



**HAL**  
open science

# Guide pratique de l'échographie articulaire chez le bovin adulte

Amandine Desvignes, Amandy Dubois

► **To cite this version:**

Amandine Desvignes, Amandy Dubois. Guide pratique de l'échographie articulaire chez le bovin adulte. Médecine vétérinaire et santé animale. 2024. dumas-04791021

**HAL Id: dumas-04791021**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04791021v1>**

Submitted on 19 Nov 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANNEE 2024 THESE : 2024 – TOU 3 – 4068

---

# GUIDE PRATIQUE DE L'ÉCHOGRAPHIE ARTICULAIRE CHEZ LE BOVIN ADULTE

---

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de  
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

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

**DESVIGNES Amandine, Constance**

Et

**DUBOIS Amandy, Cathy**

**Directeur de thèse : M. Renaud MAILLARD**

---

**JURY**

PRESIDENT :

**M. Giovanni MOGICATO**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :

**M. Renaud MAILLARD**

**M. Benjamin CARTIAUX**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE



**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation  
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

**Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire**

**Directeur : Professeur Pierre SANS**

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

**PROFESSEURS 1<sup>ère</sup> CLASSE**

- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootéchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*

**PROFESSEURS 2<sup>ème</sup> CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

## MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*  
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*  
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*  
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*  
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
Mme **PRIYENKO Nathalie**, *Alimentation*

## MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*  
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*  
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*  
M. **COMBARROS Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*  
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*  
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*  
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*  
M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*  
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*  
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*  
M. **FUSADE-BOYER**, *Microbiologie et infectiologie*  
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*  
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*  
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*  
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*  
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*  
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*  
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*  
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales règlementées*  
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

## INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*  
M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*  
M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*  
M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*  
Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*  
M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*  
Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*  
Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*  
Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*  
Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*  
Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*  
Mme **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*  
Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*  
Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*  
M. **RAMON PORTUGAL Felipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*  
M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*  
Mme **SAADA Chloé**, *Gestion intégrée de la santé des ruminants*

# Remerciements

## **À Monsieur le Docteur Giovanni Mogenicato**

Professeur à l'École Vétérinaire de Toulouse

*Anatomie, imagerie médicale*

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

## **À Monsieur le Docteur Renaud Maillard**

Professeur à l'École Vétérinaire de Toulouse

*Pathologie des Ruminants*

Qui a accepté de nous encadrer avec gentillesse et bienveillance.

Qui a su nous encourager et nous soutenir tout au long de notre travail.

Notre plus sincère reconnaissance.

## **À Monsieur le Docteur Benjamin Cartiaux**

Maître de conférences à l'École Vétérinaire de Toulouse

*Anatomie, imagerie médicale*

Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse.

Nos sincères remerciements.



# Table des matières

<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>11</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>13</b>
<b>LISTE DES PHOTOGRAPHIES</b> .....	<b>19</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>23</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>25</b>
<b>PARTIE 1 : PRINCIPES DE L'ECHOGRAPHIE</b> .....	<b>27</b>
I. <b>CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE L'ECHOGRAPHIE</b> .....	<b>27</b>
A. <i>Paramètres et définitions physiques des ondes</i> .....	<b>28</b>
B. <i>Modification des paramètres lorsque l'onde ultrasonore traverse les milieux</i> .....	<b>30</b>
1.    Caractéristiques intrinsèques aux ondes ultrasonores.....	<b>30</b>
2.    Devenir d'une onde ultrasonore émise par une sonde .....	<b>31</b>
II. <b>PARAMETRES BIOLOGIQUES</b> .....	<b>33</b>
III. <b>APPAREIL ECHOGRAPHIQUE</b> .....	<b>34</b>
A. <i>Obtention de l'image</i> .....	<b>34</b>
1.    Échogénéicité .....	<b>35</b>
2.    Fréquence et résolution de la sonde .....	<b>36</b>
B. <i>Type de sonde</i> .....	<b>37</b>
C. <i>Qualité de l'image obtenue</i> .....	<b>39</b>
D. <i>Modes</i> .....	<b>40</b>
IV. <b>ARTEFACTS</b> .....	<b>42</b>
A. <i>Artefacts liés à l'environnement</i> .....	<b>42</b>
B. <i>Artefacts acoustiques</i> .....	<b>43</b>
1.    Artefact de réflexion : ombre échographique ou cône d'ombre.....	<b>43</b>
2.    Artefacts de réverbération : image en miroir, queue de comète.....	<b>45</b>
3.    Renforcement postérieur .....	<b>48</b>
<b>PARTIE 2 : PREREQUIS DE L'ECHOGRAPHIE ARTICULAIRE CHEZ LES BOVINS</b> .....	<b>49</b>
I. <b>DEVELOPPEMENT DE L'ECHOGRAPHIE EN MEDECINE RURALE</b> .....	<b>49</b>
II. <b>DESCRIPTION ANATOMIQUE D'UNE ARTICULATION</b> .....	<b>50</b>
A. <i>Surfaces et cartilages articulaires</i> .....	<b>51</b>
B. <i>Formations complémentaires</i> .....	<b>51</b>
C. <i>Moyens d'union</i> .....	<b>52</b>
III. <b>DESCRIPTION ECHOGRAPHIQUE DES TISSUS ARTICULAIRES</b> .....	<b>54</b>
A. <i>Tissus mous de l'articulation</i> .....	<b>54</b>
B. <i>Muscles</i> .....	<b>55</b>

C.	<i>Tendons, gaines tendineuses et ligaments</i> .....	55
D.	<i>Espaces articulaires, capsules et récessus</i> .....	56
E.	<i>Surfaces osseuses articulaires</i> .....	56
<b>PARTIE 3 :</b>	<b>METHODOLOGIE MISE EN ŒUVRE</b> .....	<b>58</b>
I.	CRITERES DE CHOIX DES SUJETS DE L'ETUDE .....	58
A.	<i>Examen clinique et locomoteur</i> .....	59
B.	<i>Identification d'une articulation saine</i> .....	60
II.	PREPARATION DE L'ANIMAL.....	61
A.	<i>Contention de l'animal</i> .....	61
B.	<i>Préparation de l'animal à l'examen échographique</i> .....	62
III.	MATERIEL UTILISE .....	63
A.	<i>Repères visuels de l'articulation externe</i> .....	63
B.	<i>Matériel échographique</i> .....	63
C.	<i>Définition des plans de coupe</i> .....	65
<b>PARTIE 4 :</b>	<b>ARTICULATIONS DU MEMBRE THORACIQUE</b> .....	<b>67</b>
I.	ARTICULATION SCAPULO-HUMERALE (EPAULE).....	67
A.	<i>Généralités sur l'articulation</i> .....	67
B.	<i>Anatomie articulaire</i> .....	68
C.	<i>Techniques échographiques</i> .....	70
1.	Repères anatomiques, sondes et coupes .....	70
2.	Aspects échographiques physiologiques de l'épaule .....	70
3.	Aspects échographiques pathologiques de l'épaule .....	77
D.	<i>Discussion</i> .....	78
II.	ARTICULATION HUMERO-ANTEBRACHIALE (COUDE).....	79
A.	<i>Généralités sur l'articulation</i> .....	79
B.	<i>Anatomie articulaire</i> .....	80
C.	<i>Techniques échographiques</i> .....	82
1.	Repères anatomiques, sondes et coupes .....	82
2.	Aspects échographiques physiologiques du coude .....	82
3.	Aspects échographiques pathologiques et principales applications sur le coude.....	85
D.	<i>Discussion</i> .....	85
III.	ARTICULATIONS DU CARPE .....	86
A.	<i>Généralités sur l'articulation</i> .....	86
B.	<i>Anatomie articulaire</i> .....	87
C.	<i>Techniques échographiques</i> .....	91
1.	Repères anatomiques, sondes et coupes .....	91
2.	Aspects échographiques physiologiques du carpe .....	91
3.	Aspects échographiques pathologiques et principales applications sur le carpe.....	96
D.	<i>Discussion</i> .....	97
IV.	ARTICULATIONS METACARPO-PHALANGIENNE ET METATARSO-PHALANGIENNE (BOULET).....	98

A.	<i>Généralités du boulet</i> .....	98
B.	<i>Anatomie articulaire</i> .....	99
C.	<i>Techniques échographiques</i> .....	101
1.	Repères anatomiques, sondes et coupes .....	101
2.	Aspects échographiques physiologiques du boulet.....	101
3.	Aspects échographiques pathologiques et principales applications du boulet.....	106
D.	<i>Discussion</i> .....	107
V.	ARTICULATIONS INTER-PHALANGIENNES (MAIN / PIED) .....	108
A.	<i>Généralités sur l'articulation</i> .....	108
B.	<i>Anatomie articulaire</i> .....	109
C.	<i>Techniques échographiques</i> .....	111
1.	Repères anatomiques, sondes et coupes .....	111
2.	Aspects échographiques physiologiques de la main / du pied .....	111
3.	Aspects échographiques pathologiques de la main / du pied .....	117
D.	<i>Discussion</i> .....	118
	<b>PARTIE 5 : ARTICULATIONS DU MEMBRE PELVIEN.....</b>	<b>119</b>
I.	ARTICULATION COXO-FEMORALE (HANCHE).....	119
A.	<i>Généralités sur l'articulation</i> .....	119
B.	<i>Anatomie articulaire</i> .....	120
C.	<i>Techniques échographiques</i> .....	122
1.	Repères anatomiques, sondes et coupes .....	122
2.	Aspects échographiques physiologiques de la hanche.....	122
3.	Aspects échographiques pathologiques de la hanche.....	126
D.	<i>Discussion</i> .....	127
II.	ARTICULATION FEMORO-TIBIALE ET FEMORO-PATELLAIRE (GENOU, GRASSET).....	129
A.	<i>Généralités sur l'articulation</i> .....	129
B.	<i>Anatomie articulaire</i> .....	130
C.	<i>Techniques échographiques</i> .....	133
1.	Repères anatomiques, sondes et coupes .....	133
2.	Aspects échographiques physiologiques du grasset.....	134
3.	Aspects échographiques pathologiques du grasset.....	138
D.	<i>Discussion</i> .....	139
III.	ARTICULATIONS DU TARSE (JARRET) .....	141
A.	<i>Généralités sur l'articulation</i> .....	141
B.	<i>Anatomie articulaire</i> .....	141
C.	<i>Techniques échographiques</i> .....	145
1.	Repères anatomiques, sondes et coupes .....	145
2.	Aspects échographiques physiologiques du tarse .....	145
3.	Aspects échographiques pathologiques du tarse .....	153
D.	<i>Discussion</i> .....	156
	<b>PARTIE 6 : ARTICULATIONS DU TRONC ET DE LA TETE .....</b>	<b>158</b>

I.	ARTICULATION TEMPORO-MANDIBULAIRE .....	158
A.	<i>Généralités sur l'articulation</i> .....	158
B.	<i>Anatomie articulaire</i> .....	158
C.	<i>Techniques échographiques</i> .....	159
1.	Repères anatomiques, sondes et coupes .....	159
2.	Aspects échographiques physiologiques .....	160
3.	Aspects échographiques pathologiques .....	162
D.	<i>Discussion</i> .....	163
II.	ARTICULATION ATLANTO-OCCIPITALE .....	164
A.	<i>Généralités sur l'articulation</i> .....	164
B.	<i>Anatomie articulaire</i> .....	165
C.	<i>Techniques échographiques</i> .....	166
1.	Repères anatomiques, sondes et coupes .....	166
2.	Aspects échographiques physiologiques .....	167
D.	<i>Discussion</i> .....	169
	<b>PARTIE 7 : DISCUSSION GENERALE .....</b>	<b>171</b>
	<b>PARTIE 8 : CONCLUSIONS .....</b>	<b>175</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>177</b>

# Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs de l'impédance acoustiques et de la célérité des différents milieux rencontrés .....	31
Tableau 2 : Valeurs de la profondeur d'exploration en fonction de la fréquence de la sonde, selon (Loriot 2011) .....	33
Tableau 3 : Échogénéicité et réflexion de l'onde ultrasonore des tissus (source : auteures) .....	35



# Liste des figures

Figure 1 : Schéma des caractéristiques physiques de l'onde .....	28
Figure 2 : Schéma des caractéristiques de l'onde ultrasonore en fonction de la fréquence .....	29
Figure 3 : Schéma des 4 lois d'après (Loriot 2011) .....	31
Figure 4 : Définition de l'onde en fonction de la fréquence et de la profondeur d'examen, d'après (Poulsen Nautrup 2005).....	36
Figure 5 : Comparaison entre la sonde linéaire et convexe .....	38
Figure 6 : Schéma des différents modes échographiques, d'après (Hartmann 2017) .....	42
Figure 7 : Schéma représentatif d'un artefact en cône d'ombre, associé à l'échographie correspondante représentant la corde du jarret sur l'os calcanéus .....	44
Figure 8 : Schéma représentatif d'un artefact d'une image en miroir .....	45
Figure 9 : Schéma d'une queue de comète (source : auteures), et sa représentation échographique (source : (Blond, Buczinski 2009)) .....	46
Figure 10 : Schéma représentatif de l'artefact de réverbération, associé à sa représentation échographique dans l'articulation du carpe.....	47
Figure 11 : Schéma représentatif d'un artefact de renforcement postérieur associé à sa représentation échographique sur l'articulation du tarse.....	48
Figure 12 : Schéma général simplifié des constituants d'une articulation synoviale..	53
Figure 13 : Échographies d'un coude gauche, vue crâniale en coupe longitudinale (à gauche) et d'un boulet droit en coupe transversale (à droite) .....	57
Figure 14 : Schéma des différents plans de coupe .....	66
Figure 15 : Schémas simplifiés de l'articulation scapulo-humérale gauche de bœuf, vue crâniale et des muscles superficiels de l'épaule et du bras gauche, vue latérale (d'après (Barone 2020)) .....	69
Figure 16 : Images échographiques de l'articulation saine de l'épaule droite en vue crâniale.....	71
Figure 17 : Images échographiques de l'articulation saine de l'épaule droite en vue latérale .....	73
Figure 18 : Images échographiques de l'articulation saine de l'épaule droite en vue caudo-latérale .....	75

Figure 19 : Images échographiques de l'articulation saine de l'épaule droite en vue caudale.....	76
Figure 20 : Images échographiques de l'articulation scapulo-humérale droite en vue cranio-latérale, atteinte d'une arthrite fibrino-purulente ( <i>Kofler 2009</i> ).....	77
Figure 21 : Schéma simplifié de l'articulation huméro-antébrachiale, vue latérale et médiale (d'après (Barone 2020)) .....	81
Figure 22 : Images échographiques de l'articulation saine du coude gauche en vue crâniale.....	83
Figure 23 : Images échographiques de l'articulation saine du coude gauche en vue latérale .....	84
Figure 24 : Schémas des articulations du carpe, avec les ligaments et synoviales, en vue latérale et dorsale (d'après (Barone 2020)).....	89
Figure 25 : Schémas de l'articulation du carpe, avec les synoviales et gaines tendineuses en vue dorsale et avec les muscles et tendons en vue latérale (d'après (Barone 2020)) .....	90
Figure 26 : (b) Images échographiques de l'articulation saine du carpe gauche (articulations antébrachio-carpienne, intercarpienne, carpo-métacarpienne) en vue dorsale .....	92
Figure 27 : (b) Images échographiques des articulations saines médio-carpienne et carpo-métacarpienne gauches vue latéro-dorsale, coupe longitudinale.....	93
Figure 28 : (b) Images échographiques de l'articulation saine inter-carpienne gauche vue latéro-dorsale, coupe transversale .....	94
Figure 29 : (b) Images échographiques de l'articulation saine médio-carpienne gauche vue latéro-palmaire, coupe longitudinale .....	95
Figure 30 : Images échographiques de l'articulation saine médio-carpienne gauche vue latéro-dorsale, coupe longitudinale .....	96
Figure 31 : Schémas simplifiés des gaines tendineuses et synoviales des articulations de la main : métacarpo-phalangienne et inter-phalangiennes ainsi que d'une coupe sagittale de main (d'après (Barone 2020)).....	100
Figure 32 : (b) Images échographiques de l'articulation métacarpo-phalangienne droite saine en vue dorsale .....	102
Figure 33 : (b) Images échographiques de l'articulation métacarpo-phalangienne droite saine en vue dorsale .....	103

Figure 34 : (b) Images échographiques de l'articulation métacarpo-phalangienne droite saine en vue latérale .....	104
Figure 35 : (b) et (b') Images échographiques comparatives de deux coupes (longitudinale et transversale) en face palmaire de l'articulation métacarpo-phalangienne du membre thoracique droit.....	105
Figure 36 : (b) Images échographiques de l'articulation métacarpo-phalangienne gauche saine en vue médiale .....	106
Figure 37 : Images échographiques pathologiques d'un boulet (métacarpo-phalangienne) face palmaire en coupe transversale .....	107
Figure 38 : Schéma simplifié des articulations de la main de bœuf en vue latérale (d'après (Barone 2020)) .....	110
Figure 39 : (b) : Images échographiques saines des articulations métacarpo-phalangienne et inter-phalangienne proximale en face dorsale.....	112
Figure 40 : Images échographiques saines de l'articulation inter-phalangienne distale en face dorsale.....	113
Figure 41 : (b) Images échographiques saines de l'articulation inter-phalangienne proximale en face dorso-latérale .....	114
Figure 42 : (b) Images échographiques saines de l'articulation inter-phalangienne proximale en face latérale .....	115
Figure 43 : Images échographiques saines du tendon fléchisseur profond du doigt en coupe transversale.....	116
Figure 44 : (b) Echographie de l'articulation inter-phalangienne proximale .....	117
Figure 45 : Schémas simplifiés de l'articulation coxo-fémorale en coupe transversale (à gauche) et des muscles du bassin en vue latérale après ablation des muscles glutéobiceps et tenseur du fascia lata (à droite) (d'après (Barone 2020)) .....	121
Figure 46 : Images échographiques de l'articulation coxo-fémorale saine gauche en vue crâniale.....	123
Figure 47: (b) Images échographiques de l'articulation coxo-fémorale saine gauche en vue latérale.....	124
Figure 48 : (b) Images échographiques de l'articulation coxo-fémorale saine gauche en vue oblique.....	125
Figure 49 : Images échographiques d'une luxation crânio-dorsale de l'articulation coxo-fémorale gauche en vue dorso-latérale (Starke et al. 2007) .....	126

Figure 50 : Schémas simplifiés de l'articulation du grasset gauche en vue crâniale (à gauche) et en vue latérale (à droite) (d'après (Barone 2020)) .....	131
Figure 51 : Schémas simplifiés de l'articulation du grasset gauche en vue caudale (capsule articulaire retirée) et des muscles de la cuisse après ablation des muscles glutéobiceps et tenseur du fascia lata en vue latérale (d'après (Barone 2020)) .....	132
Figure 52 : Images échographiques de l'articulation saine fémoro-patellaire droite en vue crâniale .....	135
Figure 53 : Images échographiques de l'articulation saine fémoro-tibiale droite en vue crâniale .....	136
Figure 54 : (b) Images échographiques de l'articulation saine fémoro-tibiale gauche en vue latérale .....	137
Figure 55 : Image échographique d'un gonflement chronique de la face latérale de l'articulation fémoro-tibiale en lien avec la présence d' <i>Onchocerca gutturosa</i> (Nuss et al. 2011) .....	138
Figure 56 : Schémas simplifiés des articulations du tarse, en face latérale (à gauche) et en face dorsale (à droite) avec les os et les ligaments (d'après (Barone 2020)) .	143
Figure 57 : Schéma simplifié des articulations du tarse, en face latérale représentant ses tendons, leur gaine et les synoviales (d'après (Barone 2020)) .....	144
Figure 58 : (b) Images échographiques de l'articulation cruro-tarsienne saine droite en vue dorsale .....	146
Figure 59 : (b) Images échographiques de l'articulation cruro-tarsienne saine droite en vue latérale .....	147
Figure 60 : (b) Images échographiques du tubercule calcanéen sain en vue plantaire .....	148
Figure 61 : (b) Images échographiques de l'articulation cruro-tarsienne saine droite en vue médiale .....	149
Figures 62 : (b) et (b)' : Images échographiques comparatives de l'articulation médio-tarsienne saine droite, respectivement en coupe longitudinale et transversale .....	150
Figure 63 : (b) Images échographiques de l'articulation intertarsienne saine droite en vue dorsale .....	151
Figure 64 : (b) Images échographiques de l'articulation tarso-métatarsienne saine droite en vue latérale .....	152
Figure 65 : Images échographiques d'une arthrite septique débutante de l'articulation cruro-tarsienne droite en vue dorsale .....	154

Figure 66 : Images échographiques d'une arthrite septique marquée de l'articulation cruro-tarsienne droite en vue latérale .....	155
Figure 67 : Schéma simplifié de l'articulation temporo-mandibulaire en coupe sagittale (d'après (Barone 2020)) .....	159
Figure 68: (b) Images échographiques de l'articulation temporo-mandibulaire saine gauche en vue latérale.....	160
Figure 69 : (b) Images échographiques de l'articulation temporo-mandibulaire saine gauche en vue caudo-latérale.....	161
Figure 70 : Image échographique d'une arthrite septique de l'articulation temporo-mandibulaire droite en vue rostro-latérale ( <i>Borges 2016</i> ).....	162
Figure 71 : Schéma simplifié de l'articulation atlanto-occipitale en vue dorsale après ablation de la corde spinale et des méninges (d'après (Barone 2020)).....	166
Figure 72 : (b) et (b)' : Images échographiques comparatives de l'espace atlanto-occipital sain, respectivement en coupe transversale et longitudinale.....	168



# Liste des photographies

Photographie 1 : Emplacement de la sonde sur la face crâniale de l'épaule droite...	71
Photographie 2 : Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'épaule droite ...	72
Photographie 3 : Emplacement de la sonde sur la face caudo-latérale de l'épaule droite .....	74
Photographie 4 : Emplacement de la sonde sur la face caudale de l'épaule.....	76
Photographie 5 : Emplacement de la sonde sur la face crâniale d'un coude gauche	83
Photographie 6 : Emplacement de la sonde sur la face latérale du coude gauche ...	84
Photographie 7 : (a) Emplacements de la sonde sur la face dorsale du carpe gauche .....	92
Photographie 8 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latéro-dorsale de l'articulation du carpe gauche, coupe longitudinale .....	93
Photographie 9 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latéro-dorsale de l'articulation du carpe gauche, coupe transversale .....	94
Photographie 10 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latéro-palmaire de l'articulation du carpe gauche, coupe longitudinale .....	95
Photographie 11 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation métacarpo-phalangienne droite .....	102
Photographie 12 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation métacarpo-phalangienne droite (sur le doigt latéral).....	103
Photographie 13 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation métacarpo-phalangienne droite (sur le doigt latéral).....	104
Photographies 14 : (a) et (a') Emplacements des sondes en face palmaire, respectivement en coupe longitudinale et transversale .....	105
Photographie 15 : (a) Emplacement de la sonde sur la face médiale de l'articulation métacarpo-phalangienne gauche (sur le doigt médial).....	106
Photographies 16 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorsale des articulations métacarpo-phalangienne et inter-phalangienne proximale droite (sur le doigt latéral) .....	112
Photographie 17 : Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation inter- phalangienne distale gauche (sur le doigt latéral).....	113
Photographie 18 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorso-latérale de l'articulation inter-phalangienne proximale droite (sur le doigt latéral) .....	114

Photographie 19 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation inter-phalangienne proximale droite (sur le doigt latéral) .....	115
Photographie 20 : Emplacement de la sonde sur la face palmaire de la phalange moyenne gauche (sur le doigt latéral) .....	116
Photographie 21 : (a) Emplacement de la sonde sur l'aspect dorsal du pied .....	117
Photographie 22 : Emplacement de la sonde sur la face crâniale de l'articulation coxo-fémorale gauche .....	123
Photographie 23 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation coxo-fémorale gauche .....	124
Photographie 24 : (a) Emplacement de la sonde sur la face oblique de l'articulation coxo-fémorale gauche .....	125
Photographie 25 : Emplacement de la sonde sur la face crâniale de l'articulation fémoro-patellaire droite .....	134
Photographie 26 : Emplacement de la sonde sur la face crâniale de l'articulation fémoro-tibiale droite .....	136
Photographie 27 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation fémoro-tibiale gauche .....	137
Photographie 28 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation cruro-tarsienne droite .....	146
Photographie 29 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation cruro-tarsienne droite .....	147
Photographie 30 : (a) Emplacement de la sonde sur la face plantaire du tubercule calcanéen droit .....	148
Photographie 31 : (a) Emplacement de la sonde sur la face médiale de l'articulation cruro-tarsienne droite .....	149
Photographies 32 : (a) et (a)' : Emplacements de la sonde en face dorsale, respectivement en coupe longitudinale et transversale .....	150
Photographie 33 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation intertarsienne distale droite .....	151
Photographie 34 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation tarso-métatarsienne distale droite .....	152
Photographie 35 : Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation cruro-tarsienne droite .....	154

Photographie 36 : Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation cruro-tarsienne droite .....	155
Photographie 37 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation temporo-mandibulaire gauche .....	160
Photographie 38 : Emplacement de la sonde sur la face caudo-latérale de l'articulation temporo-mandibulaire gauche .....	161
Photographies 39 : (a) et (a)' : Emplacements de la sonde en face dorsale, respectivement en coupe transversale et longitudinale .....	168



# Liste des abréviations

mm : millimètres

cm : centimètre

m : mètre

sec, s : seconde

m/s : mètre par seconde

Hz : hertz

ADN : acide désoxyribonucléique

E.N.V.T. : École Nationale Vétérinaire de Toulouse

IRM : image par résonance magnétique

f : fréquence

c : célérité du son

Z : impédance acoustique

$\rho$  : densité du milieu

$\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  : kg par mètre carré par seconde

t : temps

P1, P2, P3 : respectivement, phalange proximale, moyenne et distale

CHV : centre hospitalier vétérinaire

USB : universal serial bus

LCS : liquide cérébro-spinal



# Introduction

Le diagnostic des affections de l'appareil musculo-squelettique chez les bovins est communément établi par l'examen clinique et la radiographie. Or, les modifications des tissus mous environnants telles que la présence d'un gonflement, d'un épanchement ou autre lésion tissulaire ne sont pas précisément distinguables en radiographie à la différence de l'échographie (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014).

L'échographie est une technique d'imagerie non invasive. En effet, cet examen complémentaire émet des ultrasons qui se propagent dans les milieux tissulaires. L'appareil échographique analyse ensuite les modifications subies lors de cette propagation et donne une image en nuances de gris. Il s'agit de l'examen complémentaire de choix pour identifier les troubles musculo-squelettiques.

Nous avons décidé de nous focaliser plus particulièrement sur les articulations synoviales composant cet appareil musculo-squelettique. Les articulations permettent les mouvements de l'animal et correspondent à l'union de l'extrémité de deux os. Plus particulièrement, une articulation synoviale est formée d'une cavité remplie d'un liquide appelé liquide synovial.

Ainsi, l'étude vise à proposer des lignes directrices pour aiguiller les vétérinaires praticiens dans la réalisation et l'interprétation des échographies d'articulations synoviales chez le bovin adulte. Pour se faire, le bovin adulte est défini comme un bovin pour lequel le cartilage de croissance n'est plus visible à l'échographie.

Marie Curie et son mari Pierre découvrent en 1880 les propriétés des cristaux piézo-électriques. Il s'agit de cristaux qui par leur déformation produisent des sons avec une fréquence de plus de 20 KHz (King 2006). Ces ultrasons, initialement utilisés dans la marine, n'ont été appliqués à l'échographie médicale qu'à la fin de la Deuxième Guerre Mondiale (Poulsen Nautrup 2005).

L'échographie a d'abord été développée en médecine humaine tandis qu'elle ne se limitait qu'à des essais sur les animaux dans le domaine vétérinaire. Ce n'est qu'après les années 50, avec l'évaluation du gras dorsal des carcasses en abattoir et de la qualité de la viande, que cette technique commence à s'étendre. L'échographie

en médecine vétérinaire a débuté par l'exploration abdominale des chiens et des chats. Puis, elle s'est ancrée dans la pratique rurale à partir du premier diagnostic de gestation, réalisé en 1966 (Poulsen Nautrup 2005; King 2006).

