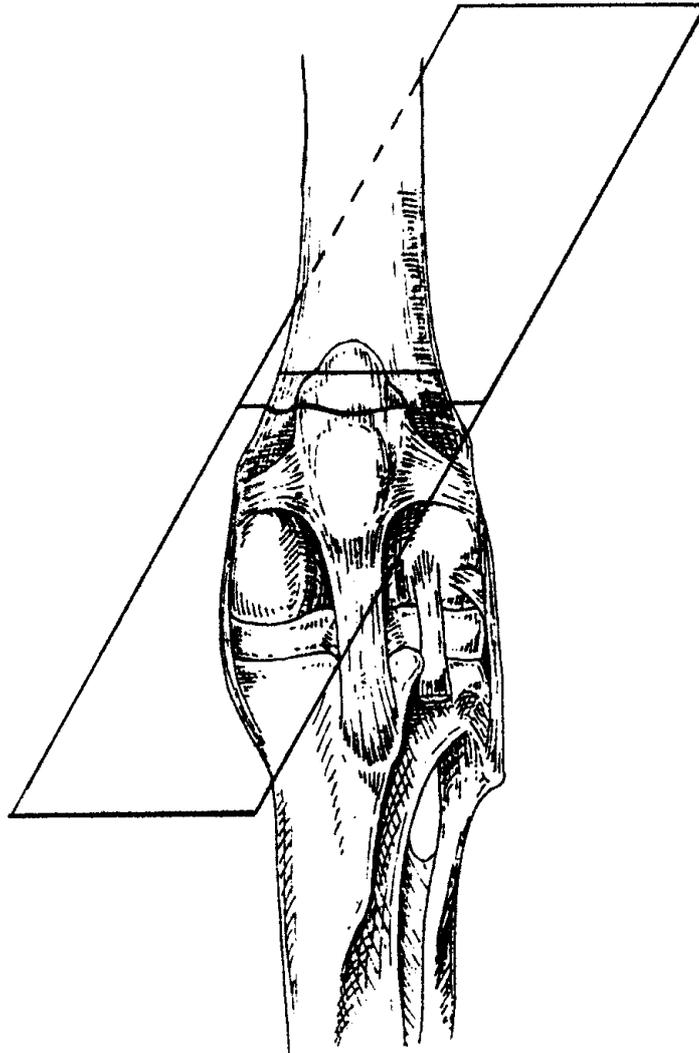
Image échographique



Interprétation

La sonde est décalée latéralement ou médialement pour obtenir les vues parapatellaires latérale et médiale.