Maintenant, de nombreuses cliniques vétérinaires disposent d'un appareil échographique. En médecine rurale, celui-ci est principalement utilisé pour les diagnostics de gestation et suivis de reproduction avec une sonde linéaire (Maillard, Sans, Romanos 2017). Pourtant, d'autres utilisations sont possibles, bien que peu utilisées chez les bovins. Parmi elles, l'échographie orthopédique se développe timidement, alors qu'elle est couramment réalisée en médecine équine (Tryon, Clark 1999; Nuss 2007a; Kofler, Geissbühler, Steiner 2014; King 2006).

Les références bibliographiques de l'échographie orthopédique des bovins ont émergé ces dernières années dans le domaine de la recherche, étudiant principalement les pathologies. Notre objectif est de compléter le référentiel existant en apportant dans un même manuscrit des images saines chez les bovins adultes pour ainsi vulgariser cet examen complémentaire, et donner les points clés de méthodologies nécessaires à un praticien pour l'utiliser sur le terrain.

Pour cela, nous avons d'abord expliqué le fonctionnement de l'appareil échographique ainsi que les paramètres à définir pour une bonne utilisation de cet examen complémentaire. Ensuite, nous rappelons quelques bases de l'anatomie articulaire et leurs correspondances en échographie. Une fois ces prérequis établis, nous expliquons la mise en œuvre que nous avons appliqué pour réaliser l'étude. Enfin, les résultats sont ordonnés par grande partie anatomique. Pour chaque articulation, nous avons d'abord essayé de justifier l'utilisation de l'échographie sur le terrain. Puis, une fois les spécificités anatomiques rappelées, nous avons donné la marche à suivre ainsi que les repères visuels et techniques échographiques possibles pour réaliser les échographies saines de notre référentiel. Les images obtenues ont ensuite été confrontées à quelques exemples pathologiques afin de présenter les structures modifiées. Les limites de l'étude sont expliquées en détail pour chaque articulation puis généralisées dans une partie finale.

# Partie 1 : Principes de l'échographie

La technique d'échographie repose sur la génération d'ondes ultrasonores. La propagation de ces ondes se fait différemment en fonction des milieux traversés. La sonde échographique reçoit ensuite les ondes réfléchies par les milieux matériels traversés afin de construire une image.

## I. Caractéristiques physiques de l'échographie

L'appareil échographique est composé d'une **sonde** qui constitue un transducteur c'est-à-dire qu'elle est à la fois émettrice et réceptrice. La sonde échographique transforme un signal électrique en onde ultrasonore et inversement grâce aux cristaux piézo-électriques qui la composent. En effet, ces cristaux piézo-électriques ont la propriété de se comprimer et se dilater sous l'influence du courant électrique. Ce phénomène a pour conséquence de générer une onde (Poulsen Nautrup 2005).

On définit une onde comme la propagation d'une vibration dans les particules d'un milieu. La technique de l'échographie utilise des ondes ultrasonores qui ont pour caractéristique une fréquence très élevée (mesurée en Hertz). En effet, la fréquence de ces ondes est nettement supérieure à la fréquence des ondes du champ audible (20 kiloHertz) car elle est de l'ordre du Mégahertz (MHz), allant de 2 jusqu'à 100 MHz. Cependant, en imagerie médicale, les fréquences utilisées sont comprises entre 1 et 20 MHz (Hartmann 2017; Poulsen Nautrup 2005; Buczinski, DesCôteaux 2009).

Différents paramètres physiques permettent de définir une onde ultrasonore. De plus, lors de la propagation de l'onde à travers un milieu, des phénomènes vont se produire en fonction des caractéristiques biologiques et des propriétés physiques du milieu.

## A. Paramètres et définitions physiques des ondes

Les ondes ultrasonores sont définies par différents paramètres physiques : l'**amplitude**, la **fréquence**, la **longueur d'onde** et la **célérité**.

Tout d'abord, l'**amplitude** d'une onde correspond à la variation de pression. Ainsi, l'amplitude varie en fonction de l'énergie fournie. En terme d'acoustique, plus l'amplitude est élevée (correspondant à une intensité élevée), plus le volume sonore sera élevé. En imagerie, cela traduit un renforcement de la brillance des images échographiques obtenues sur l'écran.

Ensuite, la **fréquence** ( $f$ ) se définit comme le nombre de compression et dilatation subi par les cristaux piézo-électriques de la sonde par unité de temps ou bien comme le nombre de vibrations émises par la sonde par unité de temps. L'unité de mesure de la fréquence est le Hertz (Hz) correspondant donc au nombre de cycles de compression-dilatation par seconde. Ainsi, 100 Mégahertz correspond à 100 millions de cycles par secondes.

La **longueur d'onde** ( $\lambda$ ) se définit quant à elle, comme la distance couverte par l'onde sonore durant un cycle (ou distance entre une particule dilatée et compressée). Cette longueur d'onde est donc exprimée en mètre (m) (Poulsen Nautrup 2005; Blond, Buczinski 2009).

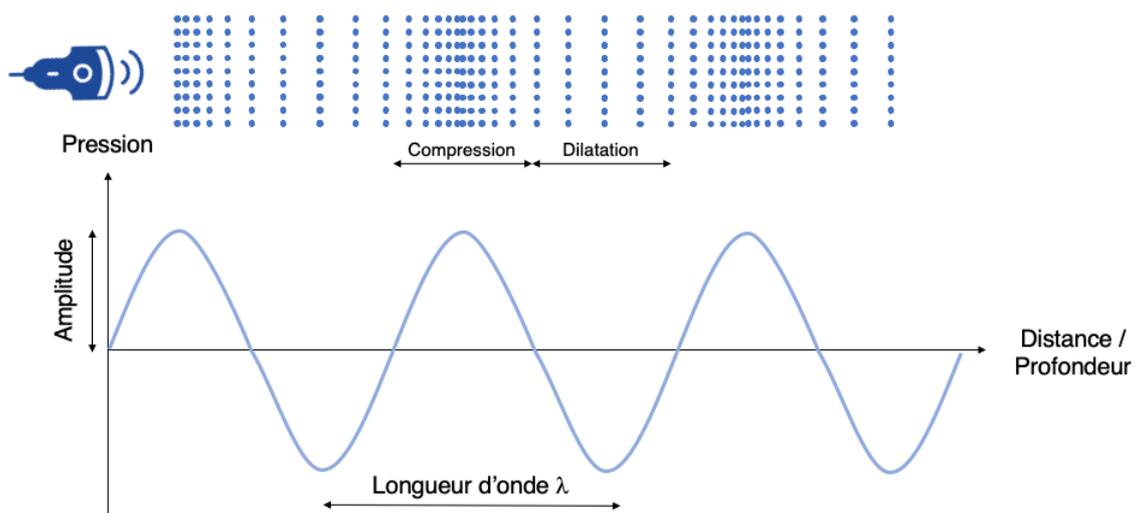


Figure 1 : Schéma des caractéristiques physiques de l'onde  
(source : auteures)

Une relation mathématique relie la fréquence d'une onde et sa longueur d'onde. En effet, la longueur d'onde ( $\lambda$ ) est inversement proportionnelle de la fréquence ( $f$ ). De ce fait, l'utilisation de hautes fréquences en imagerie médicale fait intervenir des longueurs d'ondes plus courtes.

Enfin, une onde ultrasonore est définie par sa **célérité** ( $c$ ). Il s'agit de la vitesse de propagation de l'onde sonore au sein du tissu, exprimée en mètre par seconde (m/s). La célérité dépend uniquement des caractéristiques du milieu biologique traversé. Il s'agit de la capacité du milieu à transmettre plus ou moins rapidement les ultrasons. Chaque tissu est ainsi défini par une célérité. Or, grâce à la relation mathématique suivante, la célérité du tissu donne la longueur d'onde en fonction de la fréquence utilisée pour l'examen (Blond, Buczinski 2009; Poulsen Nautrup 2005).

$$\lambda \sim \frac{1}{f} = \frac{c}{f} \text{ ou } c = \lambda \times f$$

$\lambda =$  longueur d'onde ;  $f =$  fréquence ;  $c =$  célérité

Ainsi, il a été établi que la célérité des tissus mous est de 1 540 m/s. Cela signifie, en appliquant l'équation précédente qu'une onde ultrasonore avec une fréquence allant de 1 à 10 MHz (fréquence utilisée en imagerie médicale) se propage dans ce type de milieu à une longueur d'onde comprise entre 1,5 à 0,15 millimètres (mm), (Blond, Buczinski 2009; Poulsen Nautrup 2005).

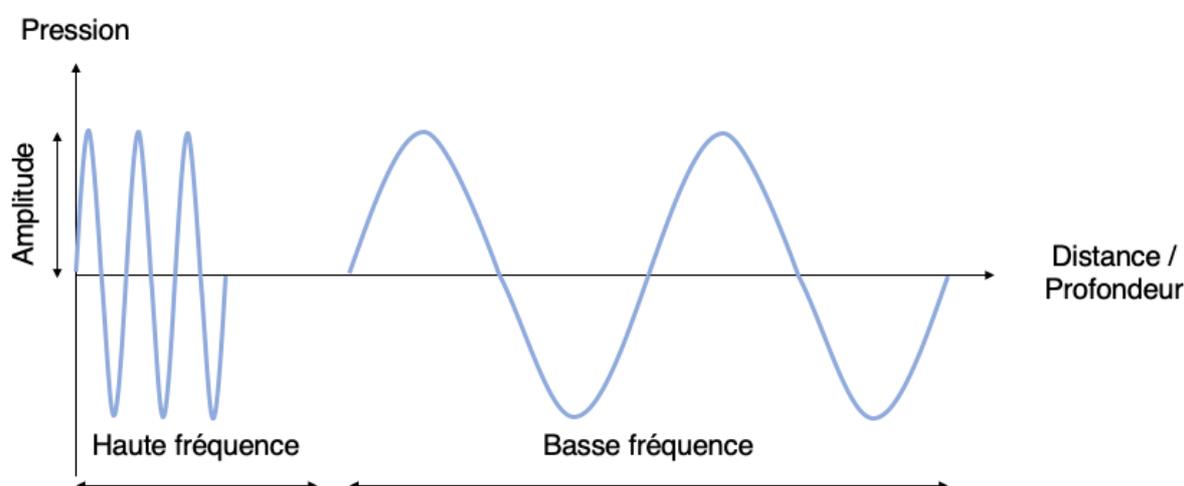


Figure 2 : Schéma des caractéristiques de l'onde ultrasonore en fonction de la fréquence  
(source : auteures)

Enfin, il existe deux types d'ondes en fonction de l'amplitude par rapport au sens de transmission de l'onde : les ondes longitudinales dont les vibrations se propagent dans le même sens que l'onde et les ondes transversales dont les vibrations se propagent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. L'imagerie médicale utilise seulement les **ondes longitudinales** (Poulsen Nautrup 2005).

## **B. Modification des paramètres lorsque l'onde ultrasonore traverse les milieux**

Il est important de comprendre le comportement des ultrasons à la traversée des tissus car l'obtention des images échographiques est définie à partir des modifications de trajectoire des ultrasons lors de la traversée des tissus biologiques ou plus globalement des milieux.

### **1. Caractéristiques intrinsèques aux ondes ultrasonores**

Le comportement des différents tissus traversés vis-à-vis de la propagation des ultrasons dépend de leur **célérité** et de leur **densité**. Ce phénomène est ainsi quantifié par une valeur dénommée **l'impédance acoustique** qui correspond à la résistance du milieu au passage d'une onde sonore (Hartmann 2017).

L'impédance est définie par les caractéristiques intrinsèques au tissu telles que les liaisons moléculaires et l'inertie élémentaire de la substance traversée qui va neutraliser la transmission du faisceau (Poulsen Nautrup 2005).

On obtient ainsi une équation mettant en relation la densité du milieu traversé par le faisceau ultrasonore et la célérité du son telle que (Blond, Buczinski 2009; Poulsen Nautrup 2005) :

$$Z = \rho \times c$$

*Z : impédance acoustique ;  $\rho$  : densité du milieu ; c : célérité du son*

Il est donc possible pour chaque milieu traversé de définir son impédance acoustique (Blond, Buczinski 2009) :

Tableau 1 : Valeurs de l'impédance acoustiques et de la célérité des différents milieux rencontrés

Milieu	Air	Graisse	Tissus mous	Os
Célérité (m/s)	331	1450	1540	4080
Impédance acoustique ( $10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	0,0004	1,33	1,60	7,6

Le contact entre deux tissus d'impédance acoustique différentes forme une **interface tissulaire**. Lorsque l'onde émise rencontre cette interface, les lois de Descartes vont s'appliquer.

## 2. Devenir d'une onde ultrasonore émise par une sonde

Quatre types d'interactions entre l'onde émise et la matière peuvent être définies : la **réflexion** qui est à la base de la formation de l'image échographique, la **réfraction**, la **diffusion** et l'**absorption**. Les trois premiers effets sont des effets directionnels, tandis que l'absorption est un effet biologique par transformation.

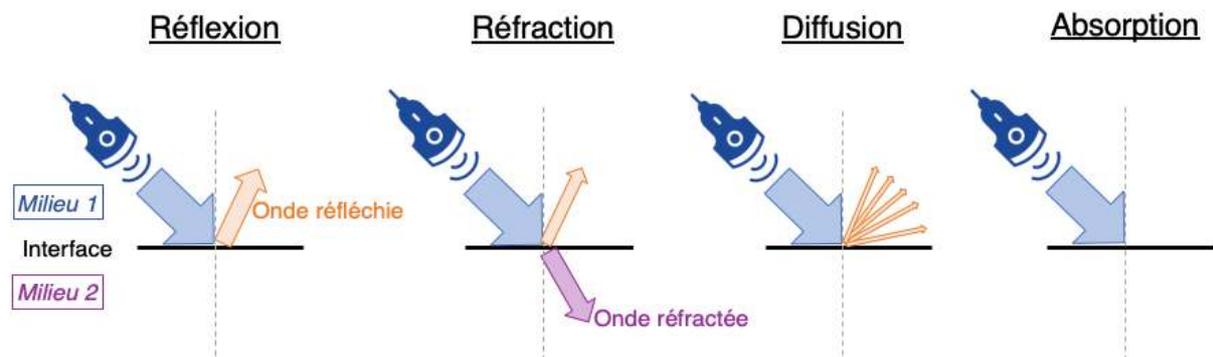


Figure 3 : Schéma des 4 lois d'après (Loriot 2011)

Tout d'abord, lorsque l'onde ultrasonore rencontre une interface de deux milieux ayant une impédance acoustique différente, une partie ou la totalité de l'onde retourne au transducteur qui joue alors le rôle de récepteur. Ce phénomène s'appelle la **réflexion**. Ainsi, l'onde réfléchie est d'autant plus importante que la différence entre les impédances acoustiques des deux tissus de l'interface est grande (Buczinski, DesCôteaux 2009).

Cependant, l'onde réfléchie peut être atténuée en fonction de la position de l'interface par rapport au faisceau d'ultrasons incident. En effet, un phénomène de **réfraction** des ultrasons intervient lorsque l'interface est **oblique** par rapport à l'onde incidente. Cela signifie que lorsqu'un faisceau arrive sur une interface oblique, une partie du faisceau est réfléchi pendant que l'autre partie continue sa trajectoire dans les plans profonds (correspondant à l'onde réfractée).

Cette interaction met en lumière la séparation entre les organes ou des lésions au sein des parenchymes mais est également à l'origine d'une atténuation des ondes réfléchies. L'atténuation des ondes réfléchies constitue l'une des limites de l'échographie car elle est responsable d'une perte d'information. Nous comprenons alors que pour obtenir la meilleure image échographique, il est nécessaire de placer la sonde la plus perpendiculaire possible sur l'interface entre deux milieux (Blond, Buczinski 2009).

De plus, pour un même angle entre la sonde et l'interface donnée, en fonction de la différence d'impédance acoustique des milieux, la proportion des ultrasons réfléchis et réfractés est différente, ce qui peut être à l'origine d'artefacts.

Ensuite, si la surface de l'interface est rugueuse, trop petite en comparaison à la longueur d'onde du faisceau incident, ou que le faisceau rencontre des milieux hétérogènes, l'onde sera redirigée vers des directions imprévues, correspondant au phénomène de **diffusion**. Ce phénomène permet de voir les délimitations des tissus ainsi que les parenchymes sans avoir un angle de vue perpendiculaire (Blond, Buczinski 2009).

Enfin, un autre phénomène, appelé **absorption**, est observé lorsque le faisceau rencontre une interface biologique. Il ne correspond pas à la déviation de l'onde ultrasonore mais à la conversion d'une portion de cette onde en chaleur. L'énergie mécanique perdue dans le faisceau principal est transformée en énergie thermique, ce qui atténue l'intensité du faisceau.

La quantité absorbée varie en fonction du milieu et de la fréquence. Elle est peu importante dans les tissus mous tandis qu'elle participe à la formation d'une « ombre acoustique » dans les tissus minéralisés tels que les os. Elle est à l'inverse plus importante lorsque la fréquence de l'onde est élevée. Ainsi, en haute fréquence, le

phénomène d'absorption empêche l'examen des zones profondes (Blond, Buczinski 2009; Poulsen Nautrup 2005).

D'un point de vue pratique, les sondes de basses fréquences (2 – 5 MHz) permettent de visualiser les parties profondes (réseau, rumen, cœur) alors que les sondes hautes fréquences (7 – 12 MHz) sont adaptées à l'examen des structures superficielles telles que l'appareil reproducteur, les tendons et le poumon (Buczinski, DesCôteaux 2009).

Tableau 2 : Valeurs de la profondeur d'exploration en fonction de la fréquence de la sonde, selon (Loriot 2011)

Fréquence d'émission (MHz)	10	7,5	5	3,5	2,5
Profondeur d'exploration (cm)	1 – 3	3 – 5	8 – 15	15 – 18	20 – 30

## II. Paramètres biologiques

Trois effets biologiques peuvent être identifiés en utilisant l'ultrasonographie sur les tissus. Ces effets n'endommagent pas les structures biologiques en pratique clinique car l'intensité utilisée est trop faible, mais peuvent leur nuire lors d'utilisation en laboratoire avec une utilisation prolongée et de forte intensité (Poulsen Nautrup 2005).

Le premier est l'**effet mécanique** provoqué par les ultrasons. Il va se traduire par des vibrations en deux phases : une phase de compression de l'onde, en alternance avec une phase dite d'expansion durant laquelle l'onde se disperse. Dans les fluides, la phase d'expansion provoque la formation de petites cavités qui disparaissent durant la phase de compression. On appelle ce phénomène cavitation dans les fluides sans gaz et pseudo-cavitation dans les fluides avec gaz. Cet effet dépend de la fréquence et de l'intensité : plus ces deux paramètres sont importants, plus la cavitation ou pseudo-cavitation est importante. Cependant, l'effet mécanique n'est pas assez fort en imagerie médicale pour provoquer des dommages sur les structures biologiques.

Ensuite, l'**effet thermique**, comme évoqué précédemment dans le phénomène d'absorption, transforme l'énergie mécanique du faisceau incident en énergie thermique. Il dépend de la fréquence et de l'intensité du faisceau principal. Cet effet est peu évaluable en imagerie médicale. De plus, un système vasculaire en bon état réduit la chaleur et donc diminue cet effet thermique.

Enfin, des **effets chimiques** peuvent ensuite être remarqués, comme l'oxydation, la réduction et la dépolymérisation des macromolécules (polysaccharides, protéines, ADN isolé). Ces effets ne sont pas observés en imagerie clinique du fait de l'intensité trop faible, mais l'exposition prolongée aux ultrasons pourrait provoquer des lésions tissulaires, des nécroses, modifications tératogènes, des lésions chromosomiques et des mutations.

### **III. Appareil échographique**

Nous avons présenté précédemment la manière dont la sonde échographique génère une onde ultrasonore. De plus, nous avons exposé les propriétés physiques de l'onde lors de sa propagation dans un milieu matériel avec ses différentes trajectoires en fonction de l'interface acoustique rencontrée.

L'objectif maintenant est de comprendre comment, à partir de cette onde initialement générée, il est possible d'obtenir une image échographique.

#### **A. Obtention de l'image**

Pour comprendre la formation de l'image échographique à l'écran, il faut s'intéresser au rôle récepteur de la sonde. Jusqu'ici nous avons vu que pour émettre le faisceau d'onde incident, une impulsion mécanique ou électrique se crée au sein de la sonde pour que les cristaux changent de forme (compression et dilatation) et vibrent. Or, une fois émis, le faisceau incident se réfléchit sur une interface acoustique et revient à la sonde. Cela induit une vibration des cristaux, formant un écho. Les cristaux émettent des impulsions électriques amplifiées et transformées en image sur l'écran (Blond, Buczinski 2009).

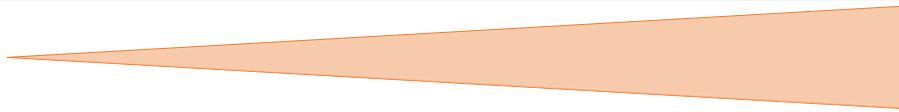
## 1. Échogénéicité

L'analyse des ondes réfléchies par la sonde permet d'obtenir plusieurs informations sur l'interface acoustique ayant générée ces ondes. En effet, on obtient une indication sur la distance (ou profondeur) à laquelle se trouve l'interface ainsi que sur la différence d'impédance acoustique qui définit cette interface.

L'image échographique est obtenue à partir d'une échelle de teinte de gris allant du blanc (hyperéchogène) au noir (anééchogène). Cela varie en fonction de l'**impédance acoustique**, qui se caractérise par la résistance du milieu lors du passage de l'onde ultrasonore, et donc à la capacité d'une interface à générer un écho.

Comme cela est présenté dans le Tableau 3, l'impédance acoustique des milieux biologiques varie en fonction de leur nature. Les os ont une impédance acoustique très forte ce qui signifie qu'ils réfléchissent et absorbent les ultrasons. L'image échographique obtenue sera donc blanche (**hyperéchogène**). A l'inverse, l'eau ne réfléchissant pas les ultrasons donne une image échographique noire (**anééchogène**). Les tissus mous, quant à eux, se situent entre les deux et donnent des nuances de gris en fonction de leur densité, car ils ne réfléchissent qu'une portion du faisceau (Buczinski, DesCôteaux 2009).

Tableau 3 : Échogénéicité et réflexion de l'onde ultrasonore des tissus (source : auteures)

Couleur à l'écran	Anéchogène		Échogène	Hyperéchogène
Correspondance tissus	Fluides	Tissus mous de densité variable	Tendons, gaz	Os, objets denses
Réflexion				

Il est important de retenir qu'au sein des tissus mous, une nuance de gris n'est pas caractéristique d'un organe en particulier. On identifie un organe en comparant les échogénéicités des structures environnantes, ce qui va nous permettre de visualiser une forme particulière.

## 2. Fréquence et résolution de la sonde

Certains paramètres intrinsèques à la sonde doivent être définis en fonction de l'examen réalisé, telles que la **fréquence** et la **résolution** qui déterminent la profondeur de l'analyse échographique.

Tout d'abord, la **résolution** est la capacité de la sonde à distinguer deux points très proches de façon distincte. La **résolution axiale** concerne la distinction de deux points situés dans l'axe parallèle au faisceau ultrasonore. Ainsi, plus la longueur d'onde est petite, meilleure sera la résolution axiale. Ensuite, la **résolution latérale** est la capacité à différencier deux points alignés perpendiculairement à l'axe de propagation du faisceau incident. Cette résolution diminue avec la profondeur.

Chaque sonde est ensuite définie par une plage de **fréquences** d'émission d'ondes fixes ou variables. La fréquence choisie fait varier la résolution et la profondeur maximale de la pénétration des ultrasons. Ainsi, la fréquence et la résolution évoluent dans le même sens : plus la fréquence est élevée, plus la profondeur est limitée.

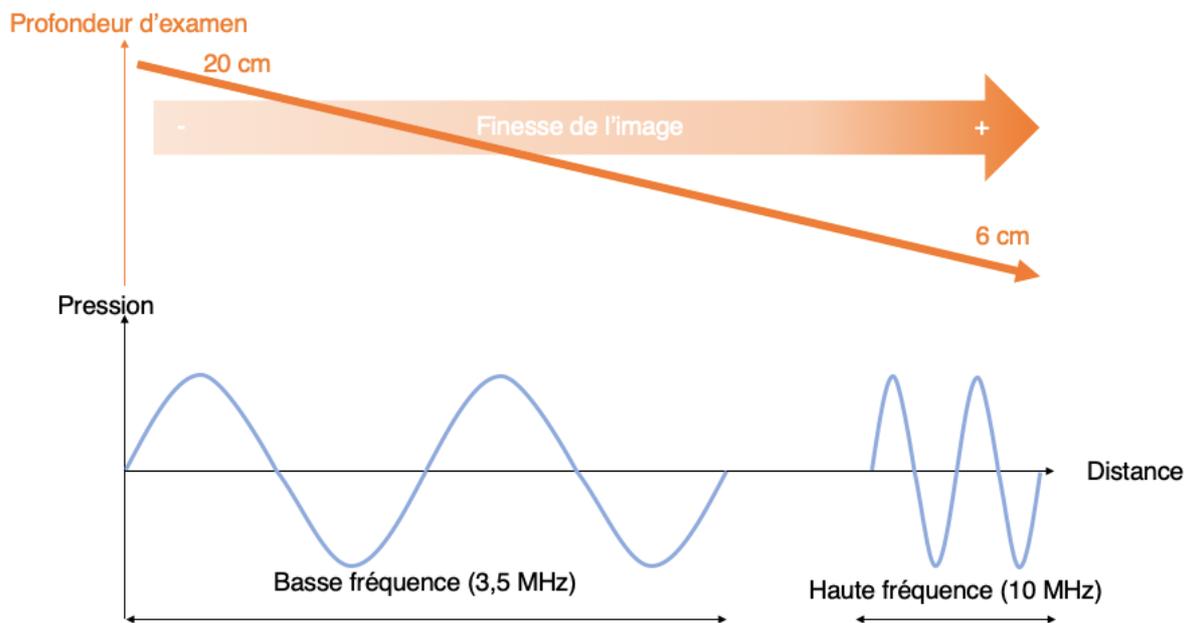


Figure 4 : Définition de l'onde en fonction de la fréquence et de la profondeur d'examen, d'après (Poulsen Nautrup 2005).

À titre d'exemple, une sonde ayant une fréquence de **7,5 MHz** permet d'explorer une **dizaine de centimètres**. À l'inverse, il faut utiliser une basse fréquence pour permettre une exploration plus profonde. En effet, une sonde réglée à 3,5 MHz permet d'évaluer des structures jusqu'à 20 centimètres de profondeur. L'utilisation classique de l'échographie en médecine bovine sollicite davantage ce rang de fréquence car les profondeurs sont plus importantes pour visualiser les structures comme le cœur ou l'abdomen (Poulsen Nautrup 2005).

## **B. Type de sonde**

Anciennement, les sondes étaient mécaniques et avaient besoin de mouvements de va-et-vient pour le fonctionnement des cristaux. Maintenant, les sondes modernes contiennent des cristaux immobiles regroupés en réseaux qui, selon leur configuration, sont linéaires, curvilignes ou annulaires. On définit ainsi plusieurs types de sondes (Blond, Buczinski 2009).

D'abord les sondes dont le réseau est **linéaire** sont utilisées à **haute fréquence** (au minimum entre 5 et 10 MHz) et donnent une image de forme rectangulaire. En pratique courante, elles permettent de réaliser les diagnostics de gestation précoces et de diagnostiquer les pathologies ombilicales des veaux. Dans notre étude, elles servent à visualiser les structures musculo-squelettiques superficielles ayant une profondeur maximale de 6 centimètres telles que les tendons ou les surfaces osseuses. La sonde linéaire permet d'avoir des images géométriquement précises mais apporte peu de maniabilité par rapport à la surface de contact, surtout à l'abord de l'os, en raison de sa forme (Kofler 2009).