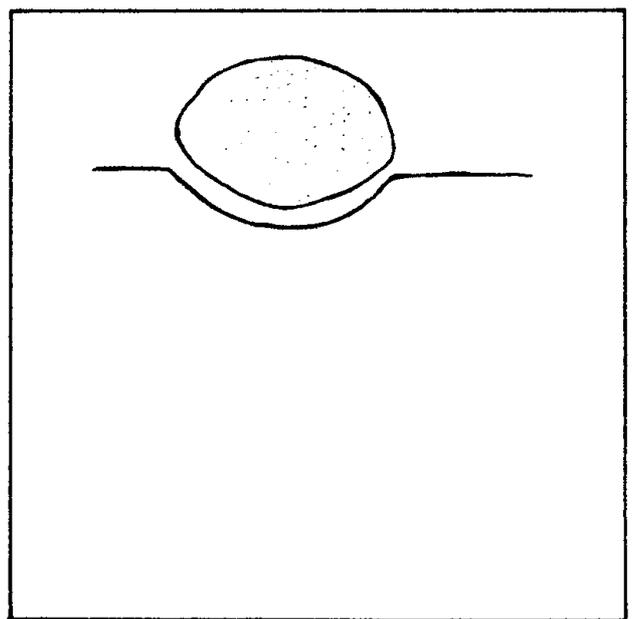
Vue suprapatellaire transverse



Plan de coupe

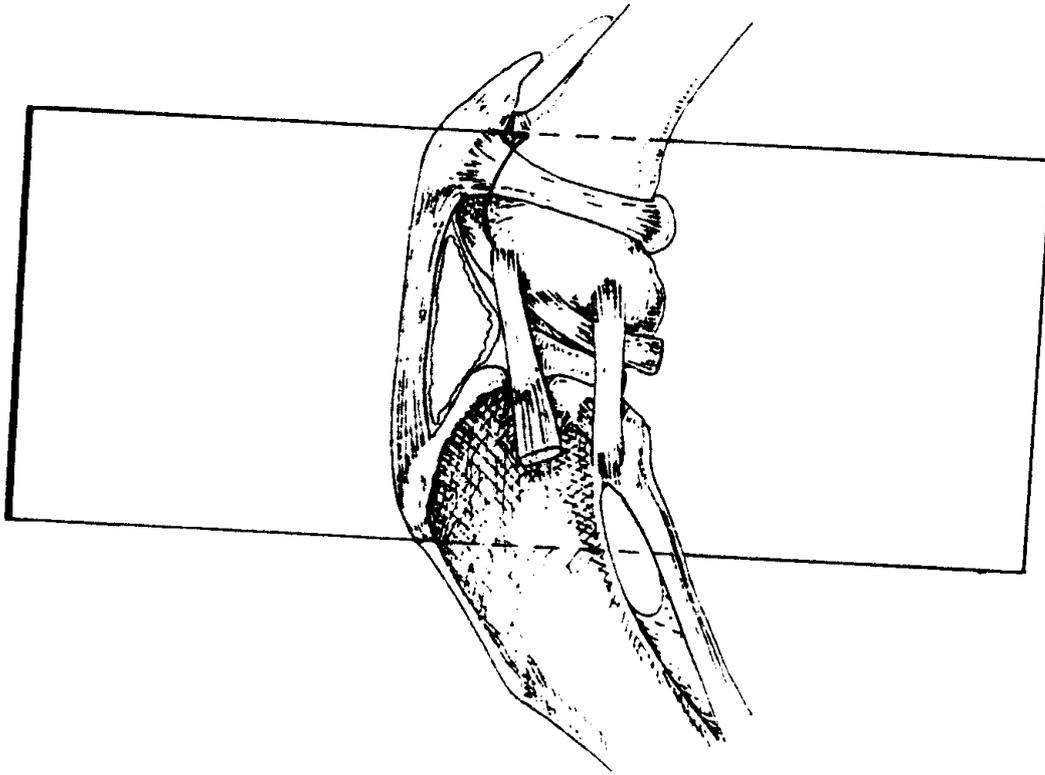


Image échographique



Interprétation

Vue infrapatellaire sagittale



Plan de coupe

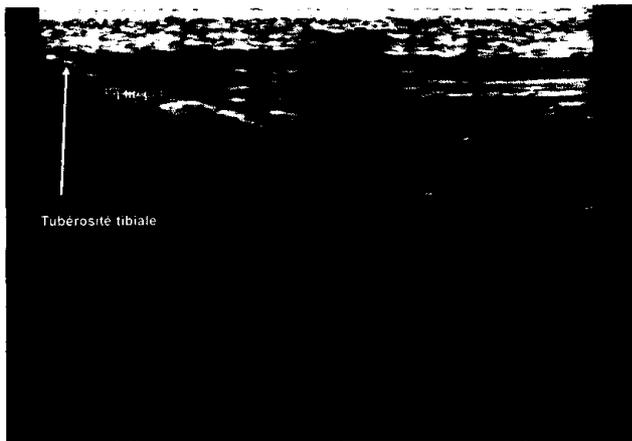
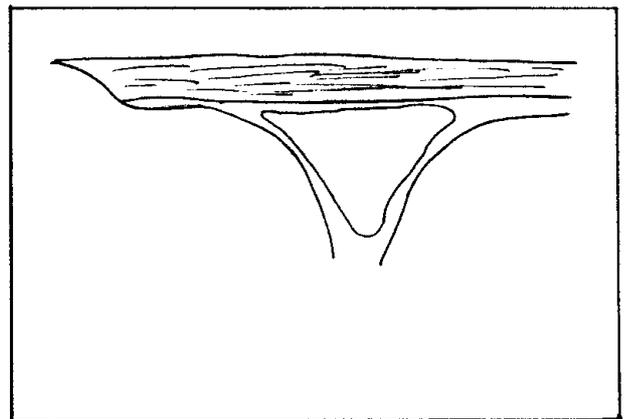
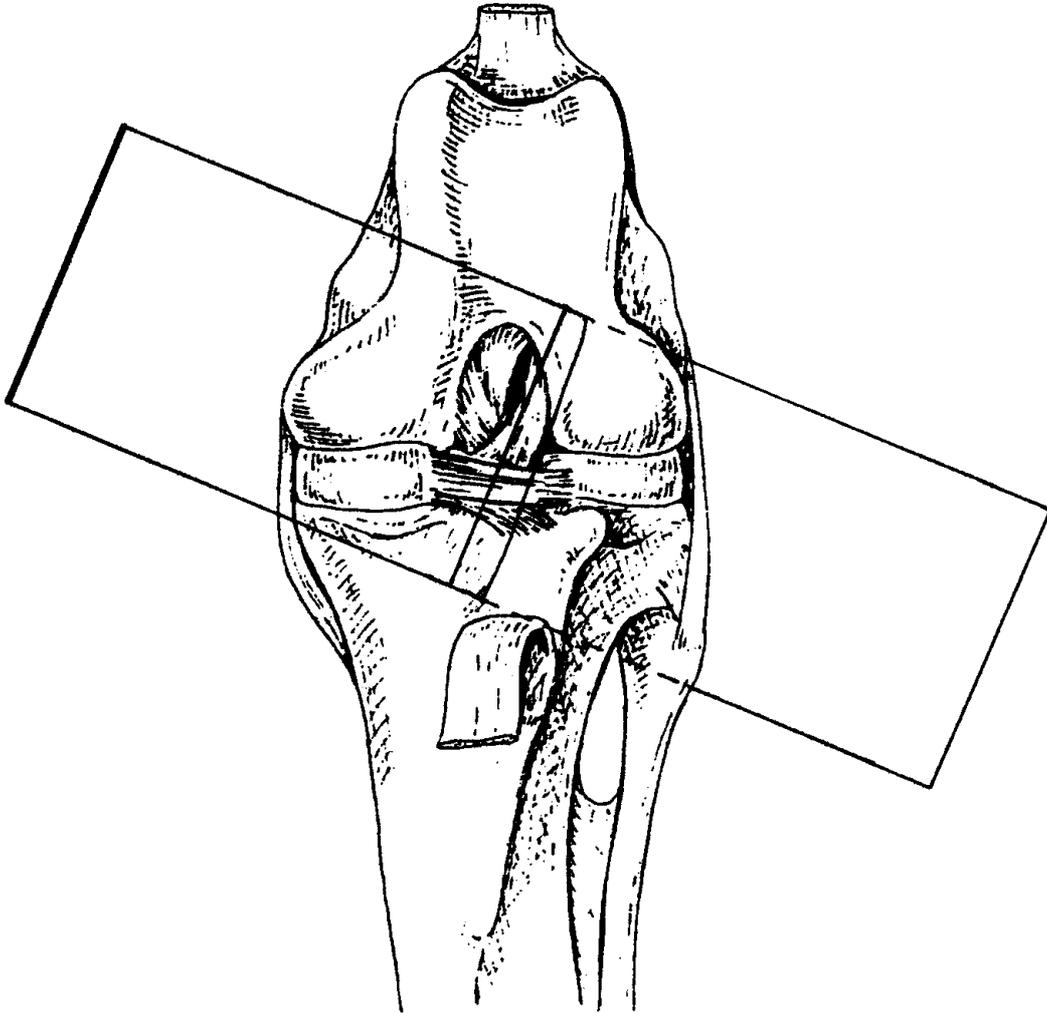


Image échographique



Interprétation

Vue infrapatellaire oblique
(rotation externe de 20° de la sonde)



Plan de coupe

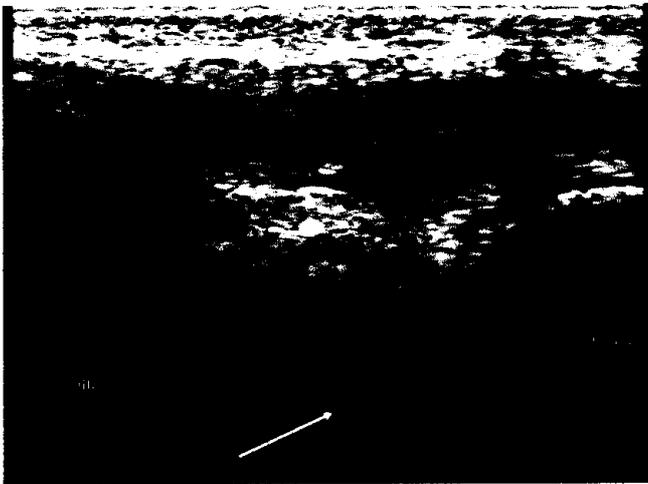
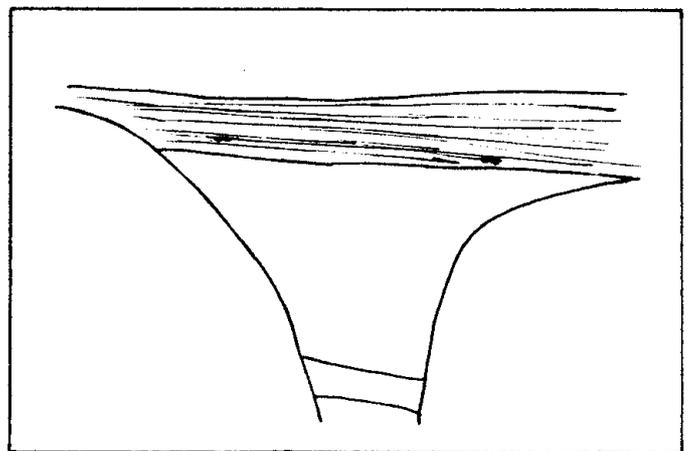
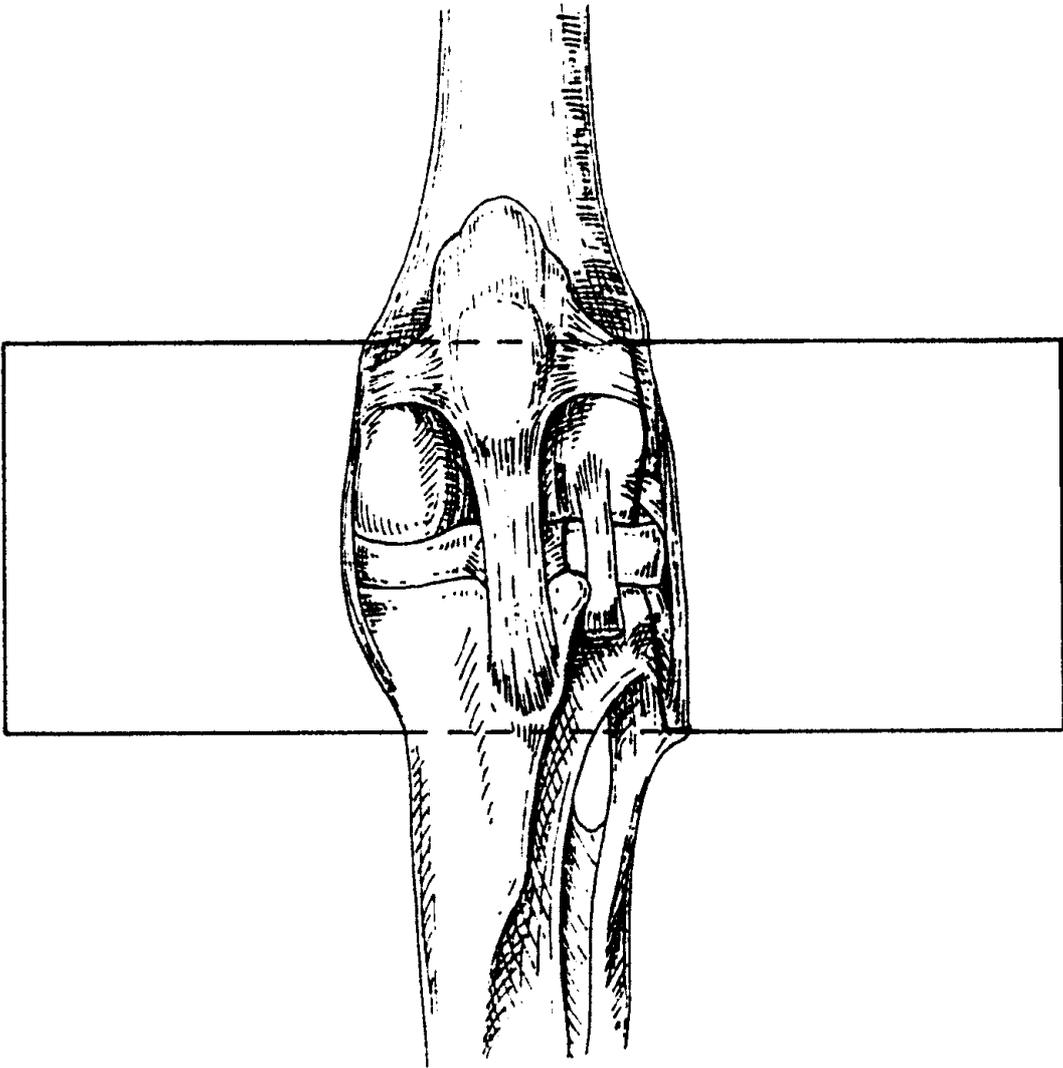


Image échographique



Interprétation

Vue latérale sagittale



Plan de coupe

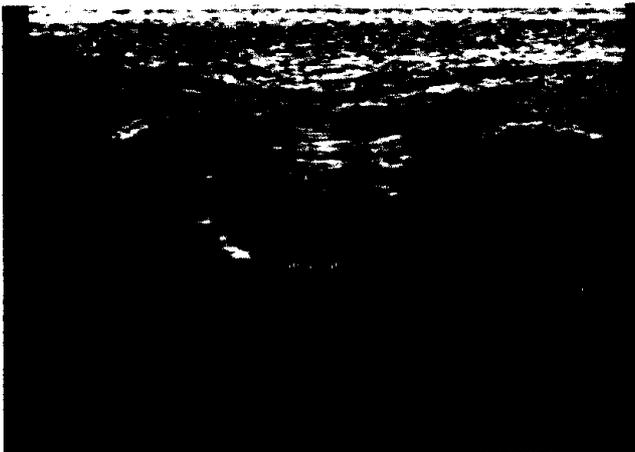
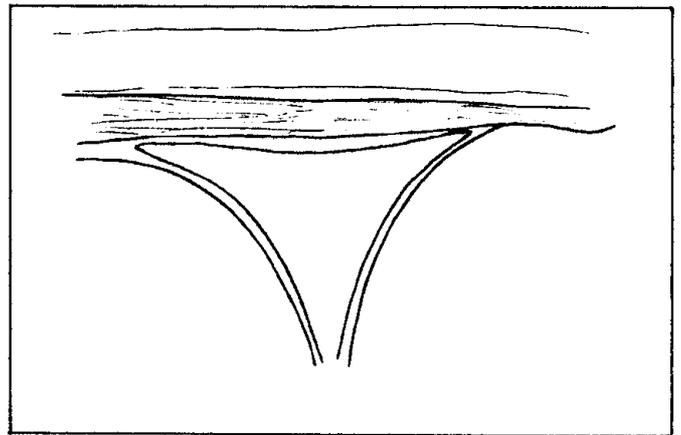


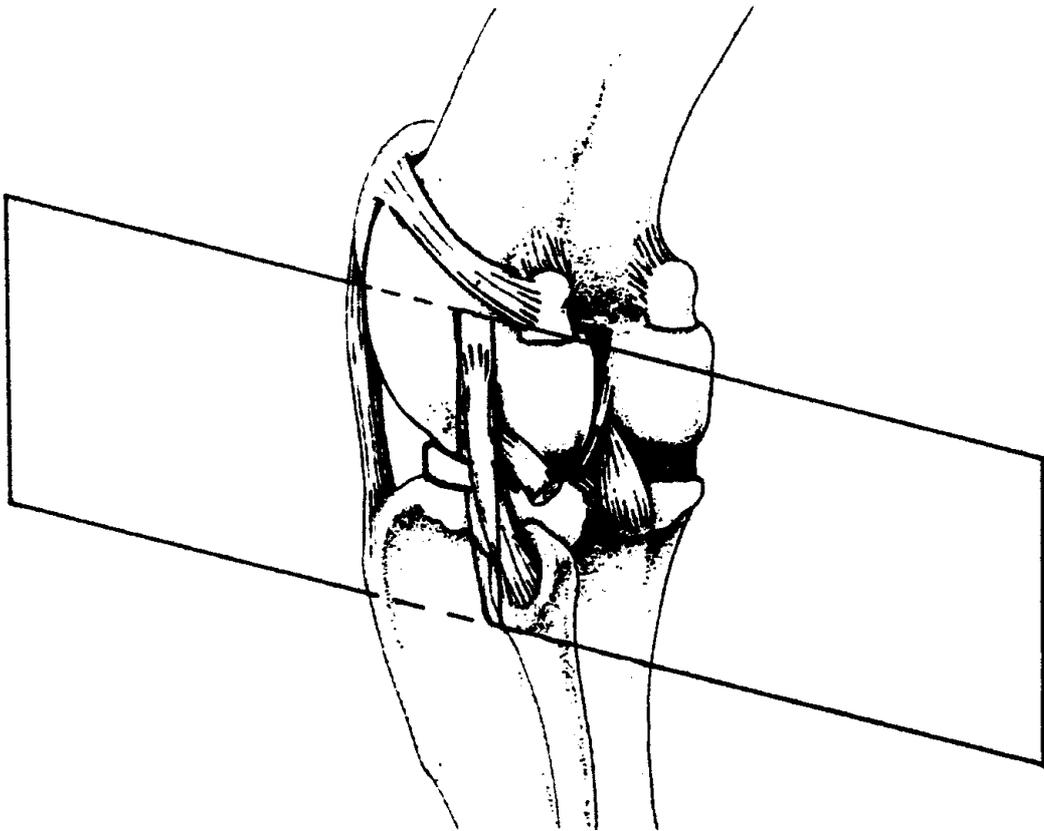
Image échographique



Interprétation

(le principe est le même pour la vue médiale)

Vue latérale sagittale
(la sonde est orientée crânialement)



Plan de coupe

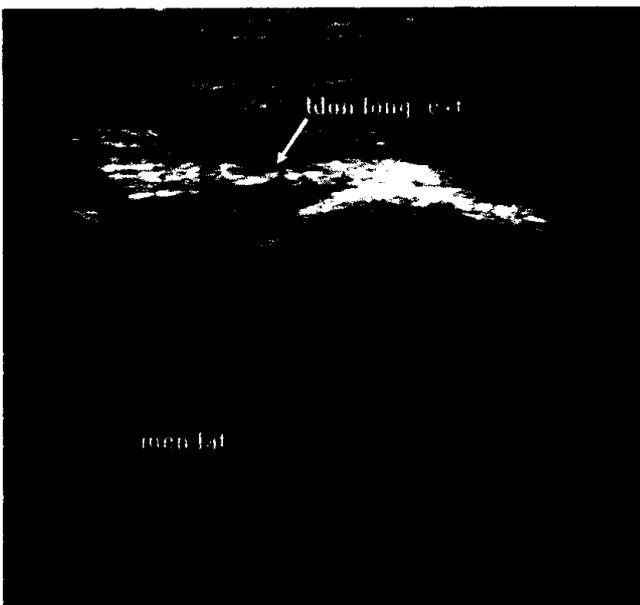
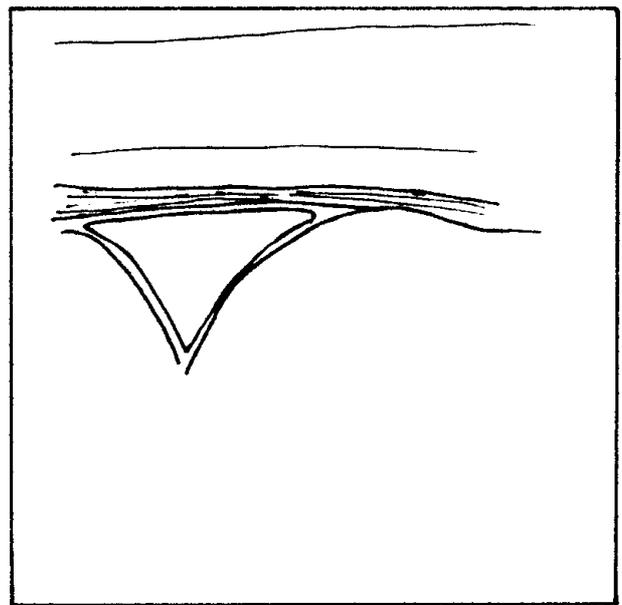


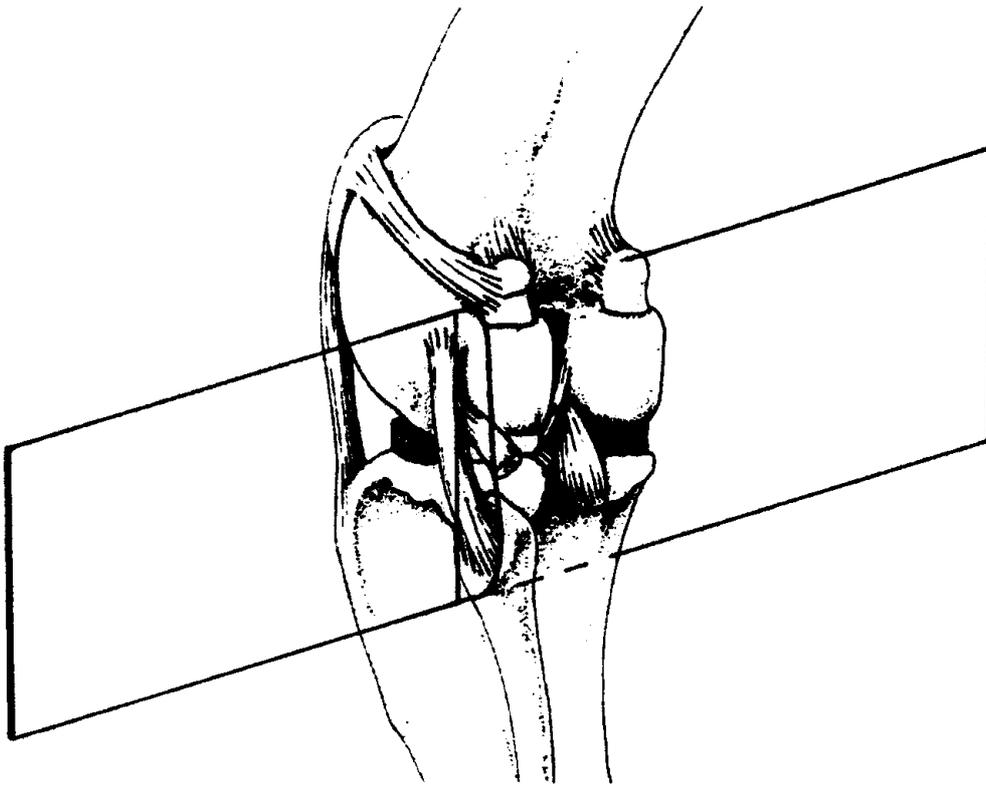
Image échographique



Interprétation

(le principe est le même pour la vue médiale)