Ensuite, les sondes **curvilignes** (sectorielles, ou convexes) ont un réseau linéaire courbe. Elles sont utilisées à **basse fréquence** (entre 3,5 et 6 MHz) et offrent une image dite en secteur, ressemblant à une portion de camembert, pour une vision plus large. Elles sont facilement maniables et permettent l'examen des structures plus profondes telles que les muscles de la région du ventre, du tronc, de la hanche, de la cuisse et de l'épaule. De plus, elles sont utiles pour l'étude d'une région pathologique présentant un gonflement. Ces sondes sectorielles offrent ainsi une image profonde

et une meilleure vue d'ensemble des articulations proximales et des gros muscles (Hartmann 2017).

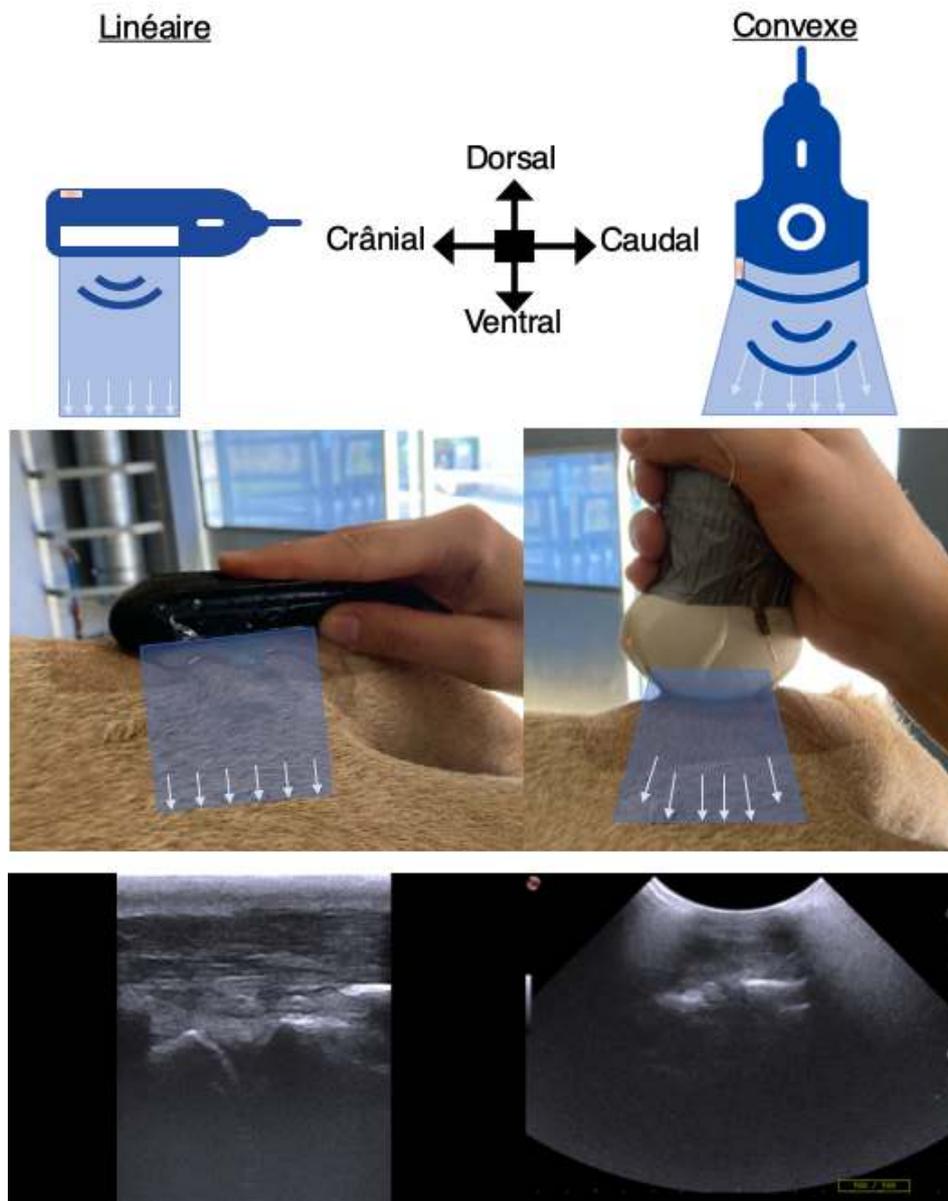


Figure 5 : Comparaison entre la sonde linéaire et convexe  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

D'autres sondes sont utilisées en médecine vétérinaire, comme les sondes dites en « forme crayon » qui sont des sondes sectorielles. Bien qu'elles aient une surface de contact limitée, elles sont utilisées notamment pour les images cardiaques ou pour explorer des endroits difficiles comme les espaces intercostaux. Nous les détaillerons peu car elles ne seront pas utilisées dans notre étude.

### C. Qualité de l'image obtenue

Pour obtenir la meilleure image échographique possible, il est nécessaire de préparer convenablement la zone à échographier. Il est également possible de faire certains réglages sur l'appareil afin de compenser les phénomènes d'atténuation et d'absorption qui sont importants lorsque les structures visualisées sont en profondeur.

Tout d'abord, pour améliorer la qualité de l'image, la zone d'étude doit être située au centre de l'écran en plaçant la sonde correctement et en ajustant la profondeur. En effet, les sondes échographiques sont constituées d'un **système de focalisation** qui permet de réduire la largeur du faisceau incident. Ce système améliore la résolution globale de l'image à une profondeur donnée en atténuant le phénomène de divergence due à la réfraction des tissus. Il permet ainsi de donner une meilleure précision de l'image. La profondeur de la zone focale peut être réglée manuellement sur l'écran (Buczinski, DesCôteaux 2009).

D'autre part, en limitant l'absorption des tissus, le **gain différentiel** définit la « brillance » de l'image. Il permet d'obtenir une image plus ou moins homogène en augmentant la sensibilité de la sonde à la réception des ultrasons venant des zones plus profondes. Ainsi, l'effet néfaste d'une perte d'énergie du faisceau est limité mais les zones profondes sont difficilement visualisables. De ce fait, un gain différentiel trop fort donne beaucoup de brillance, à l'origine d'une image avec une diminution du contraste. Cette image est alors dite « saturée ». À l'inverse, un gain différentiel trop faible donne une image sombre et peu visualisable (Blond, Buczinski 2009).

Le choix de ces deux paramètres vient donc s'ajouter aux autres paramètres, telle que la fréquence que nous avons détaillée dans une partie précédente.

Enfin, pour avoir la meilleure image possible, il faut faire attention à toujours avoir une bonne surface de contact entre l'animal et la sonde. Un bon réglage des paramètres de l'appareil est indissociable d'une bonne préparation de l'animal pour obtenir la meilleure image échographique possible. Or, les poils sont responsables de la présence d'une fine couche d'air entre la sonde et la surface de contact (la peau). Ils limitent donc la propagation des ultrasons. C'est pour cela qu'il est préférable de tondre au préalable toutes les parties à échographier. De même, les débris et squames

qui peuvent se trouver à la surface de la peau doivent être retirés à l'aide d'un nettoyage (Buczinski, DesCôteaux 2009; Kofler 2009; Kofler, Geissbühler, Steiner 2014).

Il semblerait enfin que différents paramètres tels que l'engraissement et l'hydratation des animaux, influencent l'échogénéicité. En effet, l'infiltration de graisse d'une vache en état d'embonpoint atténuerait le faisceau d'ultrasons, ce qui donnerait une image de mauvaise qualité.

## **D. Modes**

Il existe différents modes d'utilisation en échographie. Chaque mode permet d'obtenir des informations différentes sur la structure étudiée. Nous allons détailler ces différents modes bien que le mode de brillance (mode B) soit celui utilisé dans notre étude.

Le **Mode A** (modulation d'Amplitude) était présent sur les anciennes sondes (cristal piézo-électrique unique). Il permettait d'avoir une image unidimensionnelle donnée en fonction de l'intensité de l'écho (représenté par un pic). La distance était calculée en fonction du temps de retour pour donner la profondeur des structures observées (Buczinski, DesCôteaux 2009).

Le **Mode B** (modulation de Brillance ou Bidirectionnel) était lui aussi unidimensionnel. L'écho était représenté par un point et la brillance était modulée par l'intensité de l'écho permettant ainsi de faire les nuances de gris. La profondeur était calculée sur le même principe que le mode A.

Maintenant bidimensionnel, il permet d'obtenir une image en coupe dans un plan. Il donne une image en nuance de gris en fonction de l'amplitude et des échos réfléchis. Pour ce mode, il est important de sélectionner la zone d'intérêt à placer au milieu de l'écran et donc de choisir une profondeur adéquate. On visualise donc une image plane, en tranche, suite au balayage de l'aire par la sonde. Ce mode est celui choisi durant toute la prochaine étude et reprend tous les paramétrages expliqués précédemment (Buczinski, DesCôteaux 2009; Maillard, Sans, Romanos 2017).

Le **temps réel**, qui est maintenant utilisé sur tous les appareils, permet d'avoir une image bidimensionnelle. Les multiples cristaux piézo-électriques permettent d'avoir une image dont les mouvements sont visualisés en temps réel, sans que l'opérateur ne bouge la sonde (Buczinski, DesCôteaux 2009; Maillard, Sans, Romanos 2017).

Le **Mode M** (Mouvement) qui est maintenant **TM** (Time Motion) est très utilisé pour l'appareil cardiovasculaire. Il permet de suivre la mobilité des structures en fonction du temps. Pour ce mode, la sonde reste immobile permettant aux ultrasons d'avoir une trajectoire fixe. Les échos sont ainsi réfléchis avec des délais différents en fonction des mouvements de l'interface. À la fin, on définit une ligne d'intérêt sur l'écran pour obtenir une image unidirectionnelle où est indiquée la profondeur de l'interface sur l'axe des ordonnées et le temps sur l'axe des abscisses (Buczinski, DesCôteaux 2009; Maillard, Sans, Romanos 2017).

D'autres modes existent tels que le mode tridimensionnel obtenu par apposition successive des images bidimensionnelles ou encore le mode Doppler pulsé. Cependant ces modes ne sont pas utilisés en médecine bovine, nous décidons donc de ne pas les détailler.

Enfin, le dernier mode qui peut être utile en cas de doute sur la visualisation de certaines structures dans notre étude est le **mode Doppler**. Il permet de voir les liquides en mouvement grâce au différentiel de fréquences. En effet, il se produit une modification de la fréquence de l'onde émise lorsqu'elle est réfléchi sur une particule en mouvement (comme le globule rouge). Ce différentiel de fréquence est mis en évidence par le mode « Doppler couleur » grâce à une coloration rouge lorsqu'un flux s'approche de la sonde, et bleu lorsqu'un flux s'en éloigne. Ce mode de fonctionnement permet de distinguer des vaisseaux sanguins sur une image échographique (Hartmann 2017).

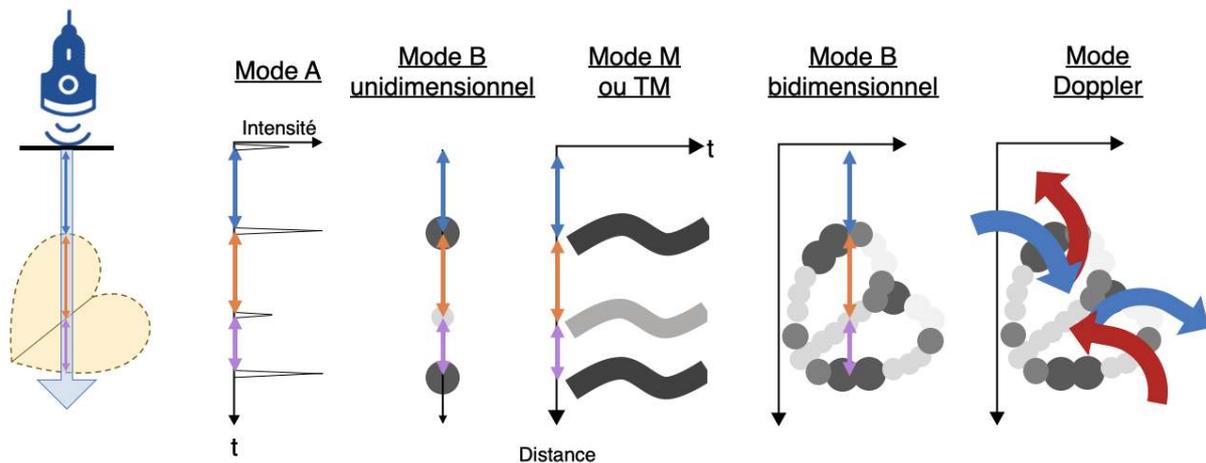


Figure 6 : Schéma des différents modes échographiques. d'après (Hartmann 2017).

## IV. Artefacts

Bien que l'échographie présente de nombreux avantages en médecine vétérinaire, il est important de connaître ses limites. En effet, des limites liées à l'opérateur ou au fonctionnement de l'échographie existent et sont à l'origine d'artefacts. Les artefacts sont des images visualisables sur l'écran qui sont une fausse représentation de la réalité. Ils sont donc trompeurs car peuvent faire penser, à tort, à une anomalie structurale tissulaire. Il est donc important de connaître ces différents artefacts afin d'interpréter correctement l'image affichée sur l'écran. De plus, leur reconnaissance peut être utile pour caractériser certaines lésions.

### A. Artefacts liés à l'environnement

Les artefacts liés à l'environnement sont présents dans deux types de situations. D'abord, il peut y avoir des interférences électromagnétiques lorsqu'un appareil électrique, tel qu'une tondeuse ou des néons, est placé à proximité de la sonde. De ce fait, des bandes blanches parcourent l'image sur l'ensemble de l'écran. Ce phénomène cesse immédiatement lorsque l'appareil en question s'arrête de fonctionner.

Ensuite, certains artefacts peuvent apparaître suite à une mauvaise technique de l'opérateur. Ils adviennent lors d'un mauvais contact entre la peau et la sonde (mauvaise tonte, poussières, présence d'eau à la surface de la peau...) ou d'un mauvais réglage des paramètres physiques de l'appareil.

## **B. Artefacts acoustiques**

### **1. Artefact de réflexion : ombre échographique ou cône d'ombre**

Les **cônes d'ombre** sont visualisables lorsque l'onde ultrasonore incidente est déviée ou que son trajet est bloqué. Dans cette situation, l'image échographique obtenue est formée d'une zone conique anéchogène (noire) en-dessous de l'élément hyperéchogène interrompant le trajet des ultrasons.

Ce type d'artefact est observable dans deux situations : en cas de présence d'**air** entre la sonde et le tissu biologique, ou si le faisceau rencontre une structure très **calcifiée**. En effet, la forte différence d'impédance entre l'air et les tissus biologiques crée une réflexion totale du faisceau incident à l'origine de la formation d'une ombre échographique. Il en est de même si une interface est composée de structures minéralisées, comme les os dont l'impédance est très élevée. Le faisceau incident est donc réfléchi dans sa quasi-totalité. La partie restante du faisceau est absorbée et ne diffuse pas en profondeur, laissant apparaître une image anéchogène sous la structure hyperéchogène, image appelée cône d'ombre.

Dans la pratique courante, ce type d'artefact est souvent rencontré et recherché lors de la présence d'un corps étranger ayant une impédance très différente des tissus qui l'entourent. Dans notre étude, il sera particulièrement recherché pour identifier les surfaces osseuses. Par contre, il limite parfois l'observation de l'ensemble des structures constituant les articulations.

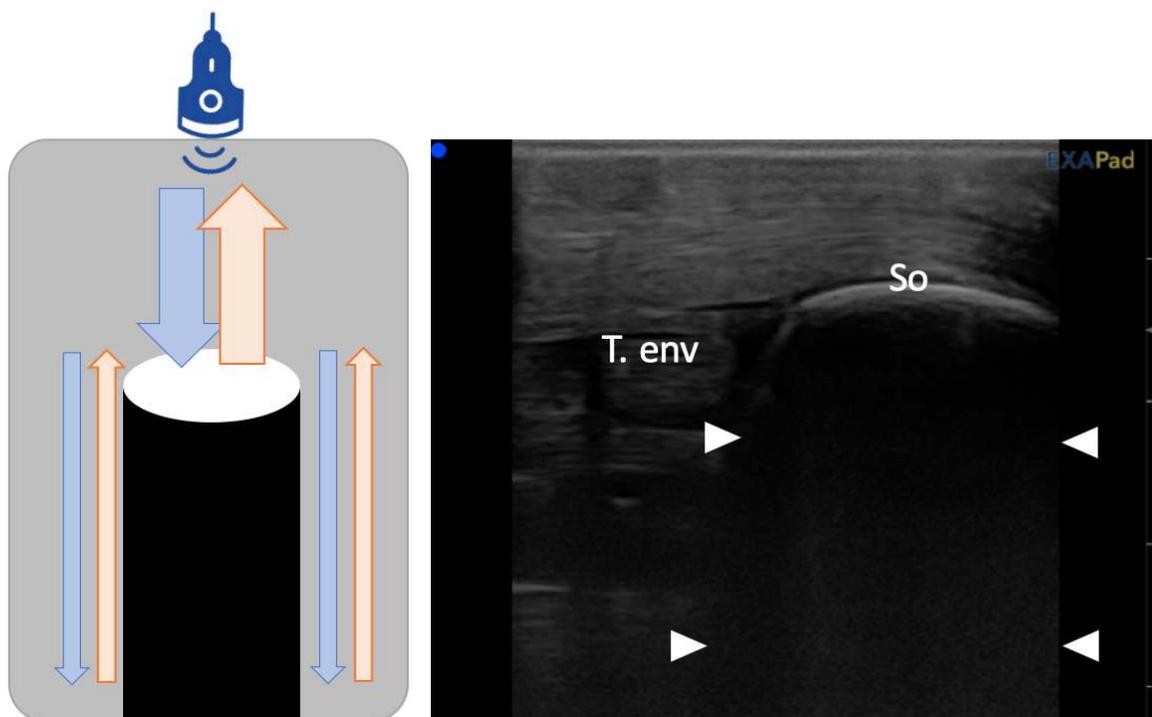


Figure 7 : Schéma représentatif d'un artefact en cône d'ombre, associé à l'échographie correspondante représentant la corde du jarret sur l'os calcanéus  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Flèche bleue : onde incidente ; flèche orange : onde réfléchie ; T. env : tissus environnants (tendon de la corde du jarret et tissus mous environnants) ; So : surface osseuse (ici le calcanéus) ; flèches : délimitation du cône d'ombre.*

## 2. Artefacts de réverbération : image en miroir, queue de comète

L'artefact de réverbération se produit à partir d'une onde incidente qui rebondit entre deux ou plusieurs structures hautement réfléchissantes. Il se forme ainsi des échos multiples jusqu'à l'affaiblissement de l'onde par atténuation. L'artefact de réverbération peut donner trois types d'images différentes en fonction de l'interface rencontrée.

Tout d'abord **l'image en miroir** est obtenue lorsque l'interface est très échogène et courbe. La sonde interprète les ondes réfléchies comme des ondes provenant de zones profondes en raison du temps de réflexion allongé. À l'écran, on obtient une image identique à la vraie image anatomique mais située en-dessous, à la place du cône d'ombre. Ce phénomène, absent lors de l'étude articulaire, est surtout observé lors de l'examen respiratoire à l'approche du diaphragme. L'ultrason ricoche sur la vésicule biliaire, retourne au diaphragme puis revient vers la sonde, formant une image de vésicule biliaire au-dessus et en-dessous du diaphragme (Poulsen Nautrup 2005; Blond, Buczinski 2009).

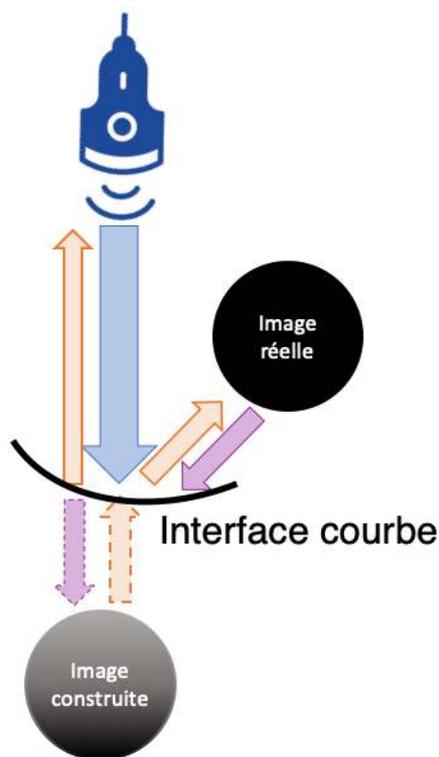


Figure 8 : Schéma représentatif d'un artefact d'une image en miroir  
(source : auteures)

Flèche bleue : onde incidente ; flèche orange : onde réfléchie ; flèche violette : onde réfractée

Cependant, lorsque le faisceau rencontre une petite surface réfléchissante telle qu'une bulle de gaz ou des petits objets métalliques, une trainée hyperéchogène se forme à partir d'un point hyperéchogène. L'image décrite correspond alors à une image dite en **queue de comète**. Ceci est rencontré chez les bovins avec des lésions pleurales discrètes lors de pneumonie aiguë, lors de présence de gaz dans le tube digestif, de rupture de la vésicule biliaire ou encore lorsqu'il y a de l'air entre la sonde et la peau de l'animal (Poulsen Nautrup 2005; Blond, Buczinski 2009).

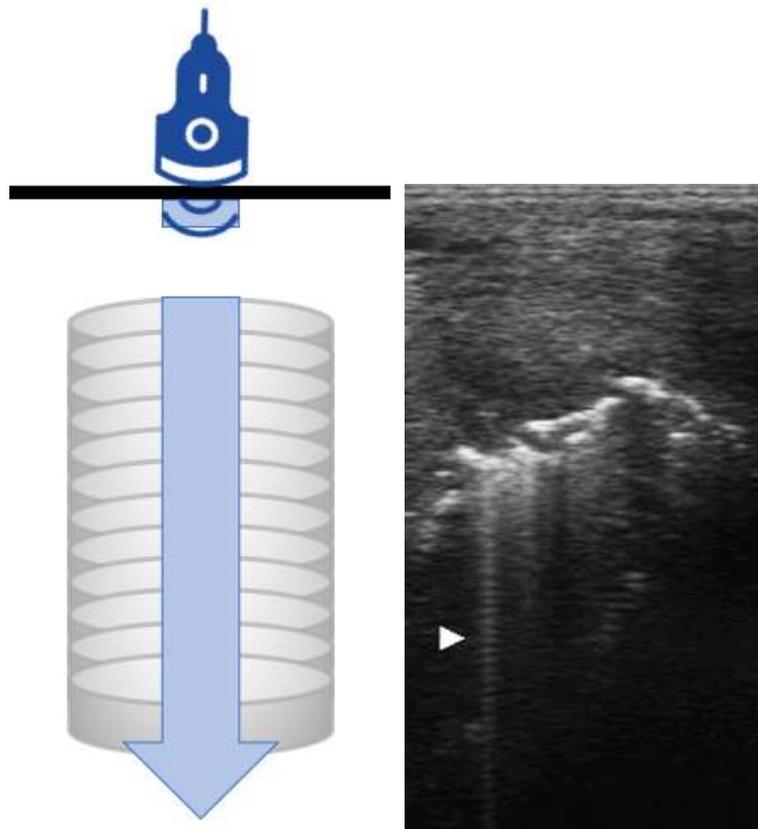


Figure 9 : Schéma d'une queue de comète (source : auteures), et sa représentation échographique (source : (Blond, Buczinski 2009))

*Flèche bleue : onde incidente ; Interface : peau ; flèche blanche : délimitation de la queue de comète.*

Enfin, l'**artefact de réverbération** peut donner une image avec la présence de lignes hyperéchogènes disposées en intervalles réguliers et parallèles à la surface. L'observation de ce phénomène est possible lors de l'échographie à l'abord des os en raison de leur haut pouvoir de réflexion. Il est donc important de garder en mémoire ce type d'artefact afin d'interpréter correctement les structures obtenues à proximité des surfaces articulaires.

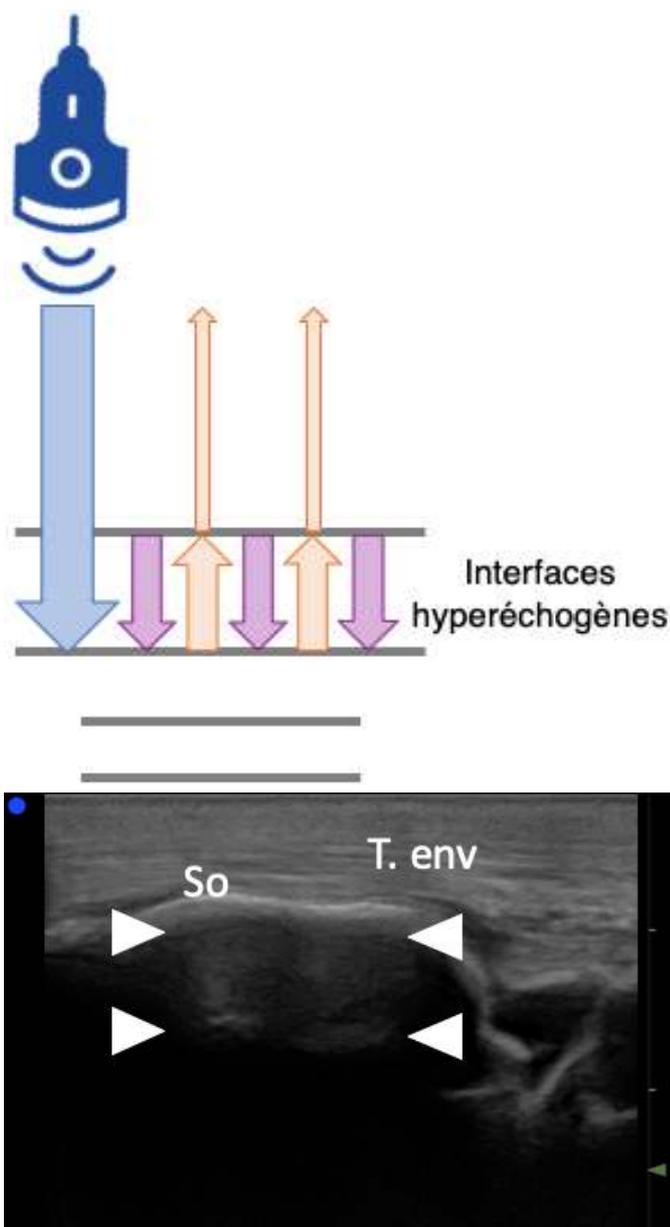


Figure 10 : Schéma représentatif de l'artefact de réverbération, associé à sa représentation échographique dans l'articulation du carpe  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

Flèche bleue : onde incidente ; flèche orange : onde réfléchie ; flèche violette : onde réfractée ;  
So : surface osseuse hyperéchogène.

### 3. Renforcement postérieur

Le **renforcement postérieur** est le dernier artefact important à connaître pour notre étude. Il est visualisable en arrière d'une structure anéchogène liquidienne, plus ou moins cellulaire, telle qu'un kyste, un récessus ou un vaisseau sanguin. L'onde ultrasonore traverse sans atténuation la structure liquidienne et arrive en profondeur avec une amplitude augmentée. Les structures en arrière de la poche liquidienne apparaissent plus échogènes que celles à proximité. Cela forme donc une image plus blanche en dessous du liquide. Face à cet artefact, il ne faut pas conclure à la présence de structure plus échogène en profondeur (Poulsen Nautrup 2005; Blond, Buczinski 2009).