Vue latérale sagittale
(la sonde est orientée caudalement)



Plan de coupe

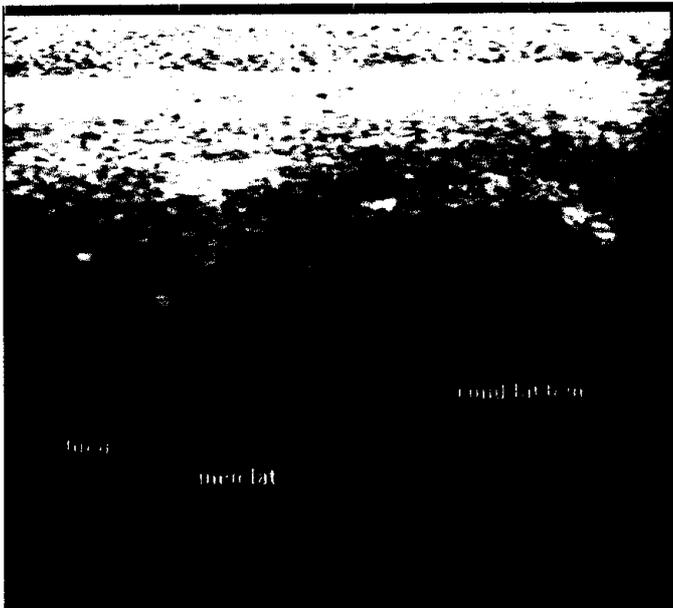
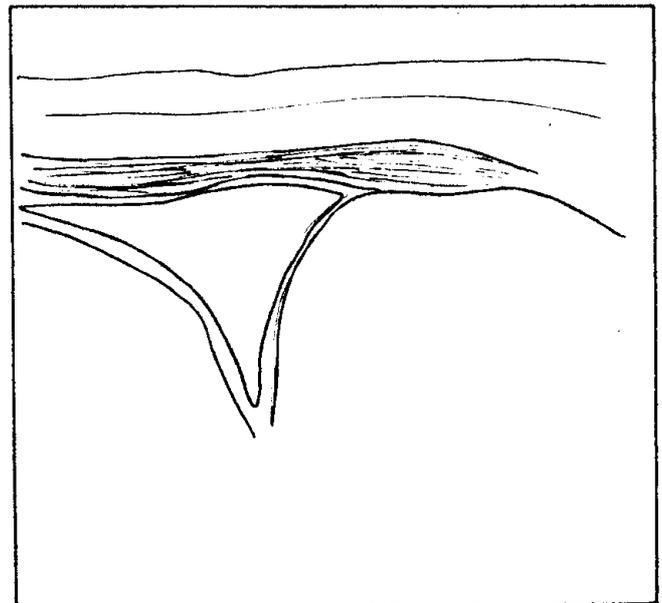


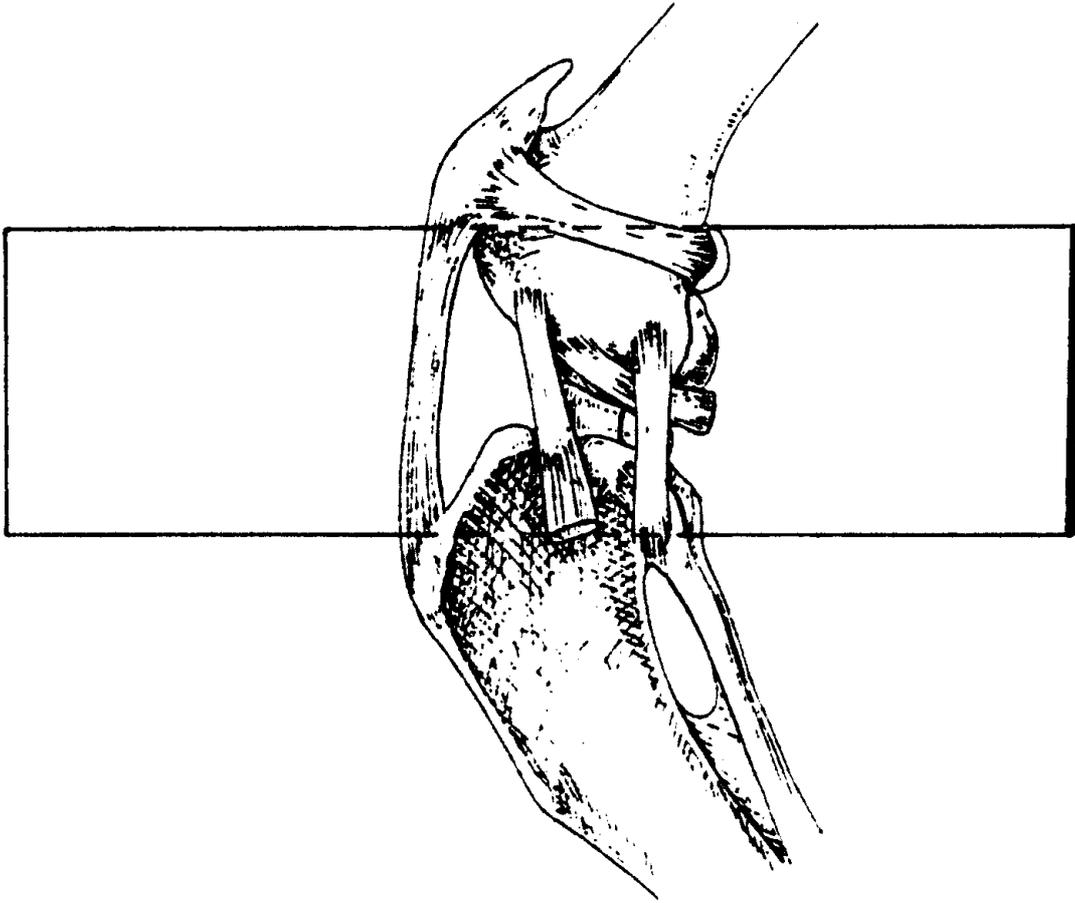
Image échographique



Interprétation

(le principe est le même pour la vue médiale)

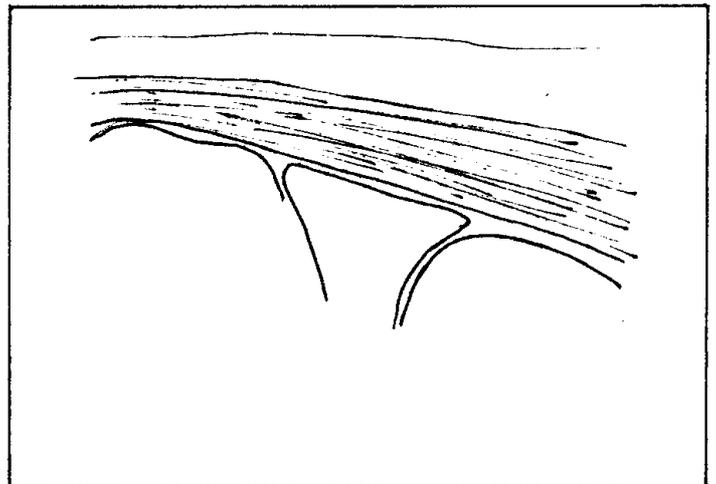
Vue caudale sagittale



Plan de coupe



Image échographique



Interprétation

Annexe 2

FICHE D'EVALUATION ECHOGRAPHIQUE LORS DE SUSPICION DE RUPTURE DU LIGAMENT CROISE CRANIAL GRASSET G / D Date :

Structure anatomique	Lésions	
Ligament croisé crânial visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> indemne <input type="checkbox"/> rupture : partielle / totale <input type="checkbox"/> avulsion : fémorale / tibiale	
Ménisque médial visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> hypoéchogène <input type="checkbox"/> hétérogène <input type="checkbox"/> lésion : extrusion / collapsus déchirure longitudinale / transverse repli de la corne postérieure	
Ménisque latéral visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> hypoéchogène <input type="checkbox"/> hétérogène <input type="checkbox"/> lésion : extrusion / collapsus déchirure longitudinale / transverse repli de la corne postérieure	
Epanchement synovial	<input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui Localisation :	
Membrane synoviale visualisée <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normale <input type="checkbox"/> épaissie <input type="checkbox"/> hyperéchogène <input type="checkbox"/> masses Localisation :	
Capsule articulaire visualisée <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normale <input type="checkbox"/> épaissie <input type="checkbox"/> déchirure Localisation :	
Ligament collatéral médial visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> rupture partielle <input type="checkbox"/> rupture totale	
Ligament collatéral latéral visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> rupture partielle <input type="checkbox"/> rupture totale	
Lésions ostéocartilagineuses Ostéophytes	<input type="checkbox"/> absents (grade 0) <input type="checkbox"/> discrets (grade 1) <input type="checkbox"/> petits et nombreux (grade 2) <input type="checkbox"/> grands et nombreux (grade 3) Localisation :	
Cartilage	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> hyperéchogène <input type="checkbox"/> aminci <input type="checkbox"/> épaissi <input type="checkbox"/> éburnation Localisation	
Surfaces osseuses	<input type="checkbox"/> fractures <input type="checkbox"/> OCD	
Tendon du muscle extenseur commun des doigts visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> rupture partielle <input type="checkbox"/> rupture totale <input type="checkbox"/> tendinite	Tendon du muscle poplité visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> rupture partielle <input type="checkbox"/> rupture totale <input type="checkbox"/> tendinite
Autres LCCd, ligament patellaire, sésamoïdes...	
Conclusion		

Annexe 3
FICHE D'ÉVALUATION PER-OPERATOIRE
RUPTURE DU LIGAMENT CROISÉ CRANIAL
GRASSET G / D

Date :

Structure anatomique	Lésions		
Ligament croisé crânial visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> indemne <input type="checkbox"/> rupture : partielle / totale <input type="checkbox"/> avulsion : fémorale / tibiale		
Ménisque médial visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> lésion : extrusion / collapsus déchirure longitudinale / transverse repli de la corne postérieure anse de seau <input type="checkbox"/> méniscectomie : partielle / totale		
Ménisque latéral visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> lésion : extrusion / collapsus déchirure longitudinale / transverse repli de la corne postérieure anse de seau <input type="checkbox"/> méniscectomie : partielle / totale		
Membrane synoviale visualisée <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normale <input type="checkbox"/> épaissie <input type="checkbox"/> villosités Localisation :		
Capsule articulaire visualisée <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normale <input type="checkbox"/> épaissie <input type="checkbox"/> déchirure Localisation :		
Ligament collatéral médial visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> rupture partielle <input type="checkbox"/> rupture totale		
Ligament collatéral latéral visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> rupture partielle <input type="checkbox"/> rupture totale		
Lésions ostéocartilagineuses Ostéophytes	<input type="checkbox"/> absents (grade0) <input type="checkbox"/> discrets (grade1) <input type="checkbox"/> petits et nombreux (grade 2) <input type="checkbox"/> grands et nombreux (grade 3) Localisation :		
Cartilage	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> oedémateux <input type="checkbox"/> fissuré <input type="checkbox"/> éburnation Localisation :		
Surfaces osseuses	<input type="checkbox"/> fractures <input type="checkbox"/> OCD		
Description de la synovite	<input type="checkbox"/> absence de synovite <input type="checkbox"/> augmentation de taille des vaisseaux synoviaux, hyperhémie <input type="checkbox"/> épanchement synovial		
Tendon du muscle extenseur commun des doigts visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> rupture partielle <input type="checkbox"/> rupture totale <input type="checkbox"/> tendinite <input type="checkbox"/> épaissi	Tendon du muscle poplité visualisé <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> rupture partielle <input type="checkbox"/> rupture totale <input type="checkbox"/> tendinite <input type="checkbox"/> épaissi
Autres LCCd, ligament patellaire, sésamoïdes ...			
Conclusion			

Annexe 4

Résultats

Cas	Race	Sexe	Age	Type de rupture du LCA
1	Dogue allemand	Mâle	3 ans 3 mois	Totale
2	Rottweiler	Mâle	6 ans 4 mois	Partielle
3	Labrador	Femelle	4 ans	Totale
4	Caniche	Femelle	12 ans	Totale
5	Epagneul breton	Femelle	9 ans	Partielle
6	Rottweiler	Mâle	2 ans 6 mois	Partielle
7	Labrador	Femelle	13 ans 11 mois	Totale
8	Rottweiler	Femelle	10 ans 4 mois	Totale
9	Yorkshire	Femelle	5 ans 11 mois	Totale
10	Labrador	Mâle	7 ans 2 mois	Totale
11	Labrador	Mâle	10 ans 4 mois	Totale
12	Berger allemand	Mâle	4 ans 9 mois	Totale
13	Labrador	Mâle	4 ans 10 mois	Totale

Cas 1

Dogue allemand mâle de 3 ans 3 mois

Anamnèse : boiterie depuis 1an.

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension, clic méniscal

Grasset droit	Echographie (Dr Sonnet)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	non visualisé	rupture totale
Ménisque médial	lésion	repli corne postérieure
Ménisque latéral	normal	normal
Epanchement	non	non
Membrane synoviale	épaissie	épaissie
Capsule articulaire	épaissie	épaissie
Ostéophytes	grade 3 trochlée	grade 3 trochlée, patella.
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 2

Rottweiler mâle de 6 ans 4 mois

Anamnèse : boiterie depuis 3 semaines

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension, clic méniscal

Grasset gauche	Echographie (Dr Sonnet)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	non visualisé	rupture partielle
Ménisque médial	normal	normal
Ménisque latéral	normal	normal
Epanchement	non	non
Membrane synoviale	épaissie	épaissie
Capsule articulaire	non visualisée	épaissie
Ostéophytes	grade 0	grade 2 trochlée
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 3

Labrador femelle de 4 ans

Anamnèse : boiterie depuis 2 mois

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion uniquement

Grasset droit	Echographie (Dr Sonnet)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	visualisation extrémité distale	rupture totale
Ménisque médial	normal	normal
Ménisque latéral	lésion	normal
Epanchement	non	non
Membrane synoviale	non visualisée	épaissie
Capsule articulaire	non visualisée	épaissie
Ostéophytes	grade 2 trochlée	grade 3 trochlée
ECD	épanchement dans le tendon	bursite
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 4

Caniche femelle 12 ans

Anamnèse : boiterie depuis 2 semaines

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension, clic méniscal

Grasset gauche	Echographie (Dr Sonnet)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	non visualisé	rupture totale
Ménisque médial	lésion corne postérieure	retournement corne postérieure
Ménisque latéral	normal	normal
Epanchement	non	non
Membrane synoviale	normale	normale
Capsule articulaire	normal	normale
Ostéophytes	grade 2 trochlée	grade 2 trochlée
ECD	épanchement dans le tendon	bursite
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 5

Epagneul breton femelle 9 ans

Anamnèse : boiterie depuis 4 mois.

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension, clic méniscal

Grasset droit	Echographie (Dr Arnault)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	rupture partielle	rupture partielle
Ménisque médial	normal	repli corne postérieure
Ménisque latéral	normal	normal
Epanchement	oui sous coussinet graisseux	oui
Membrane synoviale	non visualisée	épaissie
Capsule articulaire	non visualisée	normal
Ostéophytes	grade 1 condyles fémoraux	grade 1 condyle fémoral latéral
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 6

Rottweiler mâle 2 ans 6 mois

Anamnèse : boiterie depuis 3 semaines

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension

Grasset droit	Echographie (Dr Arnault)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	visualisation partie distale	rupture partielle
Ménisque médial	normal	normal
Ménisque latéral	normal	normal
Epanchement	oui en infra et supra-patellaire	oui
Membrane synoviale	non visualisée	épaissie
Capsule articulaire	non visualisée	épaissie
Ostéophytes	grade 3 trochlée	grade 3 trochlée
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 7

Labrador femelle 13 ans

Anamnèse : boiterie depuis 2 mois

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension, clic ménisca

Grasset droit	Echographie (Dr Arnault)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	visualisation partie distale	rupture totale
Ménisque médial	lésion corne postérieure	repli corne postérieure
Ménisque latéral	normal	normal
Epanchement	oui en infra et suprapatellaire	oui
Membrane synoviale	non visualisée	normale
Capsule articulaire	non visualisée	normale
Ostéophytes	grade 1 trochlée, condyles fémoraux	grade 1 trochlée, condyles fémoraux
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 8

Rottweiler femelle 10 ans 4 mois

Anamnèse : boiterie depuis 10 jours.