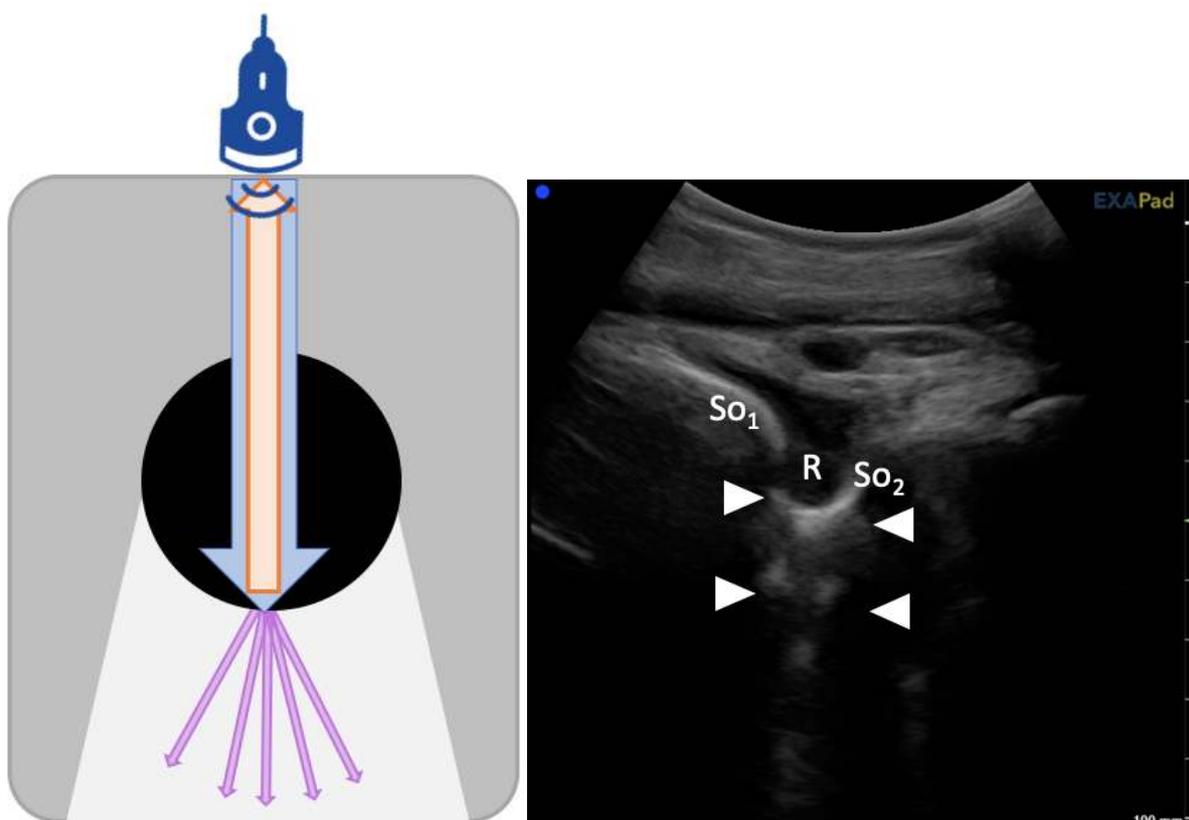


Figure 11 : Schéma représentatif d'un artefact de renforcement postérieur associé à sa représentation échographique sur l'articulation du tarse  
(source : auteurs, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Flèche bleue : onde incidente ; flèche orange : onde réfléchie ; flèche violette : onde réfractée ; So1 : surface osseuse de l'os talus ; So2 : surface osseuse de l'os centroquartale avec une échogénéité augmentée ; R : récessus anéchogène responsable de l'artefact ; flèches blanches : délimitation du renforcement postérieur.*

# **Partie 2 : Prérequis de l'échographie articulaire chez les bovins**

## **I. Développement de l'échographie en médecine rurale**

La technique d'imagerie par échographie est aujourd'hui l'examen complémentaire privilégié pour le diagnostic des affections orthopédiques non osseuses en médecine équine. En effet, l'échographie permet de visualiser précisément les pathologies articulaires et péri-articulaires des chevaux, animaux athlétiques souvent confrontés à ce genre d'affections (Tryon, Clark 1999).

À l'image de ce qui est réalisé en équine, l'échographie en médecine bovine tend à enrichir ses compétences diagnostiques. En effet, d'abord utilisée pour la reproduction, J. Kofler et ses collègues de l'Université de Vienne, pionniers en la matière, élargissent l'exploration échographique au domaine orthopédique chez les bovins. Leur objectif initial était d'évaluer certaines articulations (métacarpe, carpe, jarret, grasset, hanche) en vue d'une préparation à la chirurgie sur des bovins de valeur. Cela a permis la multiplication des études échographiques à l'ensemble des articulations afin d'investiguer les affections articulaires présentes notamment sur les tissus mous (hématomes, abcès, thrombose). L'utilisation de l'échographie pour le diagnostic des affections orthopédiques bovine s'est peu à peu démocratisée dans les structures vétérinaires d'enseignement (Nuss 2007a; King 2006).

Enfin, même si les techniques d'imagerie par IRM et scanner se sont généralisées en médecine humaine pour le diagnostic des affections orthopédiques, cela n'est pas envisageable en médecine bovine. La radiographie quant à elle, présente de nombreux inconvénients sur le terrain. En effet, il s'agit d'une technique qui nécessite beaucoup de logistique, de sécurité et qui présente peu de praticité pour le vétérinaire rural, en raison de son mode de fonctionnement. L'échographie a donc un rôle à jouer dans le diagnostic des affections orthopédiques car elle est non-invasive et ne nécessite pas de sédation. De plus, au cours de ces dernières années,

des progrès remarquables ont été faits sur la maniabilité des appareils, permettant ainsi de les déplacer facilement (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014).

Malgré son manque de divulgation sur le terrain, l'échographie tend donc à devenir la technique de référence pour identifier les désordres musculo-squelettiques et les lésions tendineuses. En effet, à la différence de la radiographie, elle permet de différencier les muscles et les tissus mous environnants même en cas de remaniement des tissus (présence d'œdème ou d'hématome légers à modérés). Ainsi, elle rend possible le diagnostic de périarthrite, arthrite, ténosynovite et bursite (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014).

## **II. Description anatomique d'une articulation**

Une articulation est composée d'un ensemble de formations anatomiques permettant de maintenir une connexion entre les os. Les os entrent en contact au sein de l'articulation par des surfaces articulaires et leur rapprochement est assuré par des moyens d'unions.

Il existe trois types d'articulations chez les êtres vivants : les articulations fibreuses, cartilagineuses et synoviales (Barone 2020). Nous ne détaillerons pas les articulations fibreuses et cartilagineuses car elles n'interviennent pas dans notre étude.

Les **articulations synoviales** correspondent aux articulations du squelette appendiculaire, à l'articulation temporo-mandibulaire et atlanto-occipitale. Elles sont composées de différentes structures que nous détaillerons par la suite. En effet, il est primordial de connaître les composants anatomiques des articulations pour pouvoir lire les échographies réalisées.

## **A. Surfaces et cartilages articulaires**

Les **surfaces articulaires** correspondent aux extrémités des os constituant l'articulation, et peuvent être de forme et d'étendue variables. Cela se répercute sur leur nom, nous trouvons par exemple des condyles, têtes, cavités ou encore trochlées en fonction de la forme de la surface articulaire.

De plus, les surfaces articulaires sont toutes, sans exception, parfaitement lisses et recouvertes d'un **cartilage articulaire** qui a pour but de faciliter les mouvements en amortissant les chocs. En périphérie de l'articulation, ces derniers se raccordent à la synoviale et au périoste (Barone 2020).

## **B. Formations complémentaires**

Les formations complémentaires s'interposent ensuite entre les surfaces articulaires pour favoriser leur rapprochement et leur ajustement. Il s'agit d'annexes fibro-cartilagineuses ou fibreuses des surfaces articulaires dont la structure et l'agencement varient en fonction du type de jointure. On différencie ainsi, les bourrelets marginaux et les ménisques au sein des formations complémentaires.

Les **bourrelets marginaux** correspondent à un rebord qui agrandit ou complète une cavité articulaire en périphérie. Ils ont une texture fibreuse comparable à la texture des tendons. Par exemple, la cavité glénoïdale de la scapula ou l'acétabulum de l'os coxal sont formés d'un bourrelet marginal.

Les **ménisques articulaires** sont quant à eux interposés entre deux surfaces articulaires de formes différentes. Ils remplissent l'intervalle entre les deux surfaces sans leur adhérer afin d'assurer leur concordance et de s'adapter à tous les changements de position de l'articulation. On parle également de **disque articulaire** lorsque le ménisque occupe toute l'étendue de l'articulation (Barone 2020).

### C. Moyens d'union

Au sein d'une articulation synoviale, les pièces sont maintenues en contact par des formations fibreuses ou fibro-élastiques telles que la capsule articulaire et les ligaments. Les muscles et tendons encadrant l'articulation constituent quant à eux des moyens d'union accessoires.

La **capsule articulaire** est une gaine fibreuse qui englobe complètement l'articulation. Elle forme une cavité recouverte sur sa surface interne par la **membrane synoviale** et remplie de **liquide synovial**. La synoviale tapisse toute l'articulation sauf les surfaces articulaires et les ménisques.

De plus, certaines articulations possèdent des **récessus** synoviaux correspondant aux endroits où la capsule est très mince et mal contenue par les formations voisines permettant alors une accumulation de la synovie lors de certains mouvements.

Enfin, les **ligaments** sont des structures linéaires fibreuses ou élastiques parallèles entre elles. Ils se situent à l'extérieur de la cavité articulaire et assurent le contact mécanique entre les os en les reliant entre eux (Budras, Habel 2011; Barone 2020).

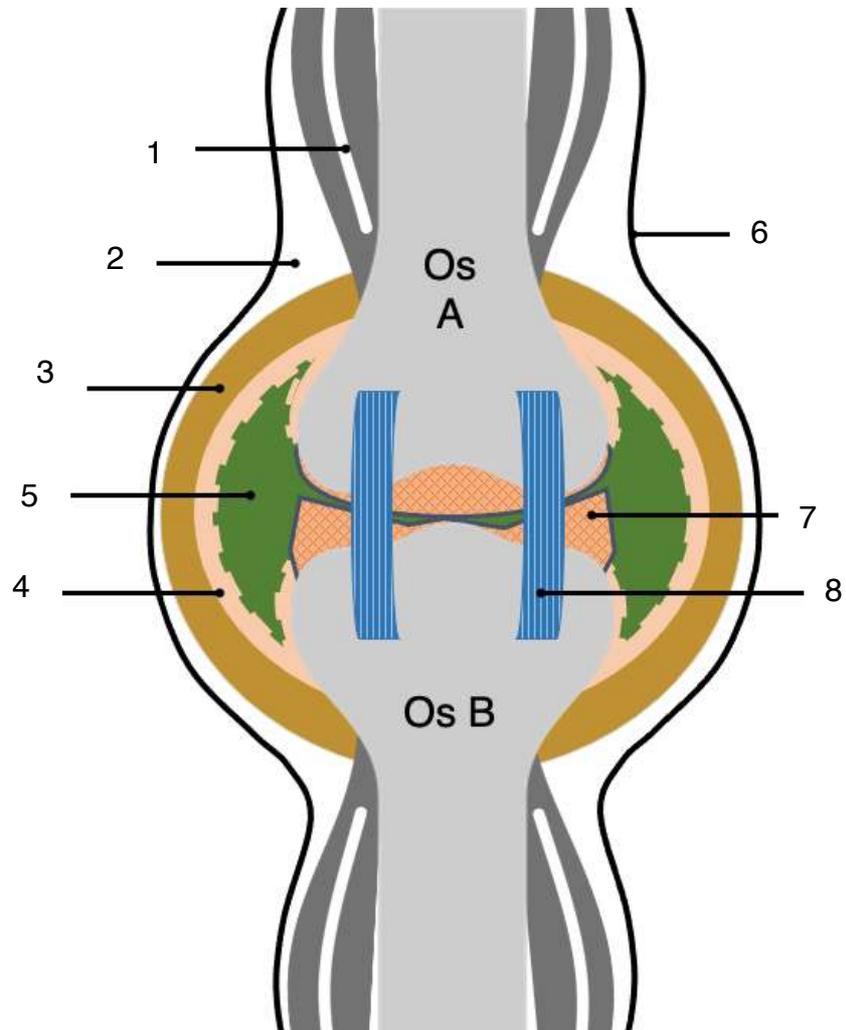


Figure 12 : Schéma général simplifié des constituants d'une articulation synoviale  
(source : auteures)

1 : muscle et son tendon ; 2 : tissu conjonctif ; 3 : capsule articulaire ; 4 : membrane synoviale ;  
5 : liquide synovial ; 6 : peau ; 7 cartilage articulaire ; 8 : ligament.

### III. Description échographique des tissus articulaires

Les différentes structures articulaires ne présentent pas la même échogénéité en raison de leur nature. La connaissance de l'image échographique formée par chacune de ces structures constitue donc l'un des prérequis de notre étude.

#### A. Tissus mous de l'articulation

Tout d'abord, avant d'arriver à l'articulation, les ultrasons traversent les parties externes formées de la peau puis des tissus mous (tissu conjonctif et adipeux). La **peau** correspond à la première fine ligne échogène visible sur l'image. Les **tissus mous** au sein d'une articulation physiologique donnent quant à eux, une unique image en nuances de gris variable selon la densité du tissu.

En cas de pathologie, des modifications structurelles au sein des tissus mous sont possibles. Par exemple, lors de périarthrite, ces derniers sont modifiés par la présence de liquide ou de gaz due à l'inflammation. À l'échographie, ce gaz provoquera des artefacts tandis qu'un œdème sera visible par des images anéchogènes au sein des tissus. On pourra le différencier des abcès, hématomes ou kystes, qui seront plus échogènes en raison de la cellularité du liquide (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014).

Notons enfin que des **vaisseaux sanguins** peuvent traverser les tissus mous et donner une image échographique similaire à celle décrite précédemment. Ils forment une structure cavitaire (coupe transversale) ou tubulaire (coupe longitudinale) anéchogène. Or, à la différence d'une accumulation de liquide pathologique, les artères sont reconnaissables par les pulsations parfois visibles sur l'écran, les veines quant à elles peuvent être comprimées par le passage de la sonde (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014). Si un doute persiste, l'utilisation du mode Doppler permet de conclure.

## **B. Muscles**

Après les structures externes, nous visualisons le plus souvent les **muscles**, d'épaisseur variable en fonction de la localisation et de la conformation du bovin.

En coupe longitudinale, les échographies musculaires sont constituées de fines bandes formant des stries échogènes à hyperéchogènes. Ces stries correspondent aux septas musculaires, riches en tissu conjonctif, qui entourent les fibres musculaires.

En coupe transversale, les septas forment au sein de l'image des ponctuations irrégulières en « tête d'épingle » échogènes à hyperéchogènes. Pour chaque image, l'interprétation est alors possible grâce aux connaissances anatomiques approfondies de l'emplacement de chaque muscle et de leur direction (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014).

## **C. Tendons, gaines tendineuses et ligaments**

Ensuite, la transition entre le muscle et le tendon est repérée par une augmentation de l'échogénéité. Les **tendons** et **ligaments** sont structurés de manière quasiment identique. Ils possèdent en effet des faisceaux de fibres de collagène disposés linéairement et parallèlement entre eux. Sur l'image, on observe des structures fibrillaires bien délimitées, de tailles variables, homogènes légèrement brillantes et plus échogènes que le tissu adipeux.

Ainsi, lorsque ces structures sont coupées transversalement par le faisceau d'ultrasons incident, on obtient des formes rondes voire annulaires sur l'écran. En coupe longitudinale cependant, nous aurons des structures avec une organisation linéaire en raison de l'arrangement des fibres entre elles.

Il est cependant possible de différencier les tendons et les ligaments à l'échographie. Les tendons sont généralement contenus dans une **gaine tendineuse**. À l'état physiologique, cette gaine contient très peu de liquide synovial, elle n'est donc pas visualisable. Elle est seulement devinable par la présence d'une fine bande plus brillante de part et d'autre de la structure tendineuse.

Enfin, les ligaments sont généralement de taille inférieure à celle des tendons. De plus, les fibres ligamentaires sont plus compactes, l'image échographique est alors plus échogène et brillante (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014).

#### **D. Espaces articulaires, capsules et récessus**

L'**espace articulaire**, qui est la structure principalement recherchée dans notre étude, correspond à une petite zone étroite hypoéchogène, souvent en forme d'entonnoir, situé à l'interruption des surfaces osseuses de l'articulation. Au stade physiologique, cet espace articulaire est hypoéchogène et de taille relativement petite.

Dans les cas pathologiques tels que l'arthrite, son aspect est altéré et peut devenir hétérogène avec une modification de son échogénéité.

De plus, au sein de cet espace articulaire, se trouvent la **capsule** et les **récessus** articulaires. Cependant, ces derniers ne sont pas visualisables physiologiquement sur toutes les articulations. La capsule est quelque fois distinguée par la présence d'une fine bande échogène située près de la surface articulaire. Elle est en revanche épaissie lors d'affection. Les récessus, eux, peuvent être parfois identifiés par la présence de très petites zones anéchogènes au niveau de l'espace articulaire. En cas de pathologie, il est possible que ce récessus se distende (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014).

#### **E. Surfaces osseuses articulaires**

Les **surfaces osseuses** articulaires sont représentées échographiquement par une bande lisse réfléchissante hyperéchogène par rapport aux tissus mous. En raison du pouvoir réfléchissant des os, aucun ultrason n'est transmis en profondeur à partir de ces surfaces. On obtient donc une image avec une bande hyperéchogène et un cône d'ombre en dessous.

De plus, dans les articulations, les os sont recouverts d'un cartilage articulaire correspondant à la présence d'une petite bande anéchogène ou hypoéchogène par rapport aux tissus mous, sous l'os chondral hyperéchogène.

Enfin, certaines articulations sont composées d'un **ménisque** formant une structure échogène homogène en forme de triangle au niveau de l'espace articulaire.

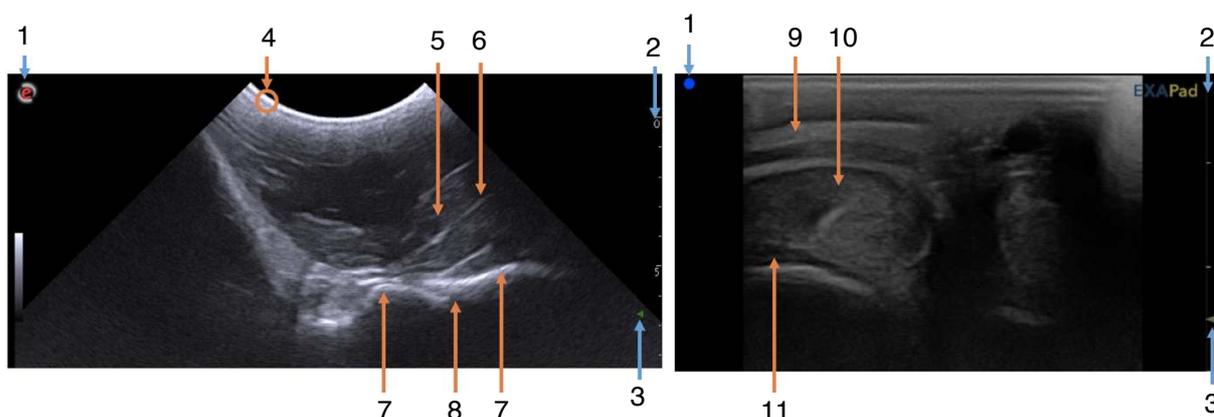


Figure 13 : Échographies d'un coude gauche, vue crâniale en coupe longitudinale (à gauche) et d'un boulet droit en coupe transversale (à droite)  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

1 : repère lumineux d'orientation de la sonde échographique, 2 : échelle de profondeur, 3 : focalisation, 4 : épaisseur de la peau et des tissus mous, 5 : muscle en coupe longitudinale, 6 : fascia musculaire, 7 : surface osseuse (hyperéchogène), 8 : espace articulaire (hypoéchogène à anéchogène), 9 : ligament avec les fibres parallèles à la sonde échographique, 10 : tendon en coupe transversale, 11 : récessus articulaire (hypoéchogène à anéchogène).

# **Partie 3 : Méthodologie mise en œuvre**

Les informations bibliographiques précédemment expliquées nous permettront par la suite l'interprétation des échographies articulaires. Cependant, pour réaliser ces échographies, il a été nécessaire de définir un cadre d'étude.

D'une part concernant le choix des articulations à échographier. En effet, l'objectif de cette étude est de réaliser un ouvrage pratique, qu'un vétérinaire rural peut utiliser de manière aisée pour vérifier l'intégrité d'une articulation. De ce fait, nous avons restreint le choix des articulations présentées aux articulations synoviales. Seuls les plans de coupe accessibles sur l'extérieur d'un animal vivant ont été proposés. Ainsi, beaucoup de plans médians non accessibles sur animal vivant n'ont pas été étudiés, et l'échographie par voie rectale n'a pas été réalisée.

D'autre part, les sujets de l'étude ont été choisis rigoureusement. En effet, des critères de choix spécifiques ont été appliqués et seront détaillés dans la partie suivante.

## **I. Critères de choix des sujets de l'étude**

L'ensemble des échographies ont été réalisées sur des bovins hospitalisés à la clinique des ruminants de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse (E.N.V.T.).

Or, cette étude se concentre principalement sur les articulations au stade physiologique, il a donc été nécessaire d'établir un cadre afin de définir des critères d'exclusion pour le choix des bovins à échographier. Ces critères sont très importants à prendre en compte en raison du contexte d'hospitalisation à l'E.N.V.T. L'objectif est en effet, de sélectionner les individus ne présentant pas de pathologie ayant des répercussions directes ou indirectes sur les articulations.

## **A. Examen clinique et locomoteur**

Tout d'abord, il est important de préciser que la sécurité est le critère d'exclusion rédhibitoire à l'étude, quel que soit le motif d'hospitalisation de l'animal. Avant chaque manipulation nous avons demandé à l'équipe enseignante quels étaient les bovins potentiellement dangereux et ceux facilement manipulables.

Ensuite, pour intégrer un bovin dans l'étude, son dossier de soin a été consulté au préalable. Ainsi, sur ce dossier trois critères ont été étudiés : les antécédents de l'animal, le motif d'hospitalisation et l'examen clinique général dernièrement réalisé.

Le motif d'hospitalisation, facilement accessible, permet de faire un premier tri des animaux présents. En effet, les bovins soignés pour boiterie, arthrite, amputation d'onglon ou encore problème de décubitus sont directement exclus de l'étude. Il en est de même pour les animaux ayant présenté ce genre d'affection au cours de leur vie.

Une fois ce premier tri réalisé, nous avons consulté les valeurs de l'examen clinique général de l'animal. Cet examen clinique comprend la température ainsi que les fréquences cardiaque, respiratoire et ruminale. Les bovins sélectionnés présentent un examen clinique dans les valeurs de référence. Le but de cette sélection est d'échographier des bovins se rapprochant le plus possible des valeurs physiologiques.

Enfin, chaque bovin sélectionné à partir des critères précédents, est soumis à un examen locomoteur. Or, l'examen locomoteur présente quelques limites. En effet, la plupart des bovins sont installés à l'attache, avec des liens sur les postérieurs. Leur déplacement au cours de l'hospitalisation est donc limité au seul moment où l'animal est transféré de l'aire d'admission à son aire d'entrave. Nous avons donc consulté chaque dossier de soin des animaux initialement sélectionnés afin d'exclure ceux dont la locomotion n'est pas mentionnée comme physiologique.

Ensuite, l'animal ne doit présenter aucune difficulté à se lever, des appuis corrects sur ses quatre membres une fois debout (aucun report de poids ou appui anormal) et aucun signe d'inconfort dans cette position.

Tout cela définit donc les critères d'inclusion de notre étude. Il est ensuite nécessaire d'affiner les critères permettant d'identifier les articulations au stade physiologique.

## **B. Identification d'une articulation saine**

L'examen rapproché des articulations permet d'identifier les articulations d'apparence saine. Cet examen commence tout d'abord par l'aspect visuel, à distance. En effet, toute articulation présentant visuellement une déformation, une distension, un œdème ou encore une plaie en regard de la zone est exclue de l'étude.

L'examen rapproché nécessite ensuite une palpation de l'articulation. Ainsi, tout signe de chaleur, de douleur ou de léger œdème identifié à la palpation constitue un critère d'exclusion de l'animal pour l'étude.

Enfin, les critères décrits ne sont pas univoques. Lors de l'examen échographique, si une anomalie au sein de l'articulation est perçue à l'écran, l'animal sera alors exclu de l'étude physiologique. Il est donc important d'avoir en tête les aspects échographiques saines des tissus articulaires (voir Partie 2. III).

Notons cependant que lorsque l'occasion se présentait, nous avons réalisé quelques échographies sur des cas pathologiques pour apporter un complément à l'étude et définir quelques éléments comparatifs. Dans ces cas, il arrive que la contention soit spécifique (animal couché, pied levé) et que ces critères d'inclusion ne soient pas respectés (animal malade, examen locomoteur anormal...). Toutes les pathologies et articulations anormales ne sont pas détaillées dans cette étude, étant donné leur large description dans la bibliographie.

## **II. Préparation de l'animal**

Après avoir soigneusement choisi les sujets sur des critères cliniques, une préparation de l'animal et de la zone à échographier est nécessaire. Cela permet de réaliser les échographies en sécurité et d'obtenir des images précises et de qualité.

### **A. Contention de l'animal**

Pour travailler en toute sécurité pour le manipulateur, l'animal et le matériel, chaque bovin échographié est placé en position physiologique debout. De plus, pour limiter au maximum les mouvements, en plus d'être à l'attache avec un licol, la tête de l'animal est bloquée dans un cornadis fermé.

L'examen des membres arrières nécessite quant à lui une sécurité supplémentaire à l'aide d'entraves ou d'une corde nouant les deux pattes ensemble.

Cependant, les articulations inter-phalangiennes étant plus difficilement atteignables en sécurité, il s'agit des seules échographies réalisées sur bovin en décubitus sternal. Même si cette position n'est pas optimale pour étudier l'aspect physiologique de l'articulation, la sécurité reste primordiale.

Enfin, même si certaines études ont recours à la sédation pour réaliser les manipulations lorsque les animaux sont agités notamment, cela n'a pas été le cas pour cette étude. Nous avons privilégié le choix de bovins calmes et dociles afin de ne pas avoir recours à l'utilisation d'anesthésiants. Ce choix permet d'éviter toutes procédures invasives sur l'animal et également d'éviter des postures non physiologiques des membres en lien avec les effets de la sédation.

## **B. Préparation de l'animal à l'examen échographique**

Une fois l'animal correctement contenu, l'articulation est repérée et délimitée pour faire une tonte large. De l'alcool à 70 degrés est utilisé pour dégraisser et éliminer les squames à la surface de la peau. Cependant, lorsqu'il est nécessaire, c'est-à-dire en présence de débris de fèces non éliminés par l'utilisation de l'alcool, un nettoyage supplémentaire de la zone tondu est réalisé avec une éponge et de l'eau tiède savonneuse. À la fin de cette étape, il est essentiel de réaliser un séchage à l'aide de papiers absorbants afin d'éliminer l'eau stagnante à la surface de la peau. La préparation de la zone d'intérêt permet ainsi d'optimiser la surface de contact entre la sonde échographique et la peau afin de limiter les artefacts.

En pratique, pour les animaux dont l'esthétisme est important tels que les animaux de concours ou de vente, il est possible d'éviter la tonte en appliquant une grande quantité d'alcool à 70° sur la zone. Ce type de préparation n'est pas optimal, il n'a donc pas été utilisé pour cette étude mais il s'agit d'une alternative possible afin de limiter les artefacts liés à la présence des poils.

Une fois la zone préparée selon les indications précédentes, du gel échographique (Explogel® produit par le laboratoire Génia) est appliqué sur la zone. Ce gel dense composé de lubrifiant et d'eau, facilite le passage des ultrasons jusqu'à leur cible tout en éliminant les bulles d'air à la surface de la peau.

Ainsi, l'ensemble du protocole de nettoyage précédemment décrit est réalisé dans notre étude afin d'obtenir les meilleures images possibles.

### **III. Matériel utilisé**

#### **A. Repères visuels de l'articulation externe**

Après réalisation du protocole précédemment décrit et avant de poser la sonde sur l'animal, il est important de connaître les repères anatomiques spécifiques à chaque articulation pour bien localiser les structures.

En amont de nos manipulations pratiques, nous avons donc recherché à l'aide de l'ouvrage (Barone 2020) l'anatomie de chaque articulation. Ensuite, face à l'animal, nous avons essayé de définir des repères anatomiques visuels facilement accessibles sur animal vivant (par exemple des proéminences osseuses). Ces repères peuvent parfois constituer des approximations, du fait de la difficulté à corréliser les planches anatomiques à un animal vivant. De plus, certaines études utilisent la dissection pour apporter plus de précision, ce qui n'est pas le cas dans l'étude présentée. Les repères visuels utilisés ici peuvent donc différer des repères anatomiques utilisés dans la bibliographie.