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension

Grasset droit	Echographie (Dr Arnault)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	rupture totale	rupture totale
Ménisque médial	lésion	repli corne post
Ménisque latéral	normal	N
Epanchement	oui en infra et supra-patellaire	oui
Membrane synoviale	non visualisée	épaissie
Capsule articulaire	épaissie	épaissie
Ostéophytes	grade 2 trochlée, condyles fémoraux	grade 3 trochlée, condyles fémoraux
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 9

Yorkshire femelle 5 ans 11 mois

Anamnèse : boiterie depuis 1 mois

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension

Grasset droit	Echographie (Dr Arnault)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	visualisation extrémité distale	rupture totale
Ménisque médial	normal	normal
Ménisque latéral	normal	normal
Epanchement	oui en petite quantité	non
Membrane synoviale	non visualisée	normale
Capsule articulaire	épaissie	épaissie
Ostéophytes	grade 3 trochlée et condyle médial fémoral et tibial	grade 3 trochlée, patella, condyles fémoraux et tibiaux (surtout médialement)
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 10

Labrador mâle 7 ans 2 mois

Anamnèse : boiterie depuis 2 mois

Examen orthopédique : tiroir direct positif en flexion uniquement

Grasset gauche	Echographie (Dr Arnault)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	visualisation extrémité tibiale	rupture totale
Ménisque médial	déchirure corne postérieure	repli corne postérieure
Ménisque latéral	normal	normal
Epanchement	oui	oui
Membrane synoviale	non visualisée	épaissie
Capsule articulaire	épaissie	épaissie
Ostéophytes	grade 2 trochlée	grade 3 trochlée
Cartilage	ostéochondrite disséquante condyle fémoral latéral	ostéochondrite disséquante condyle fémoral latéral
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 11

Labrador mâle 10 ans 4 mois

Anamnèse : boiterie depuis 1 mois

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension

Grasset droit	Echographie (Dr Arnault)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	visualisation extrémité distale	rupture totale
Ménisque médial	lésion	déchirure corne post
Ménisque latéral	normal	normal
Epanchement	oui	oui
Membrane synoviale	non visualisée	épaissie
Capsule articulaire	épaissie	épaissie
Ostéophytes	grade 2 trochlée	grade 3 trochlée
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 12

Berger allemand mâle 4 ans 9 mois

Anamnèse : boiterie depuis 1 mois 2 semaines

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension

Grasset droit	Echographie (Dr Arnault)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	non visualisé	rupture totale
Ménisque médial	normal	corne postérieure en place mais luxable
Ménisque latéral	lésion corne antérieure	déchirure sur corne antérieure
Epanchement	non	non
Membrane synoviale	non visualisée	épaissie
Capsule articulaire	épaissie	épaissie
Ostéophytes	grade 3 trochlée, condyle fémoral latéral	grade 3 trochlée, condyle fémoral latéral
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

Cas 13

Labrador mâle 4 ans 10 mois

Anamnèse : boiterie depuis 2 ans

Examen orthopédique : test du tiroir direct positif en flexion et extension, clic méniscal

Grasset droit	Echographie (Dr Arnault)	Chirurgie
Ligament croisé crânial	visualisation extrémité distale	rupture totale
Ménisque médial	lésion corne postérieure	repli corne postérieure
Ménisque latéral	lésion corne antérieure	déchirure corne antérieure
Epanchement	oui	oui
Membrane synoviale	non visualisée	épaissie
Capsule articulaire	épaissie	épaissie
Ostéophytes	grade 3 trochlée	grade 3 trochlée
ECD	normal	normal
LCM	normal	normal
LCL	normal	normal

BIBLIOGRAPHIE

1. ADAMIAK Z, NOWICKI M: *Arthroscopic observation of pathological changes in the stifle with cranial cruciate ligament rupture in dogs*. Med wet, 2001, 57 (8):571-3
2. Agence nationale pour le développement de l'évaluation médicale, société française de chirurgie orthopédique et traumatologique, société française d'arthroscopie, et al.: *L'arthroscopie du genou: texte intégral des experts, méta analyse du groupe de travail, conclusion du jury*. Paris, 1994, pp 231
3. ARNAULT F: *Arthroscopie du genou: étude sur 21 chiens de petite taille 1 mois post-rupture du ligament croisé crânial*. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 2005, pp 199
4. ARNAULT F: *Examen arthroscopique codifié du grasset*. Point Vet 2007, 277:29-32
5. ARNAULT F, VIGUIER E: *Arthroscopie du grasset chez le chien*. Point Vet 2007, 275:64-5
6. ARNOCZKY SP, MARSHALL JL: *The cruciate ligament of the canine stifle: an anatomical and functional analysis*. Am J vet Res 1977, 38 (11):1807-14
7. ARNOCZKY SP, TARVIN GB, VASSEUR P: *Surgery of the stifle. The menisci and collateral ligament (Part 3)*. Compend contin Educ Pract Vet 1980, 2 (5):394
8. ASSHOWER J, SAGER M: *Stifle joint*. in MRI and CT atlas of the dog. Edited by science B, 1997, pp 266-87
9. BAIRD DK, HATHCOCK JT, RUMPH PF, et al.: *Low-field magnetic resonance imaging of the canine stifle joint: normal anatomy*. Vet Radiol Ultrasound 1998, 39 (2):87-97
10. BANFIELD CM, MORRISON WB: *Magnetic resonance arthrography of the canine stifle joint: technique and applications in eleven military dogs*. Vet Radiol Ultrasound 2000, 41 (2):200-13
11. BARDET JF: *L'arthrose*. Point Vet 1989, 20 (118):71-81
12. BARDET JF: *Anatomie descriptive arthroscopique du grasset du chien*. Prat méd chir Anim Cie 1999, 34:513-22
13. BARDET JF: *L'arthrose (I): anatomie et physiopathologie*. Action vet 1999, 1475:2-7
14. BARDET JF, BUREAU S: *Le grasset stable douloureux: stratégies diagnostique et thérapeutique*. Action vet 1998, 1438:23-30
15. BEALE BS: *Arthroscopic assisted stabilization of the caniate deficient stifle in dogs using a percutaneous prosthetic ligament suture ancor technique*. Vet Surg 2000, 29 (5):457
16. BERTRAND IJ: *Contribution à l'étude échotomographique de l'appareil uro-génital des carnivores domestiques*. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 1983, pp 95
17. BOUVY B: *Congrès annuel de l'ESVOT*. Action vet 1996, 1365:15-20
18. BRANDSER EA, RILEY MA, BERBAUM KS, et al.: *MR imaging of anterior cruciate ligament injury: independant value of primary and secondary signs*. Am J Roentgenol 1996, 167 (1):121-6
19. BRIGGS KK: *The canine meniscus: injury and treatment*. Compend contin Educ Pract Vet 2004, 26 (9):687-96
20. CARNIEL P: *Données de base de l'échographie*. Point Vet 1987, 19 (105):199-212
21. CHANG CY, WU HT, HUANG TF, et al.: *Imaging evaluation of meniscal injury of the knee joint, a comparative MR imaging and arthroscopy study*. Clin Imaging 2004, 28 (5):372-6
22. CHASSAING V, PARIER J: *Arthroscopie diagnostique et opératoire du genou. Deuxième tirage*. Paris, 1987, pp 146

23. CHOQUET O, ZETLAOUI P, EISENBERG E: *pages consultées le 31/08/07, Les ultrasons.* [en ligne]. Adresse URL: <http://www.alrf.asso.fr/site/echographie/principes/principes.htm>
24. COUDRY VM: *L'échographie articulaire chez le cheval.* Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 2002, pp 80
25. COUTURIER L: *Echographie musculo-squelettique.* Point Vet 2006, 264:70-6
26. CRASS JR, GENOVESE RL, RENDER JA, et al.: *Magnetic resonance, ultrasound and histopathologic correlation of acute and healing equine tendon injuries.* Vet Radiol Ultrasound 1992, 33
27. CRAYCHEE TJ: *Ultrasonographic evaluation of equine musculoskeletal injury.* in Veterinary diagnostic ultrasound. Edited by NYLAND TD, MATTON JS, 1995, pp 265-304
28. De ROOSTER H, DE BRUIN T, VAN BREE H: *Morphologic and functional features of the canine cruciate ligaments.* Vet Surg 2006, 35:769-80
29. De ROOSTER H, H VB: *Popliteal sesamoid displacement associated with cruciate rupture in the dog.* J small Anim Pract 1999, 40:316-8
30. De ROOSTER H, H VB: *Use of compression stress radiography for the detection of partial tears of the canine cranial cruciate ligament.* J small Anim Pract 1999, 40:573-6
31. De ROOSTER H, VAN BREE H: *Radiographic measurement of craniocaudal instability in stifle joints of clinically normal dogs and dogs with injury of a cranial cruciate ligament.* Am J vet Res 1999, 60:1567-70
32. De ROOSTER H, VAN RYSSSEN B, VAN BREE H: *Diagnostic of cranial cruciate ligament in dogs by tibial compression radiography.* Vet Rec 1998, 142:366-8
33. DENOIX JM: *Ultrasonographic examination in the diagnosis of joint disease.* in Joint disease in the horse. Edited by WB Saunders, 1996, pp 165-201
34. DENOIX JM, PERROT P, BOUSSEAU B, et al.: *Apport de l'échographie dans le diagnostic des affections articulaires chez le cheval (Intérêts pronostique et thérapeutique).* Prat vét équine 1994, 26 (3):197-206
35. DENOIX JM, THILL E, HOULIEZ D, et al.: *Examen échographique de l'articulation métacarpo-phalangienne. Corrélation signes échographiques - lésions.* Prat vét équine 1997, 29 (3):179-89
36. DRAPE J, GHITALLA S, AUTEFAGE A: *Lésions méniscales et rupture du ligament croisé antérieur: étude retrospective de 400 cas.* Point Vet 1990, 22 (130):39-46
37. DULAC O: *Contribution à l'étude de la pathologie méniscale chez le chien.* Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 1983, pp 83
38. DUPUIS J, HARARI J: *Cruciate ligament and meniscal injuries in dogs.* Compend contin Educ Pract Vet 1993, 15 (2):215-28
39. DUVAL JM, BUDSBERG SC, FLO GL, et al.: *Breed, sex, and body weight as risk factors for rupture of the cranial cruciate ligament in young dogs.* J am vet med Assoc 1999, 215 (6):811-4
40. EATON-WELLS RD, PLUMMER GV: *Avulsion of the popliteal muscle in Afghan hound.* J small Anim Pract 1978, 19:743-7
41. ELKINS AD, PECHMAN R, KEARNEY MT, et al.: *A retrospective study evaluating the degree of degenerative joint disease in the stifle joint of dog following surgical repair of anterior cruciate ligament rupture.* J am Anim Hosp Assoc 1991, 27 (5):533-40
42. ENGELKE A, MEYER-LINDENBERG A, NOLTE I: *Ultrasonography of the inner stifle joint in dogs with rupture of the cruciate ligaments.* DeutschTier Woch 1997, 104 (3):114-7
43. FARROW CS: *Musculoskeletal system.* in Small animal ultrasound. Edited by Green, 1996, pp 335-49

44. FAYOLLE P: *Arthrose*. in Encyclopédie vétérinaire-Orthopédie. Edited by Elsevier, 1997, pp 15
45. FLO G: *Meniscal injuries*. Vet Clin North Am Small Anim Pract 1993, 23 (4):831-43
46. FLO G, DE YOUNG D: *Meniscal injuries and medical meniscectomy in the canine stifle*. J small Anim Pract 1978, 1:489-501
47. FLO GL: *Classification of meniscal injuries in the canine stifle*. J am Anim Hosp Assoc 1983, 19:325-34
48. FOSSUM TW, HEDLUND CS, JOHNSON AL, et al.: *Small animal surgery. 3rd edition*, Mosby Elsevier, 2007, pp 1610
49. GERARD IGC: *Approche biomécanique de la rupture du ligament croisé crânial et de son traitement chez le chien: "Etude clinique rétrospective d'une technique stabilisatrice par ostéotomie de nivellement du plateau tibial"*. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 2003, pp 140
50. GESTEL MV, VAN GESTEL MA: *Diagnostic accuracy of stifle arthroscopy in the dog*. J am Anim Hosp Assoc 1985, 21:757-63
51. GNUDI G, G B: *Echographic examination of the stifle joint affected by cranial cruciate ligament rupture in the dog*. Vet Radiol Ultrasound 2001, 42 (3):266-70
52. GONZALES JF: *Place actuelle de l'imagerie par résonance magnétique dans les pathologies ménisco-ligamentaires du genou*. Thèse de doctorat en médecine. Lyon, Université Claude-Bernard Lyon 1, 1997, pp 96
53. GREEN RW: *The veterinarian and ultrasound*. in Small animal ultrasound. Edited by publisher L-R, 1996, pp 1-5
54. GRIFFIN DW, PB V: *Synovial fluid analysis in dogs with cranial cruciate ligament rupture*. J am Anim Hosp Assoc 1992, 28 (3):277-81
55. HEFFRON LE, CAMPBELL JR: *Osteophyte formation in the canine stifle joint following treatment for rupture of the cranial cruciate ligament*. J small Anim Pract 1979, 20:603-11
56. HERRING DS, G B: *Physics, facts and artifacts of diagnostic ultrasound*. Vet Clin North Am Small Anim Pract 1985, 15 (6):1107-21
57. HODLER J, HAGHIGHI P, TRUDELL D, et al.: *The cruciate ligaments of the knee: correlation between MR apparence and gross and histologic findings in cadaveric specimens*. Am J Roentgenol 1992, 159 (2):357-60
58. HOLDCOMBE SJ, BERTONE AL, BILLER DS, et al.: *Magnetic resonance imaging of the equine stifle*. Vet Radiol Ultrasound 1995, 36 (2):119-25
59. IHAKA R, GENTLEMAN R: *R: a language for data analysis and graphics*. 299-314. Edited by Journal of Computational and Graphical Statistics 5, 1996
60. JACKSON J, VASSEUR FB, GRIFFEY S, et al.: *Pathologic changes in grossly normal menisci in dog with rupture of the cranial cruciate ligament*. J am vet med Assoc 2001, 218 (8):1281-4
61. JAUDON JP, PERROT C, VIAUD F, et al.: *Bases physiques, technologiques et sémiologiques de l'ultrasonographie médicale*. Point Vet 1991, 23 (135):11-8
62. JOHNSON JM, JOHNSON AL: *Cranial cruciate ligament rupture: pathogenesis, diagnosis, and postoperative rehabilitation*. Vet Clin North Am Small Anim Pract 1993, 23 (4):717-33
63. JOUVE P: *Anatomie du genou et de la jambe du chien. Réalisation d'un support audiovisuel à but pédagogique*. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 1994, pp 67
64. KERAVEL O: *L'arthroscopie vétérinaire: état actuel des connaissances, perspectives chez le chien*. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 1992, pp 97
65. KIVUMBI CW, BENNETT D: *Arthroscopy of the canine stifle joint*. Vet Rec 1981, 109:241-9

66. KRAMER M, STENGEL H, GERWING M, et al.: *Sonography of the canine stifle*. Vet Radiol Ultrasound 1999, 40 (3):282-93
67. LAREDO JD: *Artrographie, arthroscanner, arthro IRM, membre inférieur et pathologie spécifique*, Masson, 2001, pp 169
68. LORIOT P: *Sémiologie et applications courantes de l'échographie chez les mammifères domestiques*. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 1993, pp 167
69. MAHN MM, COOK JL, COOK CR, et al.: *Arthroscopic verification of ultrasonographic diagnosis of meniscal pathology in dogs*. Vet Surg 2005, 34:318-23
70. MAI W: *L'image échographique: formation et qualité*. Point Vet 1999, 30 (201):71-6
71. MATTERN KL, BERRY CR, PECK JN, et al.: *Radiographic and ultrasonographic evaluation of the patellar ligament following tibial plateau leveling osteotomy*. Vet Radiol Ultrasound 2006, 47 (2):185-91
72. MEINEN JJ, VERBREEK M: *Vakgroep geneeskunde van het kleine huisdier en vakgroep radiologie*. Utrecht, 1980
73. MILLER, PRESNELL: *Examination of the canine stifle: arthroscopy versus arthrotomy*. J am Anim Hosp Assoc 1984, 21:623-9
74. MIROWITZ SA: *Pitfalls, variants and artifacts in body MR imaging*. Edited by book SLM-Y, 1996, pp 516
75. MONTGOMERY RD, FITCH RB, HATHCOCK JT, et al.: *Radiographic imaging of the canine intercondylar fossa*. Vet Radiol Ultrasound 1995, 36 (4):276-82
76. MOORE KW, RA R: *Rupture of the cranial cruciate ligament in dog: part II diagnosis and management*. Compend contin Educ Pract Vet 1996, 18 (4):381-405
77. MOSES PA: *A technique for the surgical repair of caudal peripheral detachment and longitudinal peripheral tears of the medial meniscus in dogs*. Vet comp Orthop Traumatol 2002, 15:92-6
78. NAUTRUP CP: *Terminology and historical review*. in An atlas and textbook of diagnostic ultrasonography of the dog and the cat. Edited by Manson publishing Ltd, 2000, pp 18-20
79. NAUTRUP CP, TOBIAS R: *Membres et colonne vertébrale*. in Guide pratique de l'échographe canine et féline. Edited by Med'Com, 2005, pp 329-60
80. NOBLE J, ILANGO B, OBEID M: *Complications of arthroscopy of the knee*. Knee 1998, 5:1-8
81. PERRET D: *Fonctionnement de l'échographie*. Prat méd chir Anim Cie 1999, 34, Supplément personnel soignant N°3:16-22.
82. PERSON MW: *A procedure for arthroscopic examination of the canine stifle joint*. J am Anim Hosp Assoc 1985, 21:179
83. POND MJ, LOSONSKY JM: *Avulsion of the popliteal muscle in the dog: a case report*. J am Anim Hosp Assoc 1976, 12:60-3
84. POZZIA L, A P: *L'échographie des articulations*. Revue française d'échographie animale 1991, 3/4:6-9
85. RADIOLOGICAL REFRESHER: *The radiological examination for osteoarthritis and instability of the canine stifle*. J small Anim Pract 1975, 16:61-3
86. RADLINSKY MA: *Ancillary diagnostic techniques for the lame patient*. Vet Clin North Am Small Anim Pract 2001, 31 (1):187-91
87. RALPHS SC, WITHNEY WO: *Arthroscopic evaluation of menisci in dogs with cranial cruciate ligament injuries: 100 cases (1999-2000)*. J am vet med Assoc 2002, 221:1601-4
88. REED AL, PAYNE JT, GM C: *Ultrasonographic anatomy of the normal canine stifle*. Vet Radiol Ultrasound 1995, 36 (4):315-21
89. REEF VB: *Equine diagnostic ultrasound*, 1998, pp 560