Une fois les repères visuels choisis, pour chaque articulation nous avons photographié la zone en faisant ressortir les repères fixés. Ainsi, nous avons mis en évidence les repères par une marque à la surface de la peau de l'animal réalisée à l'aide d'un feutre de couleur.

#### **B. Matériel échographique**

Les échographies les plus récentes de notre étude sont obtenues avec l'échographe ExaPad® (IMV Imaging). Cependant, les échographies les plus anciennes ont été réalisées avec l'échographe MyLab™One® (Esaote) qui correspond à l'appareil anciennement disponible à la clinique des ruminants de l'E.N.V.T..

Ces deux appareils disposent de sondes échographiques linéaire et curviligne. Il est donc nécessaire de choisir l'une de ces sondes pour chaque manipulation. Or, l'objectif de l'étude est d'offrir diverses échographies afin de rendre plus accessible

l'utilisation de cette technique d'imagerie sur le terrain. Nous avons donc tout d'abord utilisé pour chaque articulation la **sonde linéaire** allant de 5 à 10 MHz, correspondant à 3 à 15 cm de profondeur. En effet, cette sonde, d'après (Maillard, Sans, Romanos 2017), est majoritairement présente et utilisée dans les cliniques vétérinaires rurales. L'objectif est donc de voir ses différentes possibilités d'utilisation au niveau articulaire.

De plus, l'E.N.V.T. dispose depuis peu d'une **sonde linéaire à haute résolution** (7,5 à 15 MHz, pour 1 à 7 cm de profondeur) utilisée pour l'échographie des structures tendineuses. Nous avons profité de cet atout pour obtenir de meilleures images pour les articulations plus superficielles composées de nombreuses structures tendineuses telles que le boulet ou le carpe.

Cependant, en raison des limites de son utilisation en lien avec la faible profondeur d'examen possible (partie détaillée dans la partie 1, III.B), nous avons comparé les échographies obtenues avec celles données par la **sonde convexe**, dont la fréquence peut aller de 3,5 à 6 MHz (soit 5 à 30 cm de profondeur). L'utilisation des différents types de sondes a pour objectif d'obtenir les meilleures échographies possibles.

Ensuite, il est important de préciser l'orientation de la sonde au niveau de l'articulation. En effet, les sondes échographiques possèdent une marque d'orientation sur l'un des côtés coïncidant avec un marqueur situé en haut à gauche de l'écran (petit point bleu sur l'échographe ExaPad®). Nous nous sommes alors assurés que pour chaque image, le repère de la sonde soit en direction **crâniale** ou **médiale** en fonction de l'incidence et de la coupe utilisée.

Enfin, pour analyser les clichés échographiques sauvegardés sur l'appareil, il est nécessaire de disposer d'une clé USB, pour recueillir et par la suite annoter les images dans un document PowerPoint.

### **C. Définition des plans de coupe**

Enfin, pour identifier les différentes structures articulaires, il est primordial de définir un plan de coupe échographique. Or, pour obtenir des images de référence, nous avons visualisé l'ensemble des articulations selon différents plans de coupe. Ainsi, l'examen de chaque articulation a été réalisé selon le même procédé.

Tout d'abord, avec une sonde échographique donnée, nous avons commencé l'examen en coupe longitudinale en partant du bord crânial. Nous avons ensuite déplacé la sonde du côté latéral, caudal et enfin médial en gardant la même ligne de plan horizontal. Après un retour au point de départ, la sonde a été déplacée plus distalement sur l'articulation et le procédé précédent a été répété.

Ensuite, une fois l'ensemble de l'articulation échographiée en coupe longitudinale nous avons réalisé la même procédure en coupe transversale. De plus, pour certaines articulations comme l'articulation coxo-fémorale, nous avons utilisé un plan de coupe oblique comme cela était conseillé par (Kofler 2009).

L'objectif de ce protocole est de récolter le maximum d'informations sur l'aspect physiologique des structures articulaires. En effet, les plans de coupes sont complémentaires entre eux. Le plan de coupe transversal permet par exemple d'examiner des structures superposées en profondeur telles que les tendons. Le plan de coupe longitudinal quant à lui permet d'évaluer la continuité des structures linéaires.

Notons enfin que ce protocole est sous influence des contraintes pratiques liées à notre cadre d'étude. Sur un animal vivant en position debout, il n'est pas toujours simple d'accéder au côté médial de l'articulation. De plus, en fonction du plan de coupe, il est difficile dans certains cas d'obtenir une surface de contact suffisante à l'obtention d'une échographie correcte.

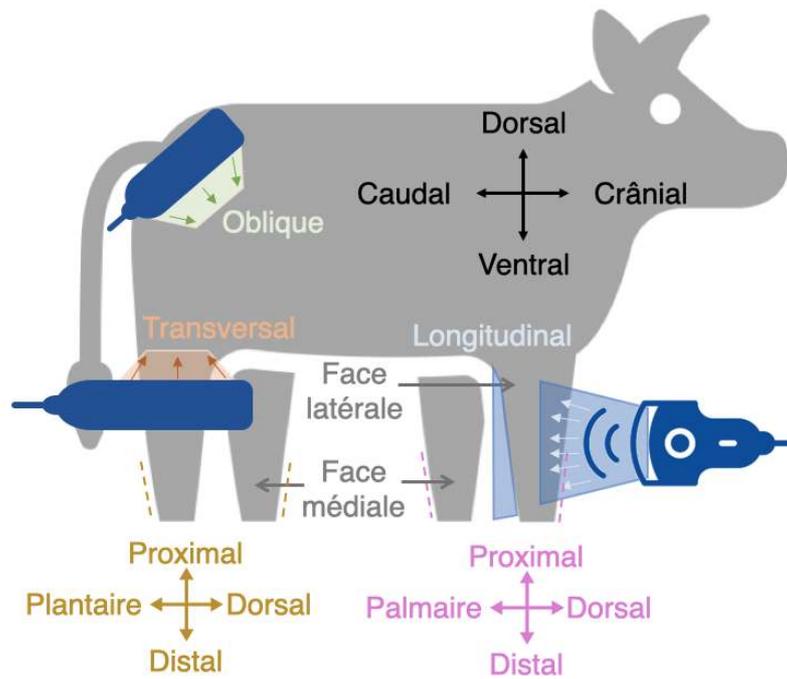


Figure 14 : Schéma des différents plans de coupe  
(source : auteures)

# **Partie 4 : Articulations du membre thoracique**

La majorité des articulations synoviales se trouve sur le squelette appendiculaire. Pour commencer notre étude, nous avons décidé d'exposer la technique échographique ainsi que nos résultats au sein du membre thoracique. Celui-ci s'étend de l'articulation scapulo-humérale (épaule) jusqu'à l'articulation interphalangienne distale de la main. Pour des raisons de simplicité et de sécurité, nous avons regroupé les mains et les pieds dans une même unité en raison de leur anatomie et leurs affections similaires.

## **I. Articulation scapulo-humérale (épaule)**

### **A. Généralités sur l'articulation**

Les affections de l'épaule sont assez peu fréquentes mais, lorsqu'elles sont présentes, sont souvent source de boiterie du membre antérieur concerné. Le premier type de pathologie que nous pouvons rencontrer est traumatique, avec une fracture de l'épine scapulaire ou encore une luxation de la tête de l'humérus. Ensuite, une inflammation ou une infection des tissus environnants est possible. Dans ces cas, cela touche principalement la gaine tendineuse du biceps ou la bourse sub-tendineuse du muscle infra épineux, se traduisant par une bursite. Si l'articulation est affectée, cela se crée une arthrite, septique ou non.

Comme l'explique (Nuss 2007b), l'échographie permet d'affiner le diagnostic différentiel et de localiser précisément la lésion. Même si les affections traumatiques citées au-dessus sont visibles en radiographie, ce n'est pas le cas pour les inflammations et infections.

## **B. Anatomie articulaire**

L'articulation de l'épaule se situe entre l'os **scapulaire** et l'os **huméral**. Les deux surfaces articulaires sont la **tête de l'humérus** qui vient faire congruence dans la **cavité glénoïdale** de la scapula. Cette dernière est complétée par un **bourellet glénoïdal** fibro-cartilagineux qui stabilise l'articulation en entourant la cavité glénoïdale et ainsi en élargissant la surface articulaire. Cependant, la tête de l'humérus ne reste que partiellement recouverte (Unité d'Anatomie de l'E.N.V.A. 2016).

Cette articulation est renforcée par des moyens d'union propres qui sont la **capsule articulaire** et les **ligaments gléno-huméraux** latéral et médial. La capsule articulaire est une mince couche fibreuse, au-sein de laquelle se trouve la synoviale. À sa surface, les ligaments glénoïdaux, très fins, viennent s'accoler et deviennent presque non distinguables de la capsule. Ils apparaissent donc comme des renforcements de cette dernière. Ces structures constituent une attache assez faible et seront donc accentués par la présence de moyens d'union complémentaires comme les muscles et les tendons. Par exemple, sur la face crâniale de l'articulation, le tendon du muscle bicipital ainsi que la terminaison du muscle supra-épineux pourront être visualisés.

La **synoviale** est vaste et tapisse l'intérieur de la capsule articulaire. Parfois, elle forme un **récessus** lorsqu'elle entoure les tendons accolés à la capsule, facilitant ainsi leur glissement (Barone 2020).

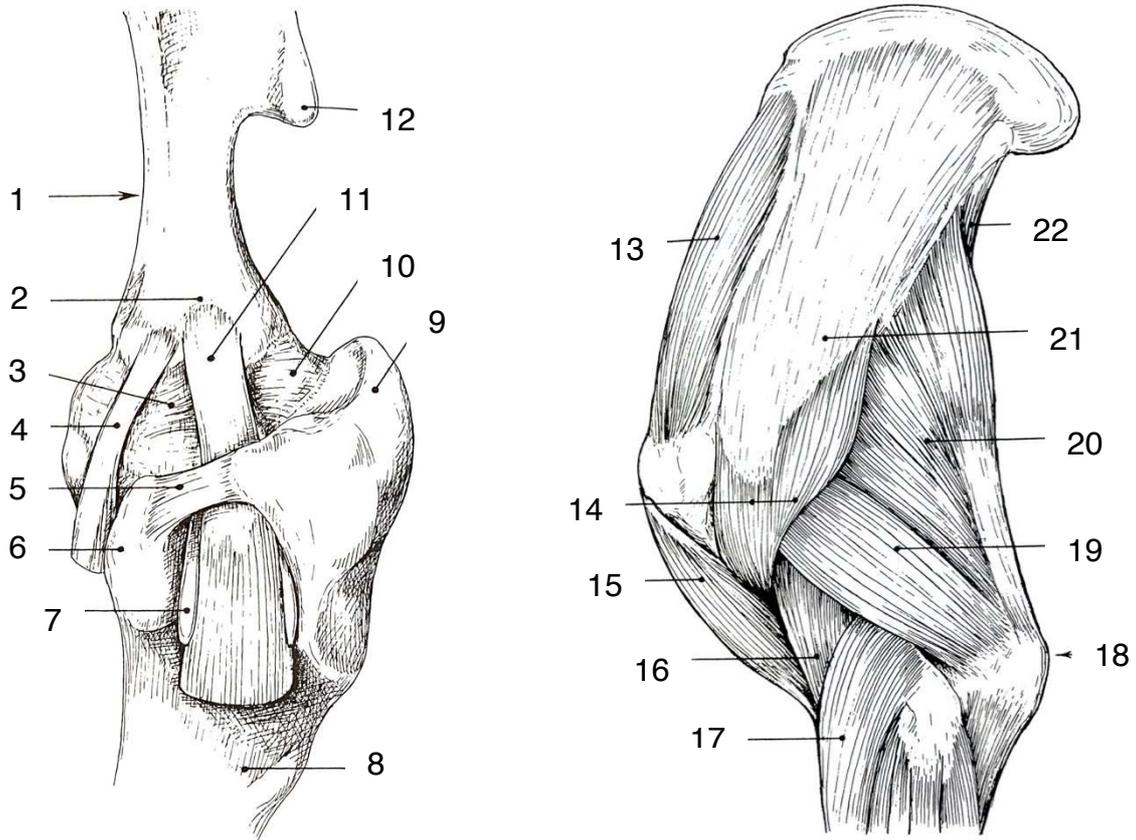


Figure 15 : Schémas simplifiés de l'articulation scapulo-humérale gauche de bœuf, vue crâniale et des muscles superficiels de l'épaule et du bras gauche, vue latérale (d'après (Barone 2020)).

1 : col de la scapula, 2 : tubérosité supraglénôïdale, 3 : capsule articulaire (renforcement crânial), 4 : tendon du muscle coraco-brachial, 5 : ligament huméral transverse, 6 : tubercule mineur, 7 : récessus subtendineux de la synoviale, 8 : corps de l'humérus, 9 : tubercule majeur, 10 : capsule articulaire scapulo-humérale, 11 : tendon d'origine du muscle biceps brachial, 12 : acromion, 13 : muscle supra-épineux, 14 : muscle deltoïde, 15 : muscle biceps brachial, 16 : muscle brachial, 17 : muscle extenseur radial du carpe, 18 : tubérosité de l'olécrâne, 19 : chef latéral du muscle triceps brachial, 20 : chef long du muscle triceps brachial, 21 : aponévrose du muscle deltoïde, 22 : muscle grand rond.

## **C. Techniques échographiques**

### **1. Repères anatomiques, sondes et coupes**

De l'extérieur, il est important de délimiter l'articulation en repérant d'abord l'**épine scapulaire**. Celle-ci fait proéminence sur la face latérale de la scapula, légèrement dorsale à l'articulation. Ventralement, le **tubercule majeur de l'humérus** peut être palpé sur sa face latérale.

La profondeur de l'articulation ainsi que sa conformation chez le bovin adulte restreint nos choix de sonde. Ainsi, la sonde convexe nous semble plus adaptée à l'étude de l'épaule, même si quelques images ont été prises en face crâniale avec la sonde linéaire. En fonction de la zone étudiée et de la musculature de l'animal, nous avons fait varier la fréquence de 4,3 MHz à 6,6 MHz. La coupe longitudinale est préférable dans ce cas. La coupe transversale quant à elle n'apporte peu d'informations supplémentaires. Seul le tendon du muscle biceps brachial en vue crâniale est repérable, bien que peu interprétable dans notre étude.

### **2. Aspects échographiques physiologiques de l'épaule**

La coupe longitudinale a donc été réalisée en vue latérale, latéro-caudale, caudale et crâniale, donnant les images qui suivent.

Tout d'abord, nous avons abordé l'articulation par sa face crâniale, ce qui est assez difficile sur une vache avec peu de muscles. Nous avons aussi réalisé cette échographie avec une sonde linéaire, plus dorsalement pour améliorer la surface de contact. Cette dernière est donc possible d'utilisation mais assez peu pratique du fait de la conformation de l'épaule. En sonde convexe, nous voyons déjà que la surface de contact est limitée, ce qui explique les grandes zones anéchogènes des deux côtés de l'image. Nous visualisons ainsi le muscle supra-épineux ainsi qu'une partie du tendon du muscle biceps brachial.



Photographie 1 : Emplacement de la sonde sur la face crâniale de l'épaule droite  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

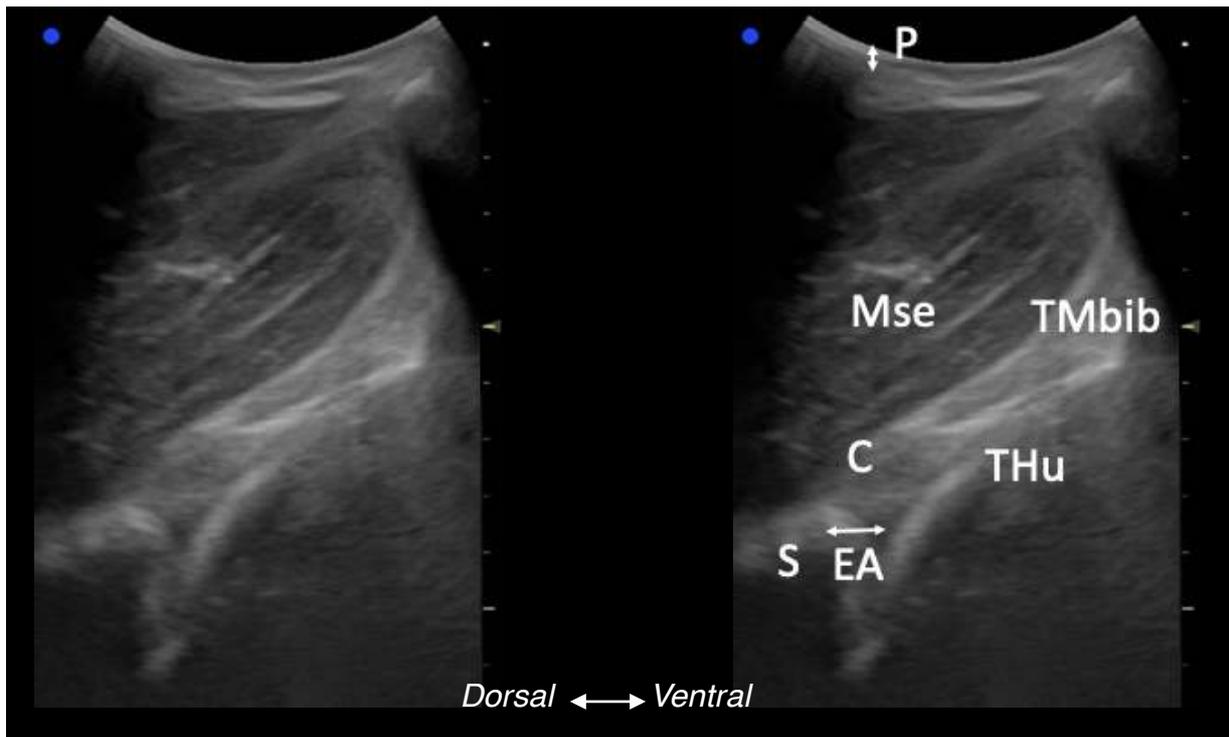
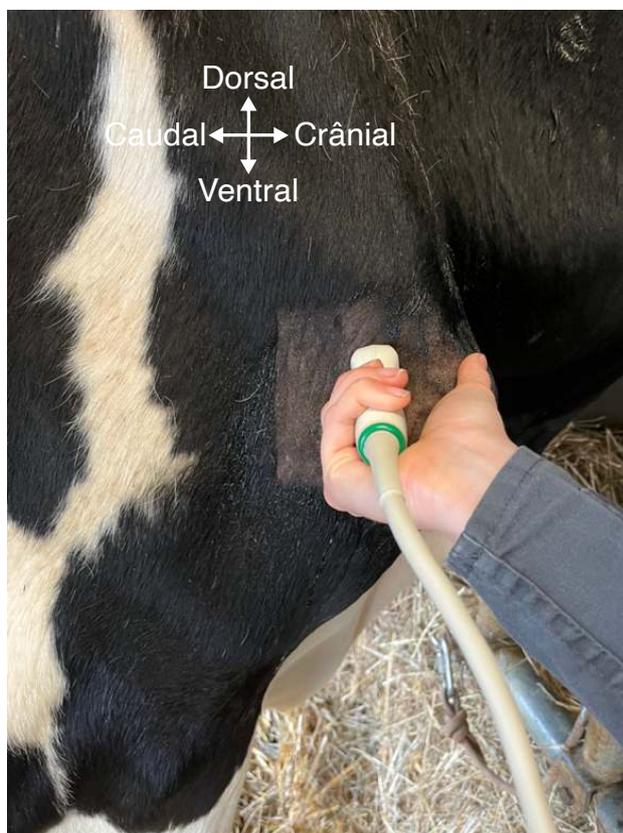


Figure 16 : Images échographiques de l'articulation saine de l'épaule droite en vue crâniale  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence crânio-caudale, coupe longitudinale avec une sonde convexe, de fréquence 6 MHz et de profondeur 14 cm, sur une vache Prim'Hosltein de 7 ans, opérée d'un déplacement de caillette. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; S : scapula ; Thu : tête de l'humérus ; Mse : muscle supra-épineux ; TMbib : partie du tendon du muscle biceps brachial.*

En déplaçant la sonde légèrement sur la face latérale de l'épaule, sur le même plan horizontal, en suivant le tubercule majeur de l'humérus, nous obtenons une image en face latérale. Cette face permet de suivre le muscle supra-épineux, sous le muscle deltoïde.



Photographie 2 : Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'épaule droite  
(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

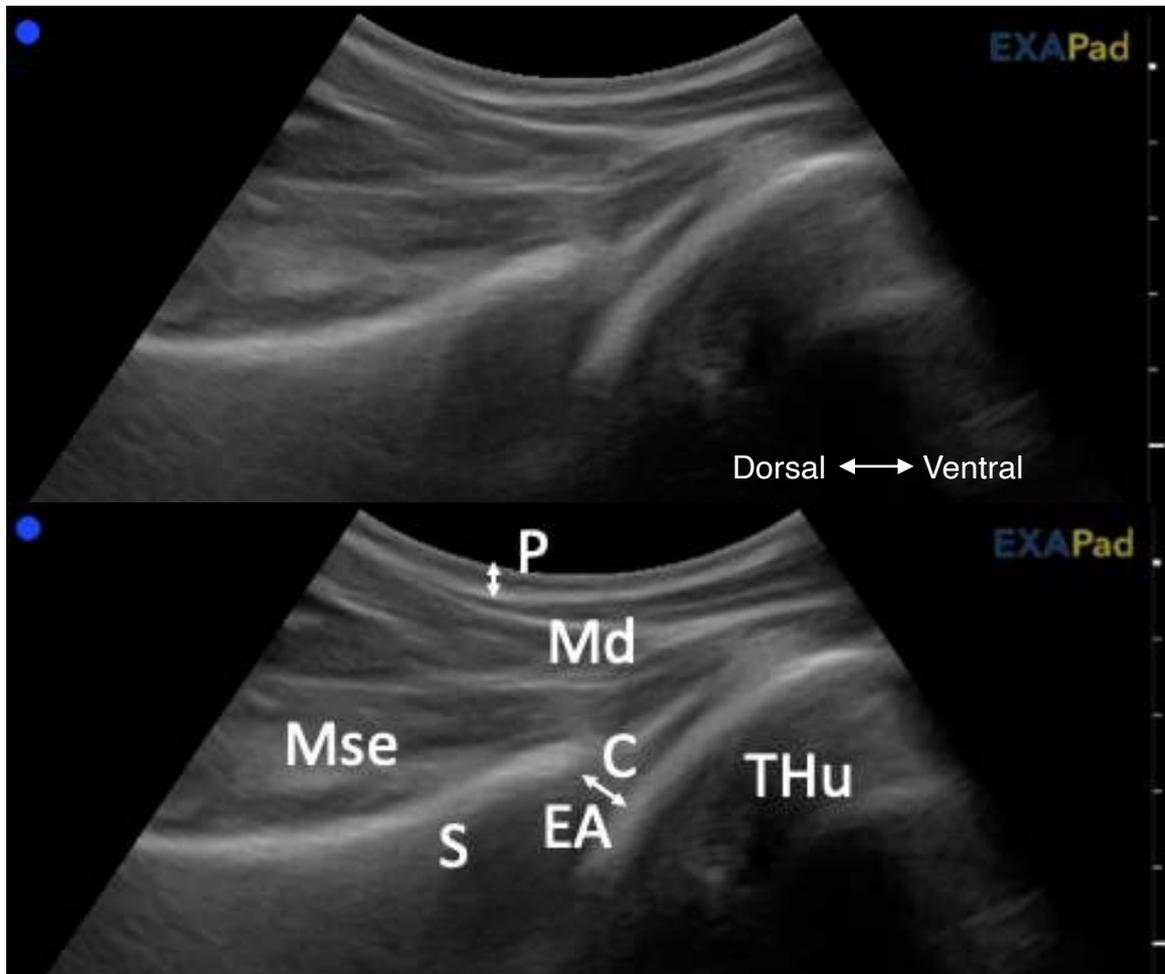
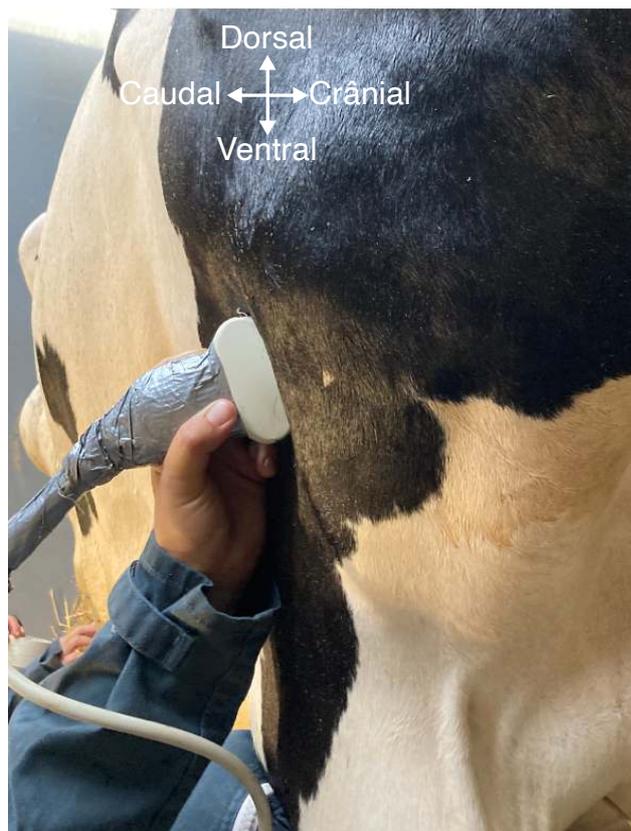


Figure 17 : Images échographiques de l'articulation saine de l'épaule droite en vue latérale  
 (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde convexe, de fréquence 6 MHz et de profondeur 14 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de caillette. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace artriculaire ; C : capsule ; S : scapula ; Thu : tête de l'humérus ; M : muscle ; Md : muscle deltoïde ; Mse : muscle supra-épineux.*

L'image suivante est obtenue en déplaçant caudalement la sonde sur la face latérale. Nous identifions seulement la tête de l'humérus. La scapula et l'espace articulaire sont situés légèrement à gauche de l'image (soit en proximal sur l'animal). Ainsi, toujours sous le muscle deltoïde, nous voyons le muscle infra-épineux, de l'autre côté de l'épine scapulaire par rapport au muscle supra-épineux. De plus, le muscle triceps brachial est présent sur cette image en-dessous de la tête de l'humérus.



Photographie 3 : Emplacement de la sonde sur la face caudo-latérale de l'épaule droite  
(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

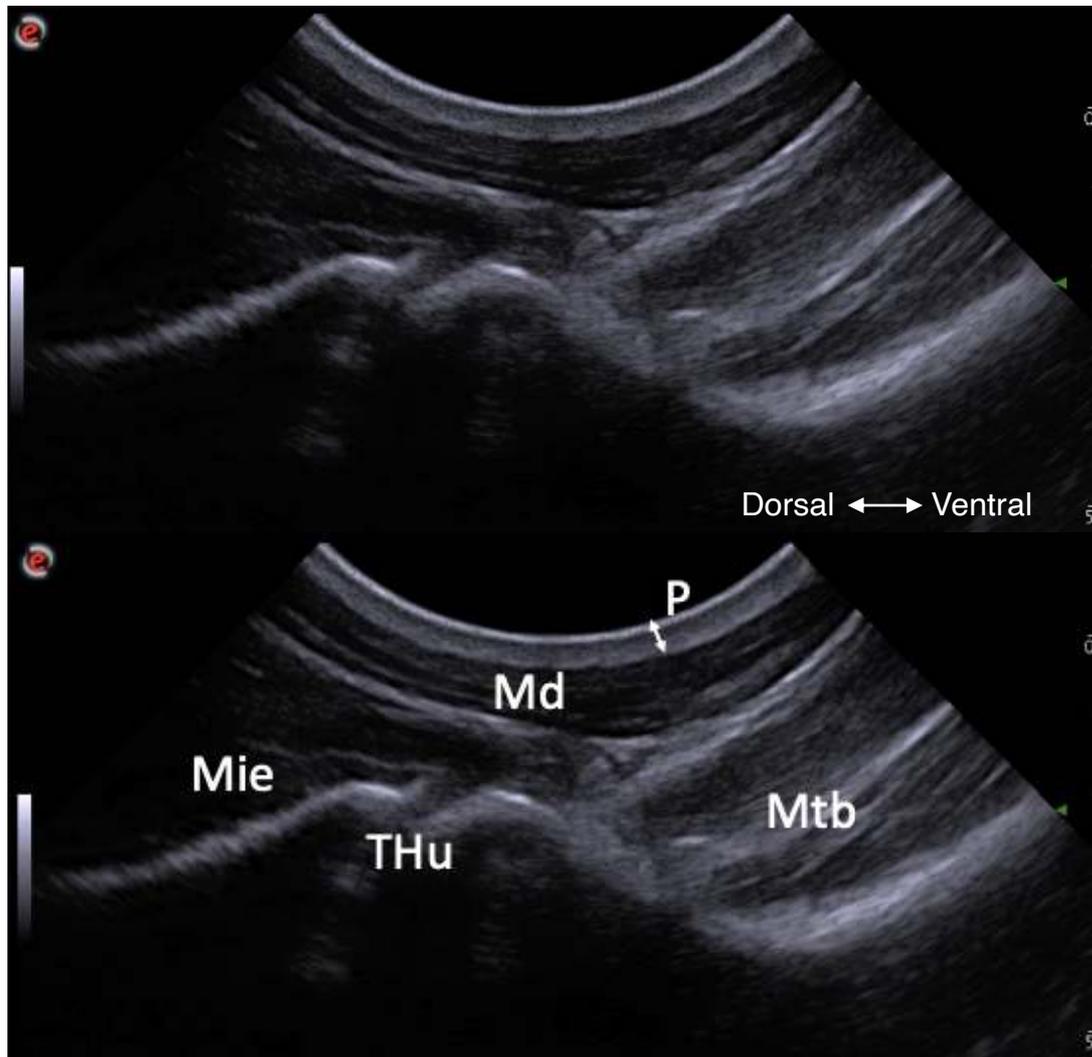


Figure 18 : Images échographiques de l'articulation saine de l'épaule droite en vue caudo-latérale  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence latéro-crâniale, coupe longitudinale avec une sonde convexe, de fréquence 6,6 MHz et de profondeur 9 cm, sur une vache Prim'Holstein de 5 ans, souffrant d'une tarsite. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Thu : tête de l'humérus ; Md : muscle deltoïde, Mie : muscle infra-épineux, Mtb : muscle triceps brachial.*

Enfin, afin de bien visualiser la face caudale de l'articulation, il faut la contourner et insérer la sonde dans les muscles sur sa face caudale (entre le muscle deltoïde et les chefs du muscle triceps brachial).



Photographie 4 : Emplacement de la sonde sur la face caudale de l'épaule  
 (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

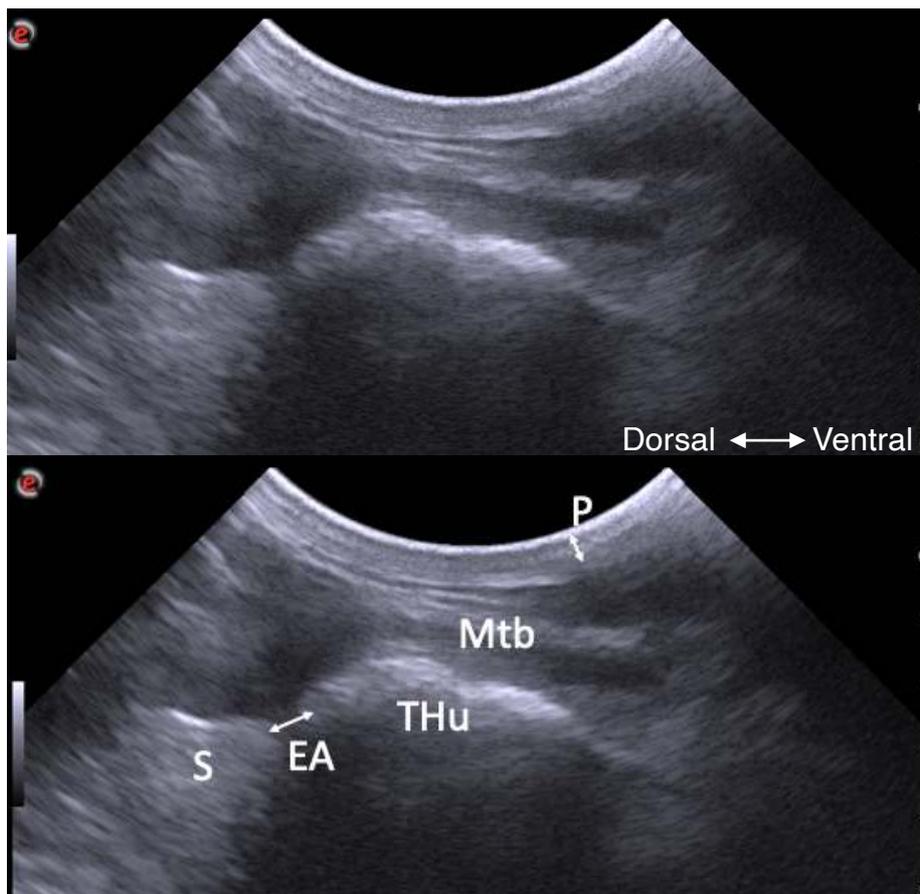


Figure 19 : Images échographiques de l'articulation saine de l'épaule droite en vue caudale  
 (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence caudo-crâniale, coupe longitudinale avec une sonde convexe, de fréquence 4,3 MHz et de profondeur 13 cm, sur une vache Simmental de 8 ans, intoxiquée avec des glands. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; S : scapula ; Thu : tête de l'humérus ; Mtb : muscle triceps brachial.*

Les structures que nous avons facilement identifiées sur cette articulation sont la tête de l'humérus ainsi que la scapula. Les muscles sont aussi visibles, tels que les muscles supra-épineux et infra-épineux, le muscle triceps brachial ainsi que le muscle deltoïde. Par contre, la capsule et l'espace articulaire sont difficilement visualisables du fait de la conformation de l'articulation.

### 3. Aspects échographiques pathologiques de l'épaule

Sur l'image échographique, une arthrite de la capsule articulaire de l'épaule peut se traduire par une distension de celle-ci, laissant apparaître un récessus. Ce récessus est d'échogénéicité variable en fonction de la nature de l'arthrite. À titre d'exemple, (Kofler 2009) expose une articulation de l'épaule sur une vache de 2 ans et demi, ayant une arthrite fibrino-purulente. Nous voyons ainsi le récessus apparaître, non présent sur nos images saines.

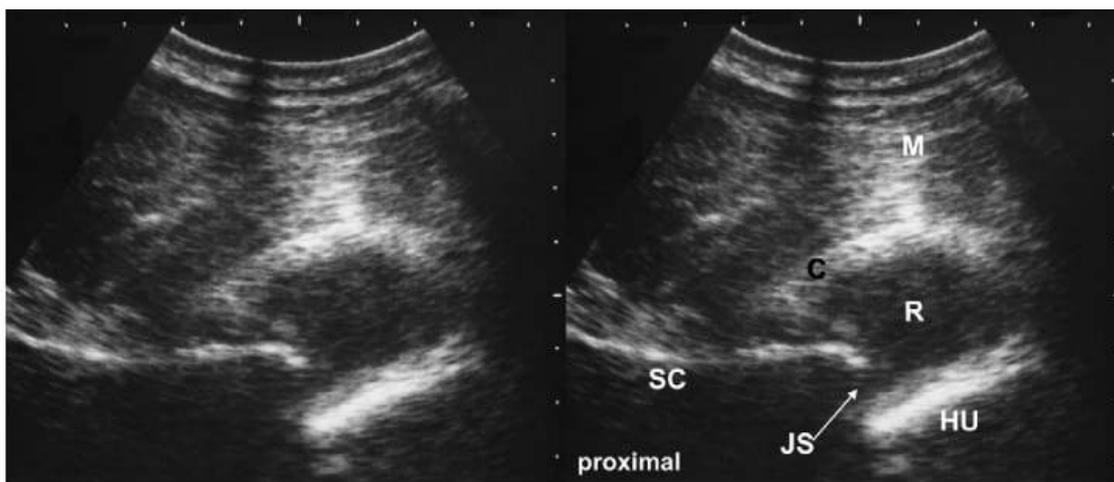


Figure 20 : Images échographiques de l'articulation scapulo-humérale droite en vue cranio-latérale, atteinte d'une arthrite fibrino-purulente (Kofler 2009)

Coupe longitudinale avec une sonde convexe, de fréquence 3,5 MHz, sur une vache Simmental de 2,5 ans. C : capsule articulaire sévèrement distendue ; R : récessus de taille augmentée et d'échogénéicité hétérogène ; HU : surface humérale ; JS : espace articulaire (joint space) ; M : muscle supra-épineux ; SC : surface articulaire de la scapula hyperéchogène.

Si le tendon du muscle biceps brachial est touché, cela se traduira par une distension des tissus environnants. Cette image est obtenue en coupe transversale sur la face crâniale de l'articulation, non détaillée dans notre étude.

Une atteinte de l'épaule sera surtout visible de l'extérieur par un gonflement, ce qui se traduit par un œdème des tissus mous visible sur l'écran de l'échographe.

## **D. Discussion**

Dans notre étude, l'échographie de l'épaule peut être comparée avec ce que l'on peut trouver dans la littérature sur quatre critères : les repères utilisés, le choix de la sonde, les points de vue ainsi que la coupe réalisée.

Tout d'abord, nous avons utilisé des repères anatomiques assez similaires à certaines études. En effet, nombreuses d'entre elles utilisent l'épine scapulaire et le tubercule majeur de l'humérus comme repères en face latérale (Altenbrunner-Martinek, Grubelnik, Kofler 2007). En vue crâniale, certains auteurs ajoutent également la palpation du creux du récessus.

Ensuite, la majorité des études utilise une sonde convexe à basse fréquence afin d'obtenir une profondeur d'examen suffisante. Nous rangeons nos valeurs entre 4,3 MHz et 6,6 MHz, ce qui est très similaire à ce que l'on peut trouver dans la littérature, soit entre 3,5 MHz et 7,5 MHz.

Les deux derniers paramètres sont par contre bien différents entre les données bibliographiques et notre travail.

En effet, concernant le point de vue, nous avons des résultats variables en fonction de la conformation de l'animal. Pour un animal à conformation concave (profil laitier), le contact est difficile en vue crâniale et latérale alors que pour un animal à conformation convexe (profil allaitant), la vue caudale est compliquée en raison de la profondeur. De ce fait, il nous a été plus facile de faire des vues caudales de l'articulation. Pourtant, certaines études montrent l'intérêt de la visualisation de la face crâniale pour vérifier le tendon du muscle bicipital (Kofler 2009). Quant à d'autres, la vue latérale présente un intérêt pour repérer les muscles et les tendons qui entourent l'articulation (Altenbrunner-Martinek, Grubelnik, Kofler 2007; Kofler 2009; Nuss 2007b). Dans notre étude, nous avons trouvé que la visualisation de l'épaule était limitée en vue latérale du fait de la procidence du tubercule majeur de l'humérus. Celui-ci, en plus de cacher une partie de l'articulation sur l'échographie, la rend difficilement abordable en raison de sa morphologie.

Nous n'avons fait apparaître aucune vue médiale, qui peut être trouvée dans certains articles, du fait du choix de travailler uniquement sur un animal vivant.

Enfin, nous avons réalisé essentiellement des vues longitudinales sur l'articulation de l'épaule. La dernière étude citée montre l'intérêt de la coupe transversale, en vue latérale ou crâniale, pour vérifier l'intégrité du tendon bicipital ainsi que de sa bourse (Altenbrunner-Martinek, Grubelnik, Kofler 2007).

## **II. Articulation huméro-antébrachiale (coude)**

En descendant sur la partie distale de l'humérus, nous trouvons l'articulation du coude.

### **A. Généralités sur l'articulation**

Cette articulation est la seule à ne pas avoir été complètement étudiée en échographie (Kofler 2009; 2011). De plus, bien que les polyarthrites et les ostéomyélites du coude soient les plus fréquentes chez les jeunes bovins et les veaux, les affections de cette articulation ne sont pas exclusives à cette zone.

En effet, comme pour les autres articulations, l'échographie renseigne davantage sur l'origine d'un gonflement focal. Une étude a donc été réalisée pour avoir des références chiffrées, en mesurant la taille de différentes structures au sein du coude, sur les veaux et les vaches (Borges et al. 2015).

Enfin, nous verrons qu'il est important de repérer le ligament collatéral latéral sur l'image échographique, d'une part pour se repérer dans l'articulation, d'autre part car c'est une région d'intérêt en termes d'application.

## **B. Anatomie articulaire**

L'articulation du coude se trouve entre l'**os de l'humérus** et l'avant-bras (os du **radius** et de l'**ulna**), donnant le nom de l'articulation huméro-antébrachiale. Deux articulations peuvent être identifiées, une huméro-ulnaire et une huméro-radiale, plus étendue, en fonction de la superposition de l'humérus avec l'ulna ou le radius, respectivement. Sur la partie caudale de l'articulation, l'os de l'ulna se prolonge en une partie osseuse appelée olécrâne.

L'humérus intervient dans l'articulation à l'aide d'une large **trochlée** en face médiale et d'un **capitulum cylindrique** en face latérale. Deux fosses sont visibles dans la trochlée, la coronoïdienne en crânial et l'oléocranienne, plus prononcée, sur la face caudale, où vient s'ancrer le processus anconé, à la base de l'olécrâne. La trochlée et le capitulum de l'humérus viennent s'insérer exactement dans l'**incisure trochléaire** qui représente la surface articulaire antébrachiale.

L'articulation reste en place grâce aux moyens d'union propres qui sont la **capsule articulaire**, qui détient un renforcement en face crâniale avec une membrane épaisse, ainsi que les **ligaments collatéraux** médial et latéral. Le ligament collatéral latéral diverge en deux faisceaux sur sa partie ventrale, un crânial très étendu allant vers le radius et l'autre caudal vers l'ulna, très peu visible chez les Ruminants.

Les moyens d'union complémentaires sont les muscles ainsi que leur tendon en face crâniale et caudale de l'articulation. En effet, en crânio-médial, la capsule articulaire est recouverte par les muscles extenseurs du carpe et des doigts. Sur la face caudale, les muscles extenseurs de l'avant-bras (anconé et triceps brachial) prennent leur terminaison sur l'olécrâne. Des consolidations prennent ensuite leur origine sur les épicondyles, par le muscle fléchisseur du carpe et des doigts en médial et par le muscle ulnaire latéral sur l'épicondyle latéral.

La synoviale est unique dans l'articulation mais très vaste, occupant toute la cavité articulaire et s'étendant dans les différents récessus. Sur la face crâniale, le récessus dorsal, ou récessus coronoïdien, est très peu développé chez les Ongulés, alors qu'un vaste récessus sur la face caudale est présent dans la fosse

oléocrânienne, correspondant au **récessus oléocrânien**. Deux autres expansions sont présentes sous les épicondyles latéral et médial, recouverts par les muscles correspondants. Enfin, un très petit récessus est présent sur le bord caudal du radius, entre le radius et l'ulna (Barone 2020).

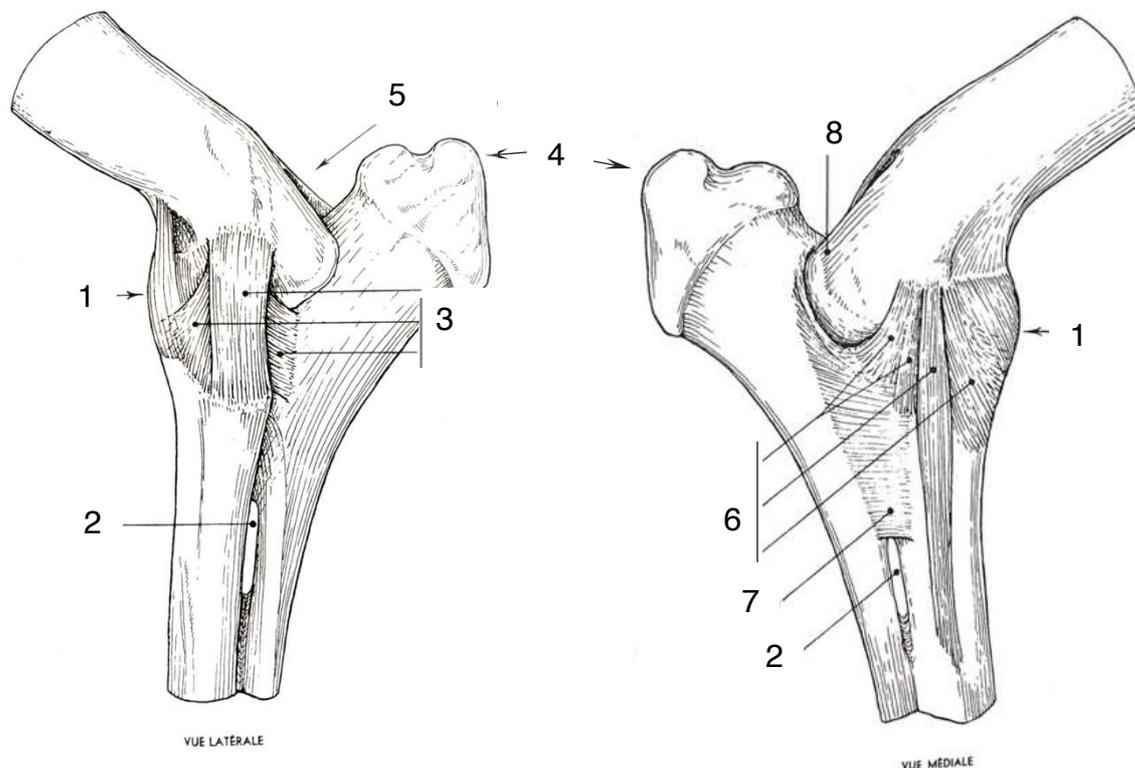


Figure 21 : Schéma simplifié de l'articulation huméro-antébrachiale, vue latérale et médiale (d'après (Barone 2020))

1 : capsule articulaire (partie crâniale), 2 : espace interosseux de l'avant-bras, 3 : faisceaux du ligament collatéral latéral, 4 : tubérosité de l'olécrâne, 5 : fosse oléocrânienne, 6 : faisceaux du ligament collatéral médial, 7 : ligament annulaire du radius (partie médiale), 8 : épicondyle médial de l'humérus

## **C. Techniques échographiques**

### **1. Repères anatomiques, sondes et coupes**

Le **ligament collatéral latéral** très développé, est palpable à travers la peau. Ce ligament étant d'une longueur très brève, il permet de délimiter l'épaisseur de l'articulation dans son axe vertical. Derrière ce ligament, il est possible de sentir l'**épicondyle latéral de l'humérus**, qui fait proéminence sur la face latérale.

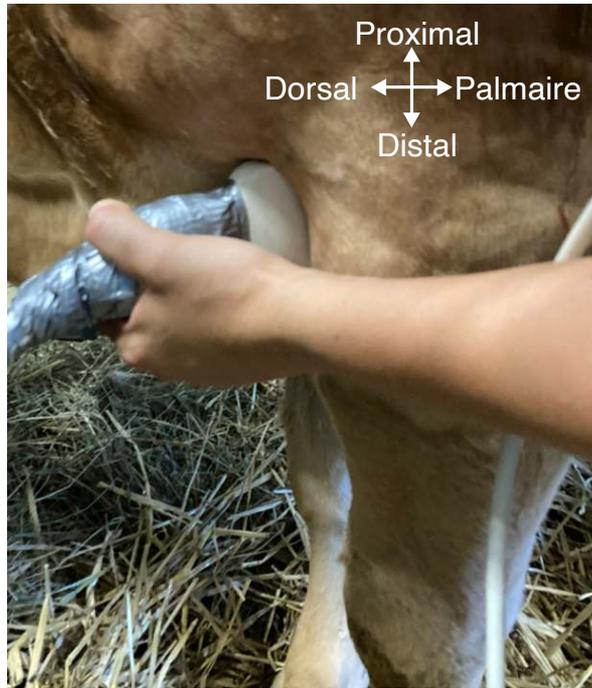
Ensuite, nous avons identifié le **sillon de la trochlée** sur la face crâniale de l'articulation.

Enfin, la face caudale de l'articulation est difficilement atteignable de l'extérieur et en position physiologique, du fait de la présence de l'olécrâne. Pour autant, en suivant cet os, nous arrivons à la base caudo-latérale de l'articulation, où l'on peut sentir le **récessus oléocrânien**. Sur les animaux maigres, il est aussi possible de sentir le sillon ulno-radial, qui peut faire un repère ventral à l'articulation en vue latérale. En effet, il est situé juste en dessous de l'articulation. De ce fait, en longeant ce sillon avec la sonde échographique, nous arrivons sur les faisceaux du ligament collatéral.

### **2. Aspects échographiques physiologiques du coude**

Nous avons réalisé des images du coude en vue crâniale et latérale, donnant les images suivantes.

En vue crâniale d'abord, nous voyons l'insertion du radius sur l'humérus, en dessous du début du muscle extenseur radial du carpe.



Photographie 5 : Emplacement de la sonde sur la face crâniale d'un coude gauche  
 (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

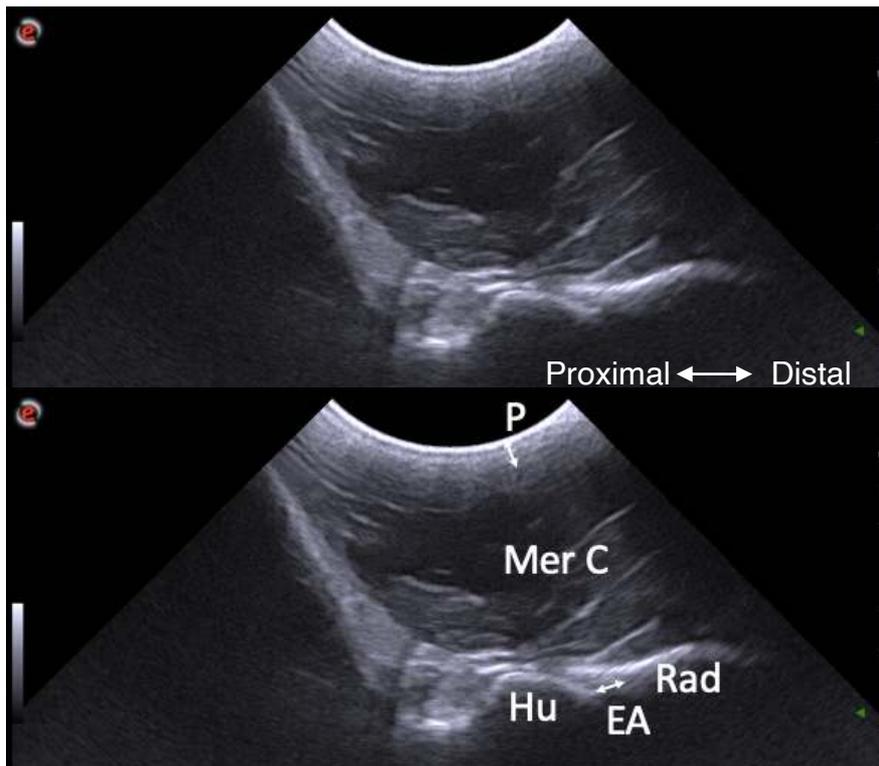
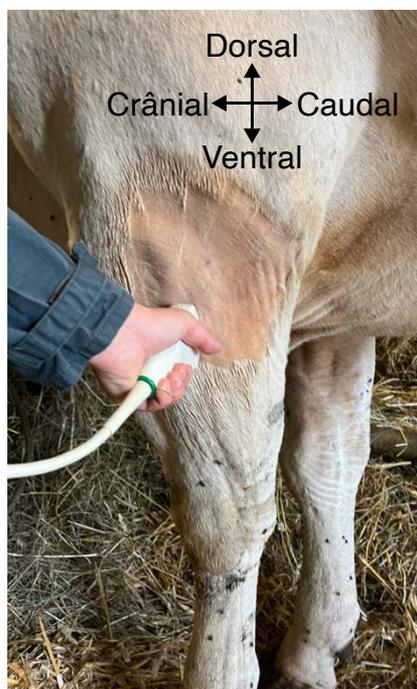


Figure 22 : Images échographiques de l'articulation saine du coude gauche en vue crâniale  
 (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence crânio-caudale, coupe longitudinale avec une sonde convexe, de fréquence 4,3 MHz et de profondeur 15 cm, sur un jeune bovin Blond d'Aquitaine de 1 an, parésique des membres postérieurs.*  
*P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Hu : humérus ; Rad : radius ; Mer C : partie distale du muscle extenseur radial du carpe.*

La vue latérale est bien plus difficile à échographier en raison de la proéminence de l'épicondyle latéral de l'humérus. Il est nécessaire de le contourner avec la sonde sur son aspect ventral. L'image échographique n'est donc pas très précise, mais laisse apparaître le ligament collatéral latéral à droite de l'écran. Par-dessus ce ligament, nous voyons apparaître le muscle extenseur du doigt médial.



Photographie 6 : Emplacement de la sonde sur la face latérale du coude gauche  
(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

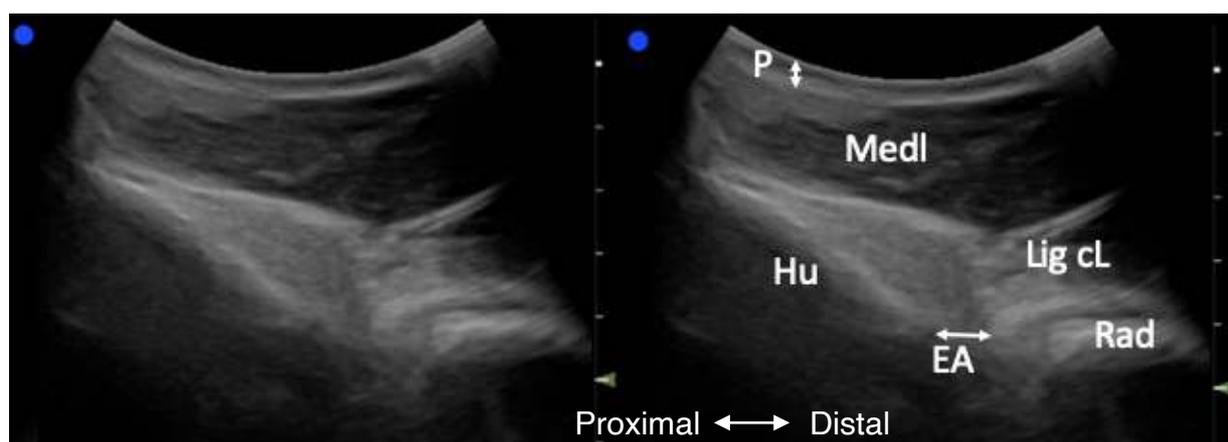


Figure 23 : Images échographiques de l'articulation saine du coude gauche en vue latérale  
(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde convexe, de fréquence 6 MHz et de profondeur 14 cm, sur une vache Blonde d'Aquitaine de 8 ans, ayant une pyélonéphrite. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Hu : humérus ; Rad : radius ; Medl : muscle extenseur du doigt médial ; Lig cL : petite partie du ligament collatéral latéral.*

### **3. Aspects échographiques pathologiques et principales applications sur le coude**

Le coude est le plus fréquemment affecté par les arthrites septiques, qu'elles soient d'origine hématogène ou traumatique.

Les échographies sont assez rares chez l'adulte, mais certaines ont été réalisées sur des veaux, montrant, *a minima*, une distension du récessus crânial (Kofler 2009; Kofler, Geissbühler, Steiner 2014; Borges et al. 2015).

Pour en connaître davantage sur ces arthrites, des études ont montré l'intérêt de l'arthrocentèse sur plusieurs articulations. Sur le coude, la manipulation est assez aisée en prenant comme repère le ligament collatéral latéral. Il faut donc se positionner crânialement à celui-ci si la zone est enflée. Si elle ne l'est pas, l'aiguille devra être placée dans l'angle que l'olécrâne forme avec l'épicondyle latéral de l'humérus, sur la face caudo-latérale (Desrochers, Francoz 2014).