90. REEF VB, MARTIN BB, STEBBINS K: *Comparision of ultrasonographic, gross, and histologic appareance of tendon injuries in performance horses*. Proc am Assoc Eq Pract 1989, 35:279
91. ROCHAT MC: *Arthroscopy*. Vet Clin North Am Small Anim Pract 2001, 31 (4):761-87
92. SABISTON CP, ADAMS ME, DK L: *Magnetic resonance imaging of osteoarthritis: correlation with gross pathology using an experimental model*. J Orthop Res 1978, 5 (2):164-72
93. SAMII VF, DYCE J: *Computed tomographic arthrography of the normal canine stiffl*. Vet Radiol Ultrasound 2004, 45 (5):402-6
94. SAMII VF, LONG C: *Musculoskeletal system*. in Small animal diagnostic ultrasound. Edited by Compagny WS, 2002, pp 267-84
95. SCAVELLI TD, SCHRADER SC, MATTHIESEN DT, et al.: *Partial rupture of the cranial cruciate ligament of the stiffl in dog: 25 cases (1982-1988)*. J am vet med Assoc 1990, 196 (7):1135-8
96. SCHILS JP, RESNICK D, DJ S: *Diagnostic imaging of ligamentous injuries of the knee*. Knee ligaments: structure, function, injury and repair. Edited by Press R, 1990, pp 558
97. SEONG Y, EOM K, LEE H, et al.: *Ultrasonographic evaluation of cranial cruciate ligament rupture via dynamic intra-articular saline injection*. Vet Radiol Ultrasound 2005, 46 (1):80-2
98. SHAHAR R, MILGRAM J: *Biomechanics of tibial plateau leveling of the canine cruciate-deficient stiffl joint: a theoretical model*. Vet Surg 2006, 35:144-9
99. SIEMERING GH: *Arthroscopy of dogs*. J am vet med Assoc 1978, 172:575-7
100. SLATTERS D: *Cranial cruciate ligament rupture*. in Textybook of small animal surgery, 3e edition. Edited by Saunders, 2002, pp 2095-103
101. SPAULING K: *Ultrasonic anatomy of the tendons and ligaments in the distal metacarpal-metatarsal region of the equine limb*. Vet Rad 1984, 164 (2):155-66
102. SPRIET MP, GIRARD CA, FOSTER SF, et al.: *Validation of a 40 MHz B-scan ultrasound biomicroscope for the evaluation of osteoathritis lesions in an animal model*. Osteoarthr Cartil 2005, 13 (2):171-9
103. TIRGARY M: *Changes in the canine stiffl joint following rupture of the anterior cruciate ligament*. J small Anim Pract 1977, 19:17-26
104. TIRGARY M, VAUGHAN LC: *Arthritis of the canine stiffl*. Vet Rec 1975, 96:394-9
105. TRILLAT A, NOURISSAT CH: *L'avenir des ménisectomisés du genou*. Rev Prat 1975, 25 (35):2765-73
106. TSAI KJ, CHIANG H, JIANG CC: *Magnetic resonance imaging of anterior cruciate ligament rupture*. BMC Musculoskelet Disord 2004, 5:21
107. VALON F, LEGRAND JJ: *Les ultrasons, leur utilisation pour le diagnostic médical chez les équidés*. Prat vét équine 1981, 13 (2):89-95
108. VAN BREE HJ, VAN RYSSEN B: *Diagnostic and surgical arthroscopy in osteochondrosis lesion*. Vet Clin North Am Small Anim Pract 1998, 28 (1):161-89
109. VERSET M: *Etude expérimentale des lésions macroscopiques et histologiques d'arthrose du genou 90 jours après rupture chirurgicale du ligament croisé antérieur chez le chien* Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 2005, pp 180
110. VIGUIER E: *L'arthroscopie en médecine vétérinaire: matériel et indications*. Rec Méd vét 1992, 168 numéro spécial 3-4:263-70
111. VIGUIER E: *Traumatisme du genou*. in Encyclopédie vétérinaire. Edited by Elsevier, 1993, pp 7
112. VIGUIER E: *L'arthroscopie en chirurgie vétérinaire*. Bull Acad vet Fr 1995, 68:131-8
113. VIGUIER E: *La chirurgie articulaire assistée sous arthroscopie chez les carnivores domestiques*. Bull Acad vet Fr 2001, 154:151-6

114. WHITEHAIR JG, VASSEUR PB, WILLITS NH: *Epidemiology of cranial cruciate ligament rupture in dogs*. J am vet med Assoc 1993, 203 (7):1016-9
115. WIDMER WR, BUCKWALTER KA, BRAUNSTEIN EM, et al.: *Radiographic and magnetic resonance imaging of the stifle joint in experimental osteoarthritis of dogs*. Vet Radiol Ultrasound 1994, 35 (5):371-83
116. WIDMER WR, BUCKWALTER KA, BRAUNSTEIN EM, et al.: *Principles of magnetic resonance imaging and application to the stifle joint in dogs*. J am vet med Assoc 1991, 198 (11):1914-22
117. WILLIAMS J, FITCH RB, LEMARIE RJ: *Partial avulsion of the origin of the cranial cruciate ligament in a 4 year-old dog*. Vet Radiol Ultrasound 1997, 38 (5):380-3

KRAFFT Emilie

**PLACE DE L'ECHOGRAPHIE DANS LE DIAGNOSTIC DES
RUPTURES DU LIGAMENT CROISE CRANIAL CHEZ LE CHIEN :
ETUDE CLINIQUE SUR TREIZE CHIENS**

Thèse Vétérinaire : Lyon, le 17 septembre 2007

RESUME :

L'échographie est une technique d'imagerie basée sur les ultrasons qui est encore peu utilisée dans le diagnostic des affections ostéo-articulaires. Elle permet pourtant l'étude des tissus mous articulaires et extra-articulaires : muscles, tendons, ligaments et apporte de nombreuses informations sur les surfaces ostéocartilagineuses. Son utilisation pour l'exploration du grasset est décrite pour la première fois en 1995. Les publications sur ce sujet restent rares et l'échographie est actuellement délaissée au profit de la radiographie et des techniques d'imagerie les plus récentes, en particulier l'IRM.

L'étude que nous avons menée sur 13 chiens nous a permis de préciser la valeur diagnostique de l'échographie lors de rupture du ligament croisé crânial. L'échographie s'est révélée, dans cette étude, décevante pour le diagnostic des ruptures du ligament croisé car les lésions sont difficilement visualisées. Par contre, elle est particulièrement intéressante pour l'évaluation des lésions associées à la rupture ligamentaire: lésions méniscales, capsulaires, ligamentaires, lésions arthrosiques, et épanchements articulaires. L'échographie nous apparaît donc comme une méthode d'imagerie complémentaire de la radiographie pour l'approche diagnostique du grasset douloureux.

MOTS CLES :

- Echographie
- Grasset
- Ligament croisé crânial / Ligament croisé antérieur
- Ménisque
- Chien

JURY :

Président :	Monsieur le Professeur Roland ITTI
1 ^{er} Assesseur :	Monsieur le Professeur Eric VIGUIER
2 ^{ème} Assesseur :	Monsieur le Professeur Jean-Pierre GENEVOIS
Membre invité :	Docteur Claude CAROZZO

DATE DE SOUTENANCE : 17 septembre 2007

ADRESSE DE L'AUTEUR : chemin des vignes 38200 Villette de Vienne