#### **D. Discussion**

Tout d'abord, nous avons utilisé des repères assez similaires aux autres études, sauf pour le sillon interosseux qui n'est jamais cité. En plus, certains utilisent le condyle huméral pour délimiter l'aspect proximal de l'articulation (Kofler 2009; Borges et al. 2015).

L'anatomie de cette articulation complique aussi l'étude échographique. D'une part, sans coussinet de contact, il est difficile d'utiliser la sonde linéaire sur la vache adulte du fait de l'ossature. D'autre part, les structures facilement visualisables, comme le ligament collatéral latéral, peuvent être difficiles à visualiser dans leur intégralité sur une unique image. L'échographie dynamique présente ainsi un réel intérêt. Elle permet de suivre le trajet complet du ligament. Ensuite, la face caudale de l'articulation se trouve sous le récessus en avant de l'olécrâne. La surface de contact étant limitée à cet endroit, cela rend l'articulation difficilement atteignable. Par contre, elle peut être visualisée lors d'un gonflement. Enfin, même s'il est possible de trouver des images échographiques de la face médiale sur animaux morts ou en position non physiologique dans la littérature, il est difficile de la réaliser en pratique sur un animal vigile.

Concernant les structures visualisables, nous avons remarqué qu'elles étaient assez limitées sur le coude d'un animal adulte. Par exemple, (Kofler 2009) visualise le récessus crânial sur les veaux, qui est cependant pauvre en synovie chez l'adulte.

Pour finir, toutes nos échographies du coude ont été réalisées avec des sondes convexe et linéaire, avec une fréquence comprise entre 4,3 MHz et 7,5 MHz en fonction de la profondeur de l'animal. La bibliographie quant à elle évoque l'utilisation des sondes convexe, utilisée à 5 MHz et sonde linéaire à 7,5 MHz (Kofler 2009; Borges et al. 2015). Encore une fois, les veaux sont le plus souvent échographiés dans ces études, avec des profondeurs d'os moindres.

### **III. Articulations du carpe**

#### **A. Généralités sur l'articulation**

Les boiteries ayant pour origine l'articulation du carpe ont des répercussions directes sur la production laitière, et donc sur l'économie de l'exploitation. Pour autant, il est difficile de faire un diagnostic précis avec la clinique de l'animal (Hagag et al. 2022). C'est pourquoi l'échographie a un réel intérêt du fait de la précocité de son diagnostic, même si la conformation complexe de cette articulation limite la surface de contact.

Bien que les affections primaires soient assez rares contrairement aux chevaux (Kofler 2000), le carpe est une articulation très sollicitée, surtout à cause de la répétition du couché et du relevé de l'animal, ce qui le rend plus vulnérable aux affections secondaires et aux traumatismes (Theubet, Muggli, Nuss 2007).

Ces lésions les plus fréquentes sont souvent liées au décubitus prolongé de l'animal. Cette perte de la station debout peut être consécutive à des facteurs intrinsèques à l'animal, tels qu'une maladie métabolique ou orthopédique, de l'atonie ou encore une atrophie musculaire. Elle peut aussi survenir lorsque l'environnement n'est pas favorable, que la litière est en quantité insuffisante ou si le revêtement du sol n'est pas de bonne qualité.

Deux conséquences sont possibles. La première est due à une pression importante et prolongée sur l'aspect dorsal du carpe. Ce traumatisme chronique peut induire une inflammation de plusieurs structures de la région dorsale du carpe comme une ténosynovite aseptique du tendon du muscle extenseur radial du carpe ou un hygroma carpien (accumulation de liquide sous-cutané) pouvant être responsable d'une inflammation de la bourse précarpienne. La deuxième conséquence est l'ulcération de la zone d'appui lors du décubitus (sur le carpe, le tarse et le grasset). Cela va constituer une porte d'entrée aux germes et peut ainsi provoquer une arthrite septique (Kofler 2009; 2000; Theubet, Muggli, Nuss 2007).

Des lésions tertiaires peuvent enfin être présentes, lors de la dissémination par voie hématogène dans les articulations carpiennes ou dans les gaines tendineuses.

## **B. Anatomie articulaire**

Le carpe est une structure complexe, composée de trois niveaux d'articulation, dans lesquelles se trouvent l'**articulation antébrachio-carpienne**, unissant l'avant-bras (radius / ulna) à la première rangée des os carpiens, des articulations intrinsèques au carpe qui sont les **articulations inter-carpiennes** au sein de chaque rangée et l'**articulation médio-carpienne** entre les deux rangées du carpe. Enfin, l'articulation carpo-métacarpienne, permet d'unir la dernière rangée du carpe avec l'os métacarpien (Unité d'Anatomie de l'E.N.V.A. 2016).

Toutes ces articulations sont liées par des moyens d'union propres que sont les **ligaments (collatéraux, dorsaux, inter-osseux et palmaires)** et partagent la même **capsule articulaire fibreuse**. Mis à part les inter-carpiennes, chacune de ces articulations possède pourtant leur propre synoviale, mis à part la médio-carpienne qui communique avec la synoviale carpo-métacarpienne.

L'articulation antébrachio-carpienne met en contact la surface articulaire antébrachiale, qui se compose essentiellement du radius, ainsi que la surface articulaire des os carpiens de la rangée proximale. Ce contact est permis par des cavités glénoïdales ainsi que des condyles. Sa synoviale est vaste et comprend un récessus volumineux à l'abord de l'os accessoire.

Pour immobiliser les os carpiens entre eux, les articulations inter-carpiennes sont présentes dans chaque rangée et les articulations médio-carpiennes relient ces deux rangées par des condyles et des petites cavités glénoïdales. La synoviale associée communique avec la synoviale carpo-métacarpienne sur la partie dorsale de l'espace interosseux, laissant apparaître un petit récessus superficiel.

Enfin, les articulations carpo-métacarpiennes mettent en contact des surfaces articulaires planiformes entre les os de la rangée distale du carpe et l'os métacarpien III + IV.

L'unité du carpe est réalisée par les **ligaments collatéraux** qui traversent toute la région du carpe, du radius au métacarpe. Le latéral (ou ulnaire) est plus fin que le médial (ou radial) qui est très épais et tapisse toute la partie médiale de la région carpienne. Entre eux, une vaste membrane couvre la totalité de la face dorsale, laissant passer les tendons du muscle extenseur du doigt médial et de l'extenseur commun des doigts.

Ensuite, de multiples tendons renforcent la solidité de l'articulation. Sur la face dorsale, nous trouvons les tendons du muscle extenseur radial du carpe et de l'extenseur commun des doigts. Sur le bord radial, se situent les tendons du muscle extenseur oblique du carpe ainsi que du muscle fléchisseur radial du carpe. Sur le bord ulnaire, se trouve le tendon du muscle extenseur du doigt latéral, proche du tendon du muscle ulnaire latéral.

Enfin, sur la face palmaire, les moyens d'union sont le **ligament commun palmaire** qui se termine en **bride carpienne** et les **ligaments propres** (entre l'avant-bras et chaque os carpal de la rangée proximale). Ces derniers sont complétés par le canal carpien, formé par l'os accessoire et la bride carpienne dans laquelle passent les tendons du muscle fléchisseur profond des doigts et du fléchisseur superficiel des doigts (Budras, Habel 2011; Barone 2020).

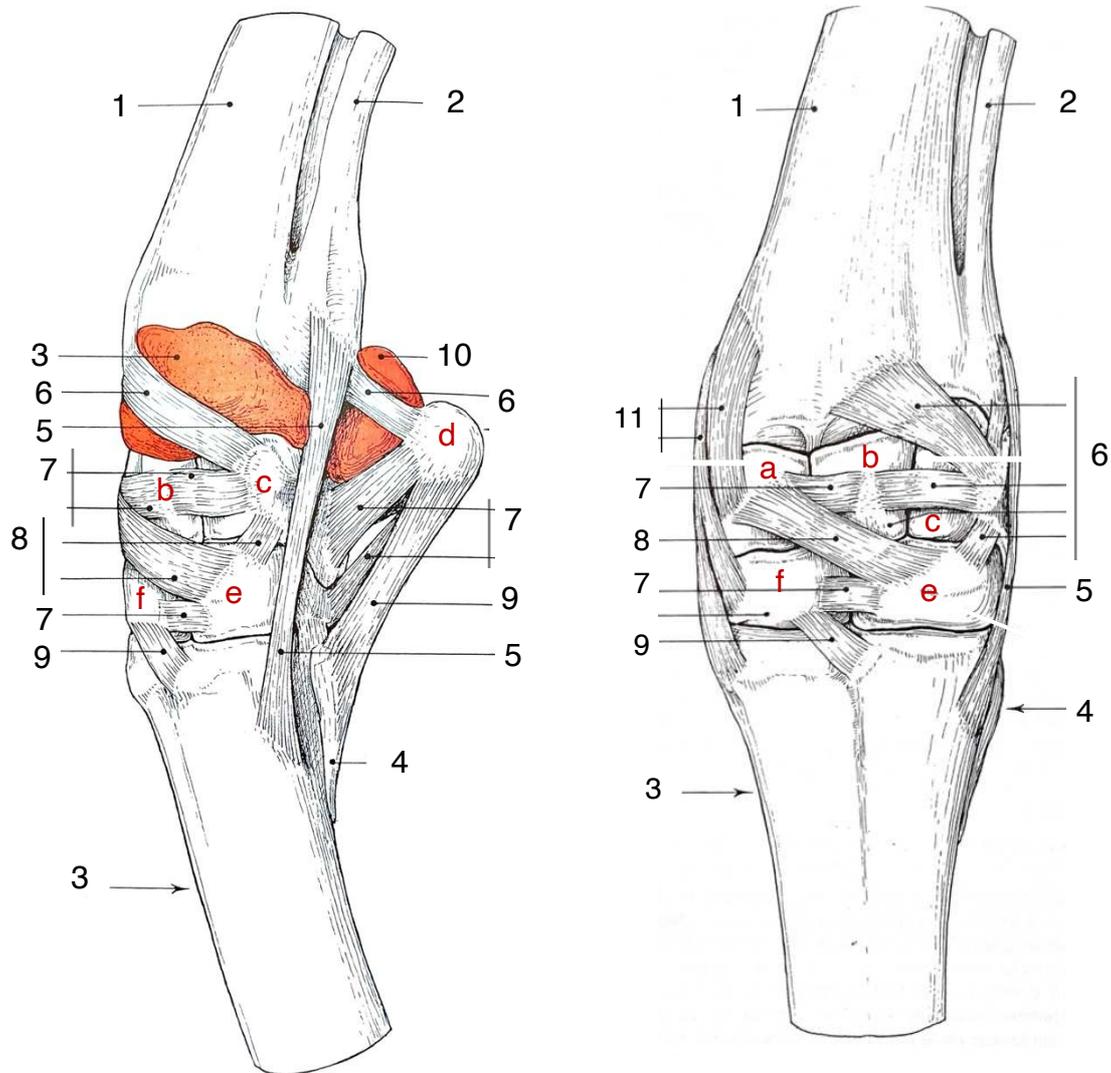


Figure 24 : Schémas des articulations du carpe, avec les ligaments et synoviales, en vue latérale et dorsale (d'après (Barone 2020))

1 : radius, 2 : ulna, 3 : os métacarpien III + IV, 4 : os métacarpien rudimentaire, 3 : récessus dorsal de la synoviale antébrachio-carpienne, 5 : ligament collatéral ulnaire, 6 : ligaments radio-carpiens dorsaux, 7 : ligaments interosseux dorsaux, 8 : ligaments médio-carpiens dorsaux, 9 : ligaments carpo-métacarpiens dorsaux, 10 : récessus palmaire de la synoviale antébrachio-carpienne, 11 : deux branches du ligament collatéral radial, a : os radial (scaphoïde), b : os intermédiaire (semi-lunaire), c : os ulnaire (pyramidal), d : os accessoire (pisiforme), e : os carpal IV (crochu, hamatum), f : os carpal II + III (capito-trapézoïde).

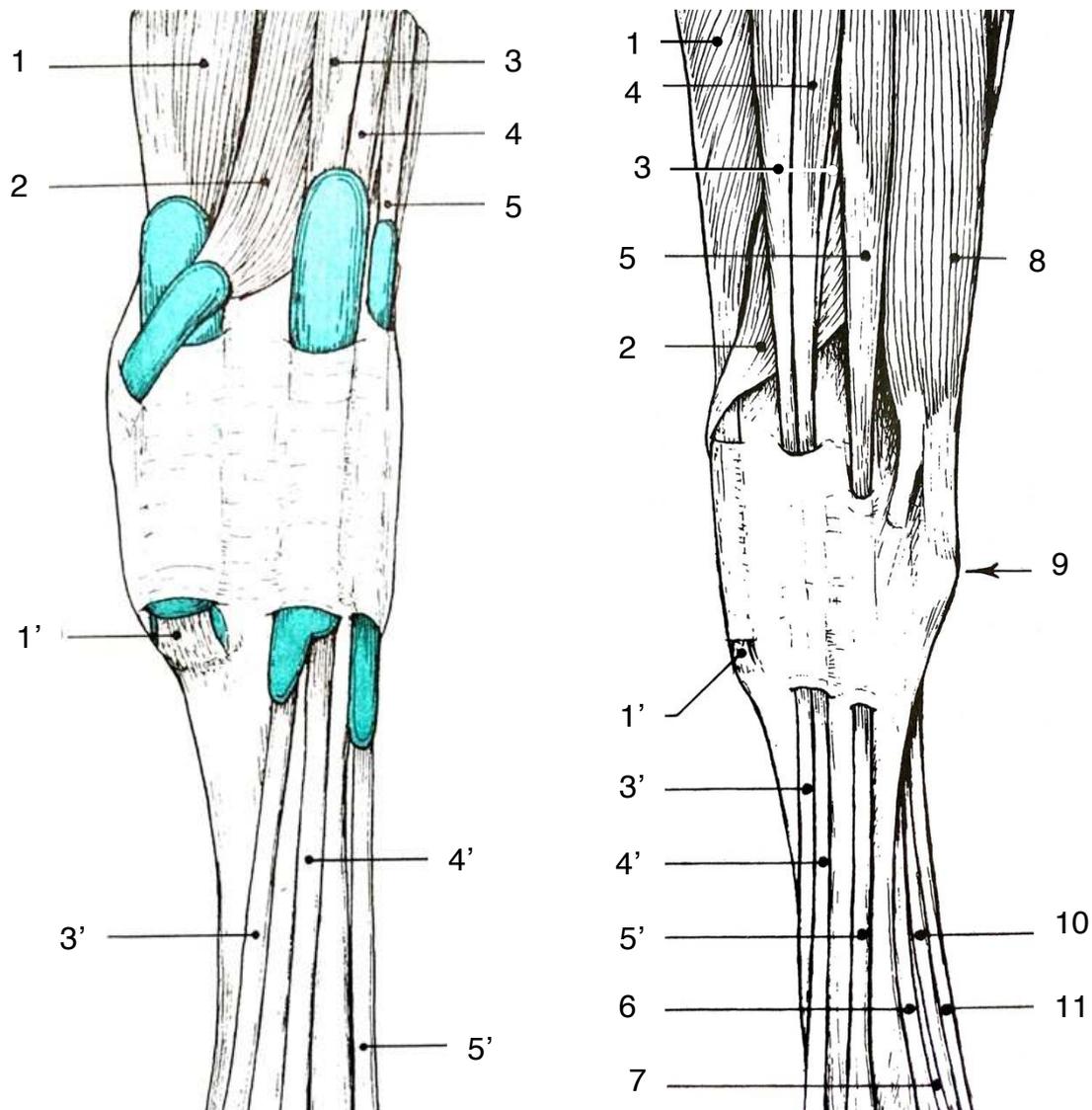


Figure 25 : Schémas de l'articulation du carpe, avec les synoviales et gaines tendineuses en vue dorsale et avec les muscles et tendons en vue latérale (d'après (Barone 2020))

1 : muscle extenseur radial du carpe et la terminaison de son tendon avec sa bourse tendineuse (1'),  
 2 : muscle extenseur oblique du carpe, 3 : muscle extenseur du doigt médial et son tendon (3'),  
 4 : muscle extenseur commun des doigts et son tendon (4'), 5 : muscle extenseur du doigt latéral et son tendon (5'),  
 6 : muscle interosseux, 7 : ligament accessoire (bride carpienne), 8 : muscle ulnaire latéral,  
 9 : saillie de l'os accessoire, 10 : tendon perforant, 11 : tendon perforé.

## C. Techniques échographiques

### 1. Repères anatomiques, sondes et coupes

Le **récessus synovial** de l'articulation antébrachio-carpienne nous permet de faire la délimitation haute de l'articulation sur les faces dorsale et palmaire. De l'extérieur, nous repérons les différentes couches articulaires à l'aide des dépressions créées par chaque articulation. Nous pouvons donc différencier les trois rangées articulaires, entourées de deux **ligaments collatéraux** (un latéral et un médial).

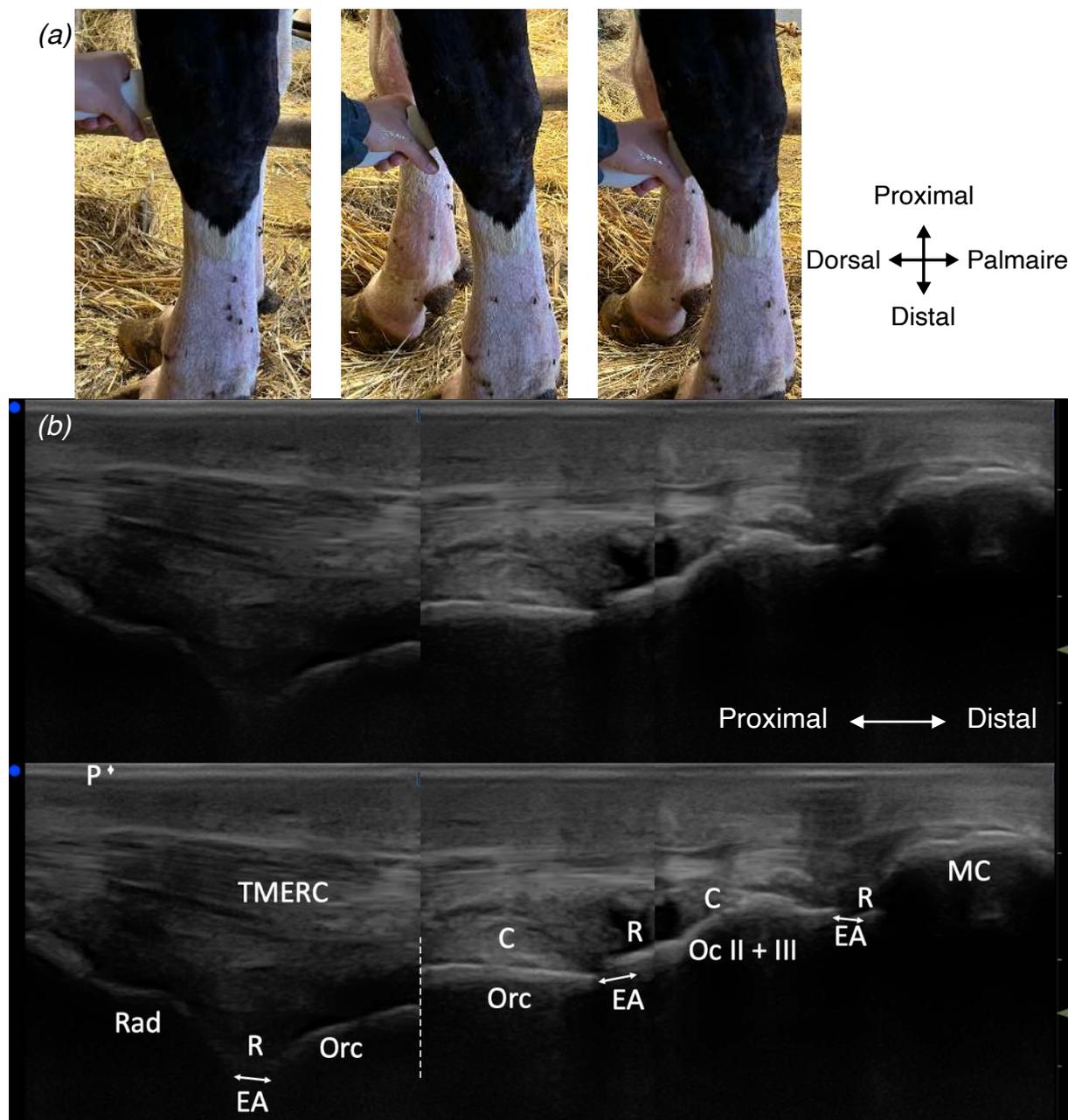
Il est possible d'utiliser les trois types de sondes (linéaire, convexe, tendon), bien que nous ayons choisi d'exposer uniquement les images réalisées avec la sonde tendon pour plus de lisibilité, à une fréquence de 15 MHz pour une profondeur de 5 cm. Elle constitue un choix préférentiel en raison de sa petite taille. Le contact était difficile à obtenir avec la sonde linéaire classique. La sonde convexe est également utilisée sur cette articulation, à une fréquence de 6,6 MHz pour 6 à 7 cm de profondeur, bien que les images obtenues soient de moins bonne qualité.

Enfin, nous avons majoritairement échographié la zone en coupe longitudinale afin d'observer plus aisément les multiples espaces articulaires. Pourtant, il est possible d'utiliser la coupe transversale pour vérifier l'intégrité des tendons environnants.

### 2. Aspects échographiques physiologiques du carpe

Tout d'abord, en face dorsale, en se posant sur le récessus, et en descendant distalement sur l'articulation, nous pouvons suivre le trajet de la gaine tendineuse du **tendon du muscle extenseur radial du carpe**. Ainsi, en associant trois images échographiques, nous obtenons les trois rangées de la face dorsale. Le **récessus dorsal** est visible au-dessus de la première articulation, sous la capsule renforcée que l'on voit au-dessus des surfaces articulaires tout le long du carpe. Nous nous trouvons ici légèrement sur le côté médial de la face dorsale, ce qui explique la visualisation de l'os carpien radial du carpe et de l'os carpal II + III en dessous du tendon du muscle

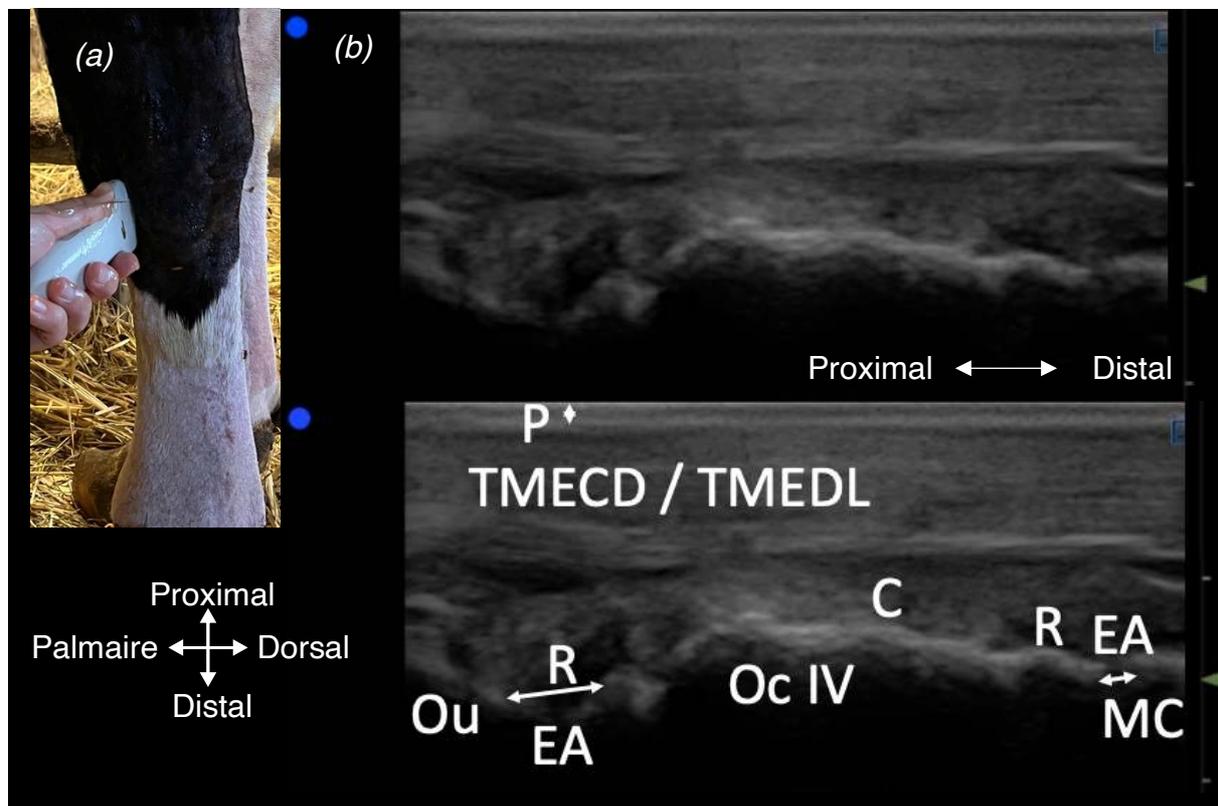
extenseur radial du carpe. Enfin, la terminaison de celui-ci est visible sur la face dorso-médiale du métacarpe distal.



Photographie 7 : (a) Emplacements de la sonde sur la face dorsale du carpe gauche  
Figure 26 : (b) Images échographiques de l'articulation saine du carpe gauche (articulations  
antébrachio-carpienne, intercarpienne, carpo-métacarpienne) en vue dorsale  
 (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence dorso-palmaire, coupe longitudinale avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Hosltein de 7 ans, opérée d'un déplacement de caillette. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; C : capsule ; R : récessus ; Rad : radius ; Orc : os radial du carpe ; Oc II+III : os carpal II + III, MC : métacarpe ; TMERC : tendon du muscle extenseur radial du carpe ; ligne pointillés : délimitation du même os avec un positionnement de sonde légèrement différent.*

En se déplaçant légèrement sur la face latérale, nous arrivons sur les tendons des muscles extenseurs du doigt latéral et commun des doigts qui sont très proches. Ici, le renforcement de la capsule est encore présent au-dessus des surfaces articulaires.

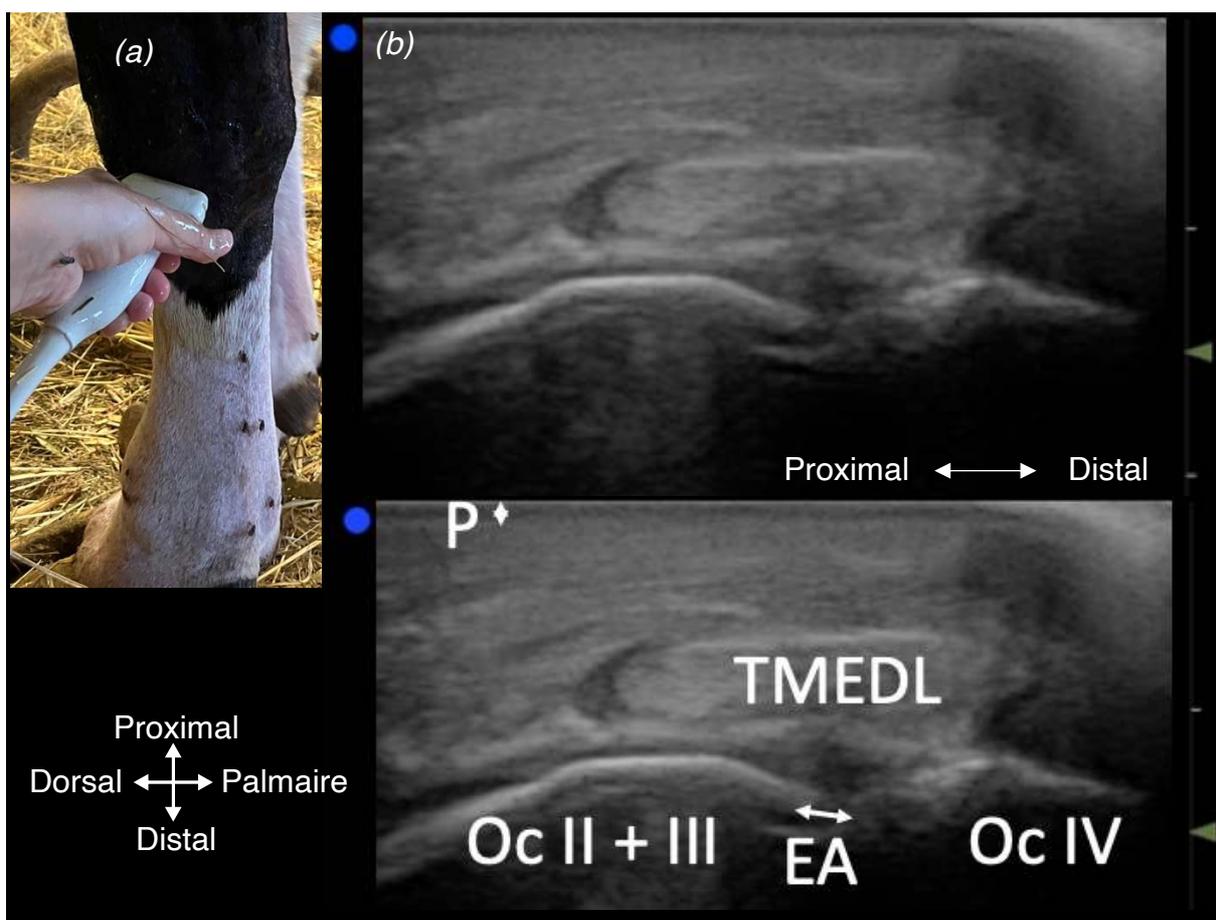


Photographie 8 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latéro-dorsale de l'articulation du carpe gauche, coupe longitudinale

Figure 27 : (b) Images échographiques des articulations saines médio-carpienne et carpo-métacarpienne gauches vue latéro-dorsale, coupe longitudinale  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de caillette. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; R : récessus ; C : capsule ; Ou : os carpien ulnaire ; Oc IV : os carpal IV ; MC : métacarpe ; TMEDL : tendon du muscle extenseur du doigt latéral ; TMECD : tendon du muscle extenseur commun des doigts.*

Une coupe transversale de la zone peut être effectuée afin de vérifier l'intégrité des tendons cités précédemment. Ici, nous avons réalisé une coupe transversale en se plaçant distalement à la dernière position présentée, pour voir l'espace articulaire inter-carpien entre l'os carpal II+III et l'os carpal IV. En coupe, nous identifions une forme ovoïde correspondant au tendon. Il est difficile de dire s'il s'agit de l'extenseur du doigt latéral ou de l'extenseur commun des doigts du fait de la grande proximité avec ces deux tendons et à l'image statique. Lors de l'examen dynamique en revanche, il est possible de faire cette distinction.



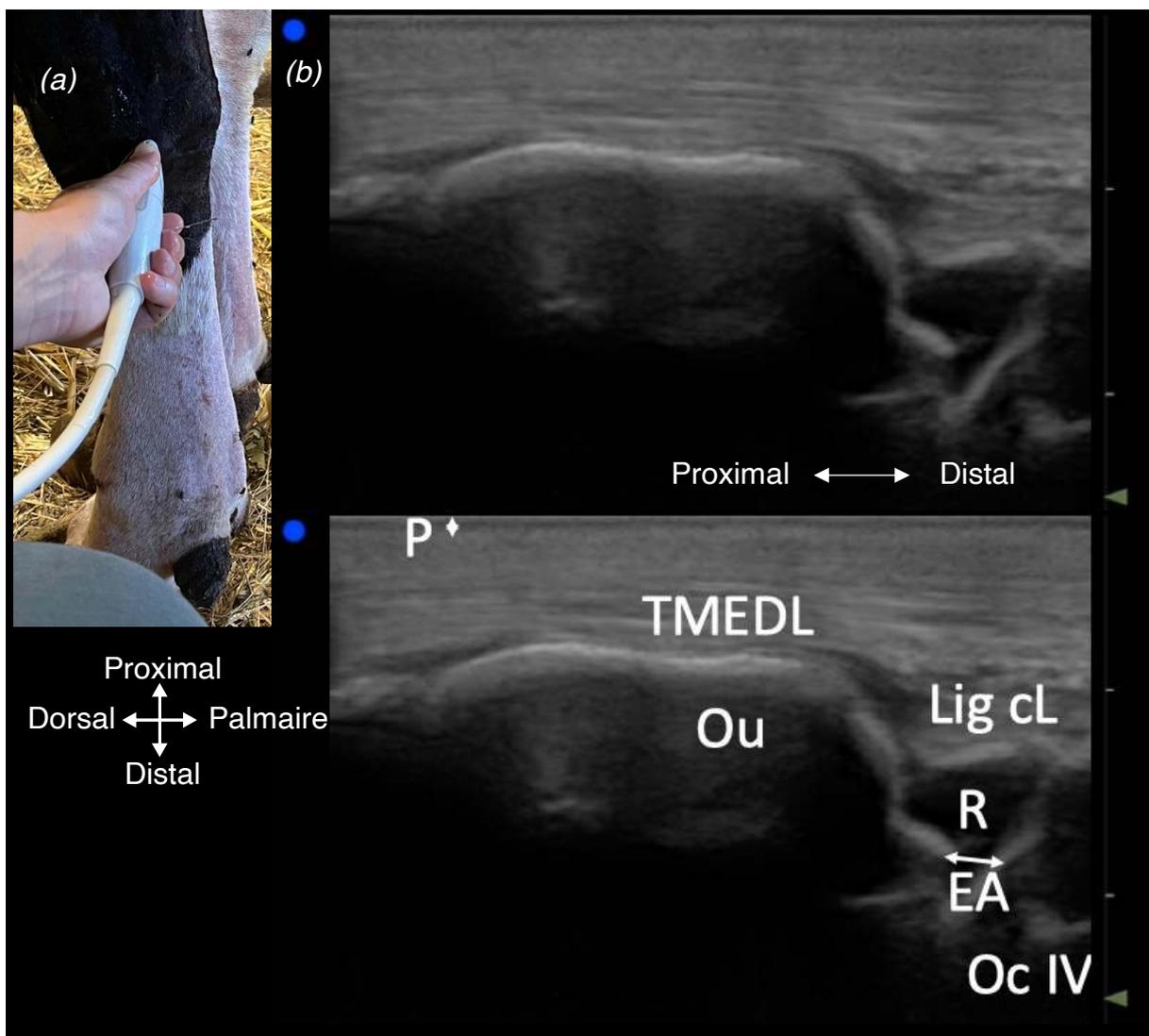
Photographie 9 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latéro-dorsale de l'articulation du carpe gauche, coupe transversale

Figure 28 : (b) Images échographiques de l'articulation saine inter-carpienne gauche vue latéro-dorsale, coupe transversale

(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence latéro-médiale, coupe transversale avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de caillette. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Oc II + III : os carpal II + III ; Oc IV : os carpal IV ; TMEDL : tendon du muscle extenseur du doigt latéral.*

En restant sur la face latérale de cette seconde rangée, et en se déplaçant vers le côté palmaire, nous apercevons une partie du ligament collatéral latéral. Celui-ci est également mieux identifié à l'examen dynamique.



Photographie 10 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latéro-palmaire de l'articulation du carpe gauche, coupe longitudinale

Figure 29 : (b) Images échographiques de l'articulation saine médio-carpienne gauche vue latéro-palmaire, coupe longitudinale

(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de caillette. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; R : récessus ; Ou : os carpien ulnaire ; Oc IV : os carpal IV ; TMEDL : tendon du muscle extenseur du doigt latéral ; Lig cL : ligament collatéral latéral.*

### **3. Aspects échographiques pathologiques et principales applications sur le carpe**

Durant notre étude, nous avons eu l'occasion d'échographier une vache hospitalisée à l'E.N.V.T. présentant un gonflement poly-articulaire. Sur l'image qui suit, nous voyons en effet du liquide, d'apparence anéchogène, en quantité importante autour des tendons. Le récessus que l'on voyait surplomber uniquement l'espace articulaire est maintenant distendu avec des particules de fibrine échogènes flottant dans ce liquide. La capsule entourant le récessus est également épaissie. Il s'agit donc d'une arthrite séro-fibrineuse du carpe, probablement due à la difficulté de l'animal à se lever.

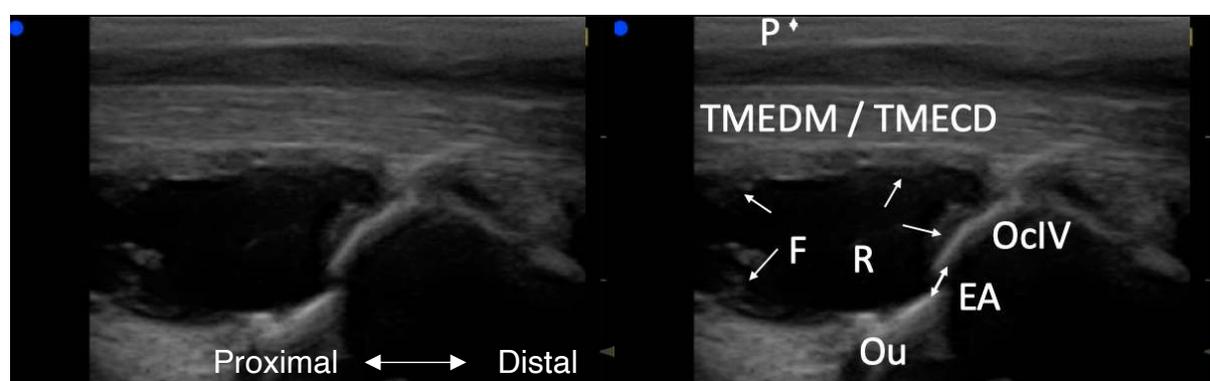


Figure 30 : Images échographiques de l'articulation saine médio-carpienne gauche vue latéro-dorsale, coupe longitudinale

(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence latéro-dorsale, coupe longitudinale avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de caillette avec atteinte poly-articulaire. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; R : récessus ; Ou : os ulnaire ; Oc IV : os carpal IV ; TMEDM : tendon du muscle extenseur du doigt médial ; TMECD : tendon du muscle extenseur commun des doigts ; F : flammèches de fibrine dans le récessus, localisées par des flèches.*

J. Kofler décrit dans son article (Kofler 2009) l'importance de l'échographie dans l'appréciation de la nature de telles effusions. En effet, en fonction de l'échogénéité, le liquide peut être qualifié de séreux (anéchogène) ou cellulaire (échogène à hyperéchogène en fonction de la densité des particules). De plus, il montre l'intérêt de l'échographie dans l'arthrocentèse, pour localiser avec exactitude les distensions synoviales ainsi que la profondeur à laquelle l'aiguille doit être insérée. L'arthrocentèse est ensuite très facilement réalisable et peut se faire sur l'articulation antébrachio-

carpienne, dans laquelle l'aiguille est située latéralement ou médialement au tendon extenseur radial du carpe. Elle peut aussi être réalisée sur les articulations médio-carpienne et carpo-métacarpienne où les deux cavités communiquent. Sur la première, l'insertion se fait latéralement ou médialement au tendon extenseur commun des doigts. Sur la deuxième, elle se fait généralement médialement au tendon extenseur du doigt latéral (Desrochers, Francoz 2014).

## **D. Discussion**

Le carpe est une région anatomique complexe avec des reliefs importants ce qui ne nous permet pas d'utiliser la sonde linéaire traditionnelle de manière optimale. Si l'opérateur était muni d'un coussinet de contact, cela permet d'avoir une meilleure image (Kofler 2000). La sonde convexe est donc plus adaptée à cette zone même si elle n'empêche pas les mauvais contacts et ses artefacts associés. Enfin, la sonde tendon quant à elle, permet un bon contact avec la zone et une précision importante grâce à sa fréquence élevée.

Ensuite, nous avons réalisé quelques images en vue médiale mais ces dernières sont peu interprétables. La surface de contact était effectivement difficile à avoir au vu de l'anatomie donnant une forme irrégulière et de la gaine palmaire qui rend la structure très rigide. En revanche, lors de l'examen dynamique, il est possible d'évaluer le ligament collatéral médial, très épais.

En termes de coupe, nos recommandations sont identiques à la littérature. En effet, il est aussi conseillé de faire une coupe transversale pour vérifier l'intégrité des tendons et longitudinale pour le reste de l'articulation (Kofler 2000).

## **IV. Articulations métacarpo-phalangienne et métatarso-phalangienne (boulet)**

La structure ainsi que les particularités des boulets et des articulations inter-phalangiennes (main / pied) du membre thoracique et pelvien sont très similaires. Ainsi, ils ont été étudiés et exposés ensemble.

### **A. Généralités du boulet**

Les anomalies de l'articulation métacarpo- ou métatarso-phalangienne sont assez rares chez les bovins en raison de la protection de l'articulation, d'une part par la capsule articulaire épaisse et d'autre part par la richesse des tendons et de leurs gaines du côté dorsal que palmaire / plantaire (Grasmuck 2010). Les vaches les plus exposées à ces affections sont les vaches laitières logeant sur des sols glissants, les animaux en lot intensif d'engraissement ou entravés (Anderson, Desrochers, St. Jean 2008).

Une lésion du boulet se traduit quasi-automatiquement par un gonflement focal de l'articulation, par une boiterie et de la douleur. Elle peut être d'origine infectieuse ou traumatique. L'origine infectieuse est assez rare et provoque le plus communément une arthrite septique à partir d'une effraction de la sole. Les traumatismes peuvent être dus à des glissades ou encore des bagarres entre congénères, et peuvent ainsi conduire à une entorse. Toutes les affections tendineuses, septiques, ou aseptiques telles que les ténosynovites sont également possibles en raison de la grande abondance des tendons (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014; Anderson, Desrochers, St. Jean 2008; Grasmuck 2010).

## **B. Anatomie articulaire**

Afin de faciliter la compréhension, les os du métacarpe et du métatarse seront tous deux nommés « canon » pour cette prochaine partie.

Dans sa partie distale, le canon se sépare en deux, permettant de se lier aux doigts III et IV. Chacune de ces parties est constituée de deux articulations, **métacarpo-phalangienne** et **sésamoïdo-métacarpienne**.

Pour chaque doigt, le canon est relié à la première phalange à l'aide de deux **condyles articulaires** à son extrémité. Sur la face palmaire, chaque partie du canon est mise en relation avec deux os grand sésamoïdes par de petites **cavités glénoïdales**.

Ces deux articulations sont maintenues par une **épaisse capsule articulaire** ainsi que de nombreux **ligaments** très puissants chez les Ongulés.

Les moyens d'union spécifiques avec les os grands sésamoïdes vont être les ligaments qui les unissent entre eux et avec le canon. Parmi eux, chaque doigt aura deux **ligaments propres inter-sésamoïdiens**, ou **ligaments palmaires**, qui maintiennent les os sésamoïdes de chaque doigt et un ligament interdigital qui met en relation les os sésamoïdes des deux phalanges. Le tout tapisse la face palmaire de l'articulation sous la forme d'un **scutum proximal** permettant de faire coulisser les tendons fléchisseurs des doigts. Pour chaque phalange, nous trouvons ensuite des **ligaments sésamoïdes collatéraux** (un médial et un latéral) ainsi que distaux sur la face palmaire.

Des **ligaments collatéraux** ainsi qu'un renforcement dorsal de la capsule articulaire permettent ensuite de relier l'ensemble sésamoïdo-phalangien de chaque doigt au canon.

Les moyens d'union complémentaires sont les **muscles interosseux** ainsi que les **tendons extenseurs** en face dorsale et **fléchisseurs des doigts** en face palmaire.

Une seule synoviale est présente pour chaque articulation métacarpo/tarso-phalangienne qui communique du côté palmaire. Celle-ci est maintenue par les ligaments collatéraux et s'étend en deux récessus. Le récessus dorsal est assez peu développé comparé au **récessus palmaire** qui est très vaste chez les ruminants (Barone 2020).

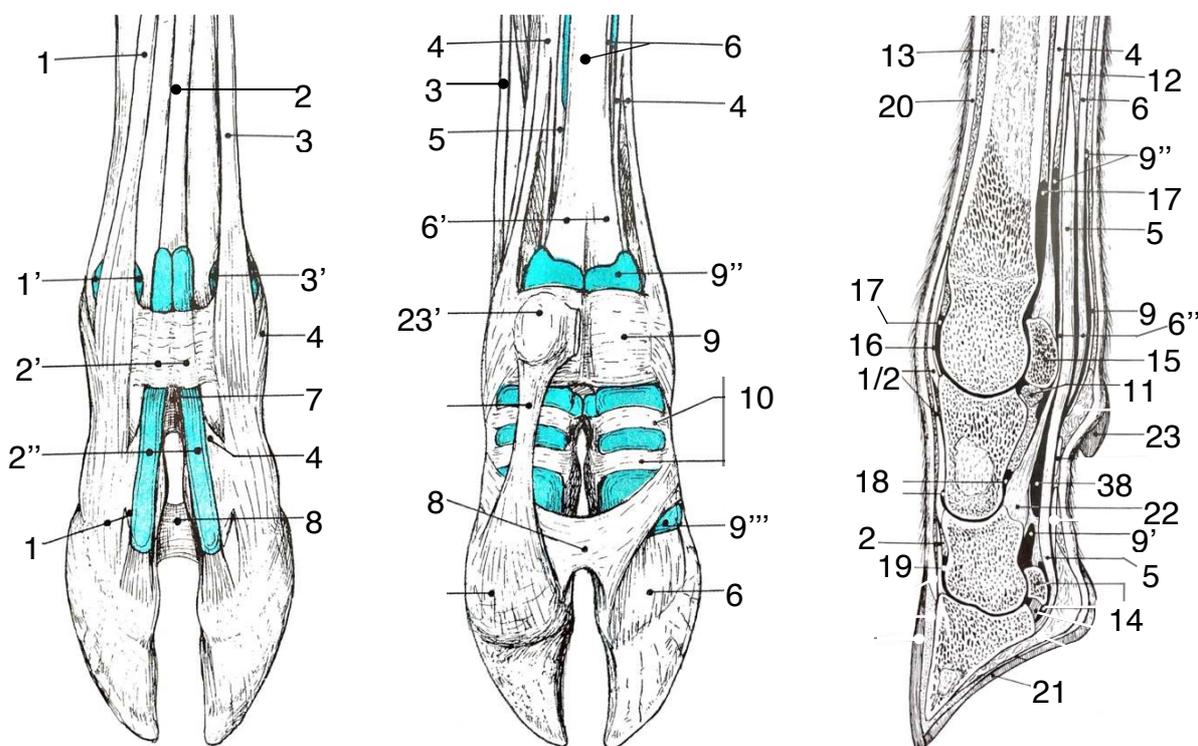


Figure 31 : Schémas simplifiés des gaines tendineuses et synoviales des articulations de la main : métacarpo-phalangienne et inter-phalangiennes ainsi que d'une coupe sagittale de main (d'après (Barone 2020))

1 : tendon du muscle extenseur du doigt médial et sa bourse sub-tendineuse (1'), 2 : tendon du muscle extenseur commun des doigts, sa gaine tendineuse (2') et sa synoviale (2''), 3 : tendon du muscle extenseur du doigt latéral et sa bourse sub-tendineuse (3'), 4 : muscle interosseux, 5 : tendon perforant, 6 : deux parties (superficielle et profonde) du tendon perforé se divisant en deux branches (6'), passant dans l'anneau du tendon perforé ou manica flexoria (6''), 7 : ligament interdigital proximal, 8 : ligament interdigital distal, 9 : gaine digitale (ligament annulaire palmaire), avec les récessus palmaires (9') de sa synoviale proximal (9'') et distal (9'''), 10 : ligament annulaire digital proximal et distal, 11 : ligaments sésamoïdes distaux, 12 : bride carpienne, 13 : os métacarpien, 14 : os petit sésamoïde, 15 : os grand sésamoïde, 16 : capsule articulaire métacarpo-phalangienne, 17 : récessus de la synoviale métacarpo-phalangienne, 18 : synoviale de l'articulation inter-phalangienne (récessus palmaire et dorsal), 19 : récessus dorsal de la synoviale articulaire du pied, 20 : peau, 21 : sole du pied, 22 : bourrelet glénoïdal, 23 : ergot et son coussinet (23').

## **C. Techniques échographiques**

### **1. Repères anatomiques, sondes et coupes**

Les **ergots** se situent juste en dessous des os sésamoïdes. De ce fait, nous avons pris appui sur ces derniers pour délimiter l'articulation en vue palmaire. En vue dorsale, nous pouvons sentir la dépression créée par le **récessus dorsal** de la synoviale métacarpo-phalangienne.

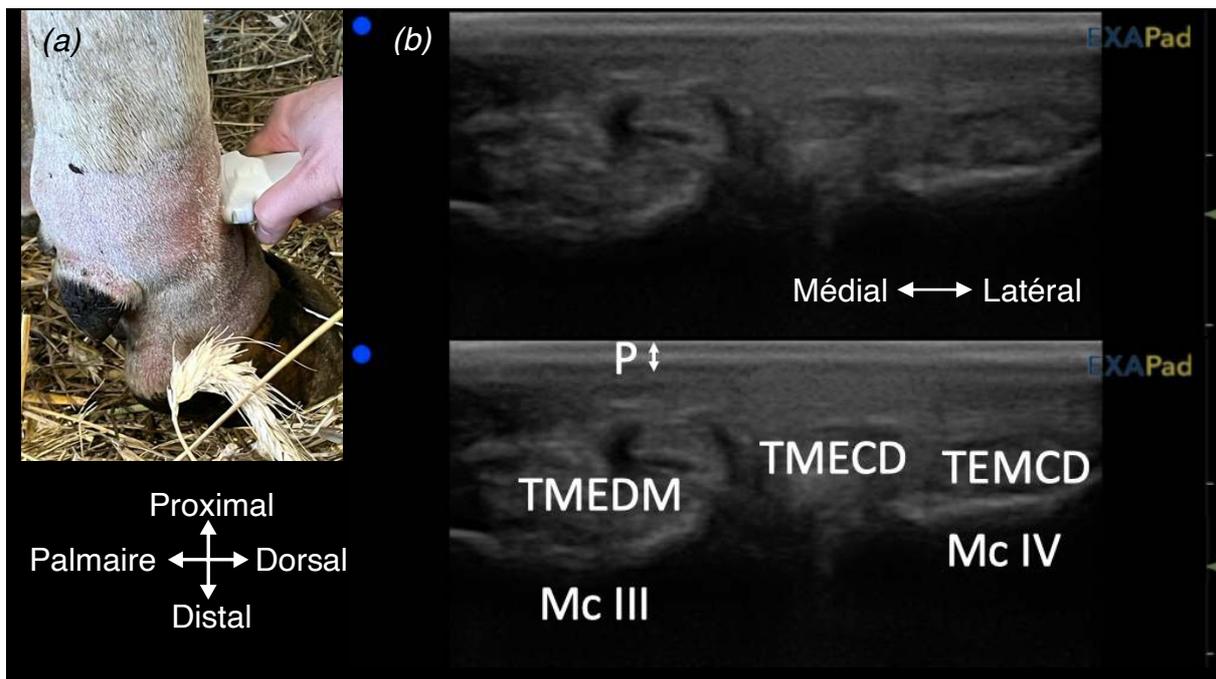
Il est possible d'utiliser les trois sondes (linéaire, convexe, tendon) pour visualiser toutes les structures de l'articulation du boulet. Pour des raisons de lisibilité, comme pour l'articulation du carpe, nous avons choisi de n'exposer que les images réalisées en sonde tendon à 15 MHz pour une profondeur de 5 cm. Il est cependant possible d'utiliser la sonde linéaire classique à 7,5 MHz ou la sonde convexe à 6 MHz pour des profondeurs ne dépassant pas 10 cm pour optimiser la focalisation.

Le boulet est une articulation riche en tendons. Pour les évaluer, il est donc nécessaire de faire une coupe transversale, en vue palmaire et dorsale. Pour le reste de l'articulation, la coupe longitudinale est à privilégier pour visualiser l'espace articulaire.

### **2. Aspects échographiques physiologiques du boulet**

D'abord, si l'on regarde la face dorsale du boulet, nous pouvons voir les tendons se divisant sur les deux doigts. Les coupes longitudinale et transversale sont possibles, mais l'évaluation des tendons nous dirige davantage vers une coupe transversale. Ainsi, nous évaluons les tendons de la vue dorsale, proximement à l'articulation, tel que le tendon du muscle commun des doigts, qui commence sa séparation pour aller vers les deux doigts, entouré des tendons des muscles

extenseurs du doigt médial et latéral (ce dernier n'est pas visible sur cette prochaine image, mais est visible en bougeant la sonde latéralement).



Photographie 11 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation métacarpo-phalangienne droite

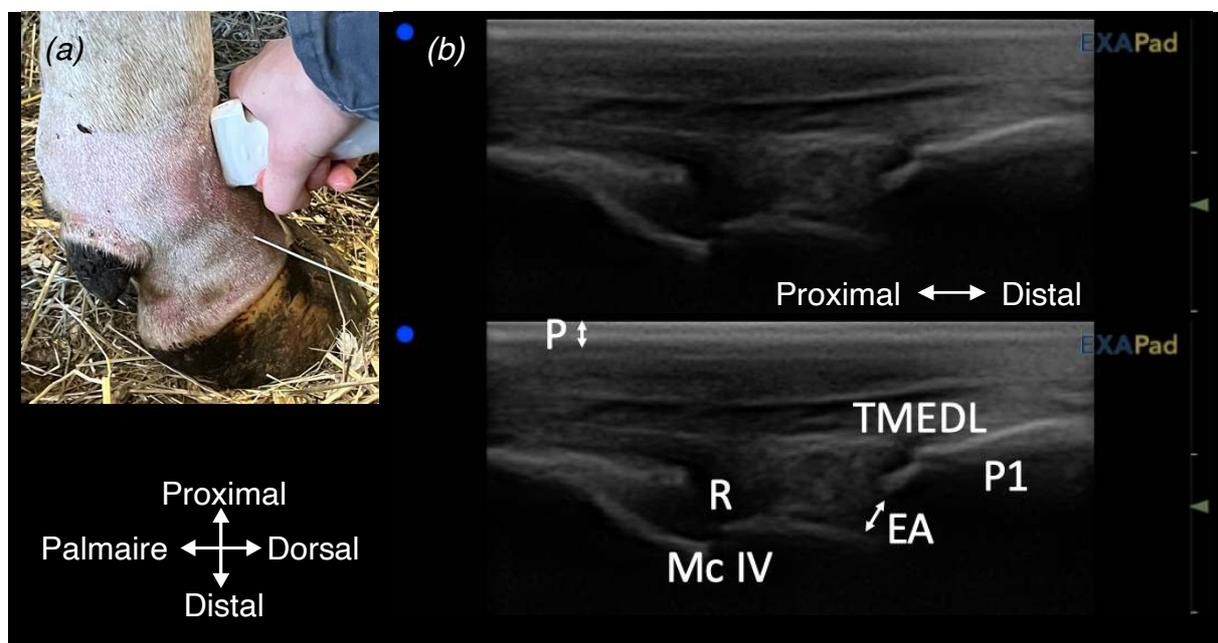
Figure 32 : (b) Images échographiques de l'articulation métacarpo-phalangienne droite saine en vue dorsale

(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence dorso-palmaire, coupe transversale avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 5 ans, ayant un carcinome épidermoïde. P : peau et tissu conjonctif ; Mc III : os métacarpien III (médial) ; Mc IV : os métacarpien IV (latéral) ; TMEDM : tendon du muscle extenseur du doigt médial ; TMECD : tendon du muscle extenseur commun des doigts en début de séparation.*

Nous faisons par la suite pivoter la sonde dans l'axe parallèle du membre pour réaliser une coupe longitudinale, en nous positionnant sur l'un des doigts. Dans notre cas, nous nous sommes légèrement décalées latéralement pour se positionner sur le tendon du muscle extenseur du doigt latéral afin de visualiser l'articulation en dessous. Il est possible d'observer le tendon du muscle extenseur du doigt médial en faisant la même manipulation médialement.

Il faut faire attention à ne pas prendre la forme du condyle pour un espace articulaire. En effet, le récessus s'étend sur toute la partie distale du métacarpe IV et est identifié sur l'image ci-dessous (Figure 33) par une fine bande anéchogène longeant la surface osseuse, et vient jusqu'à ce condyle.



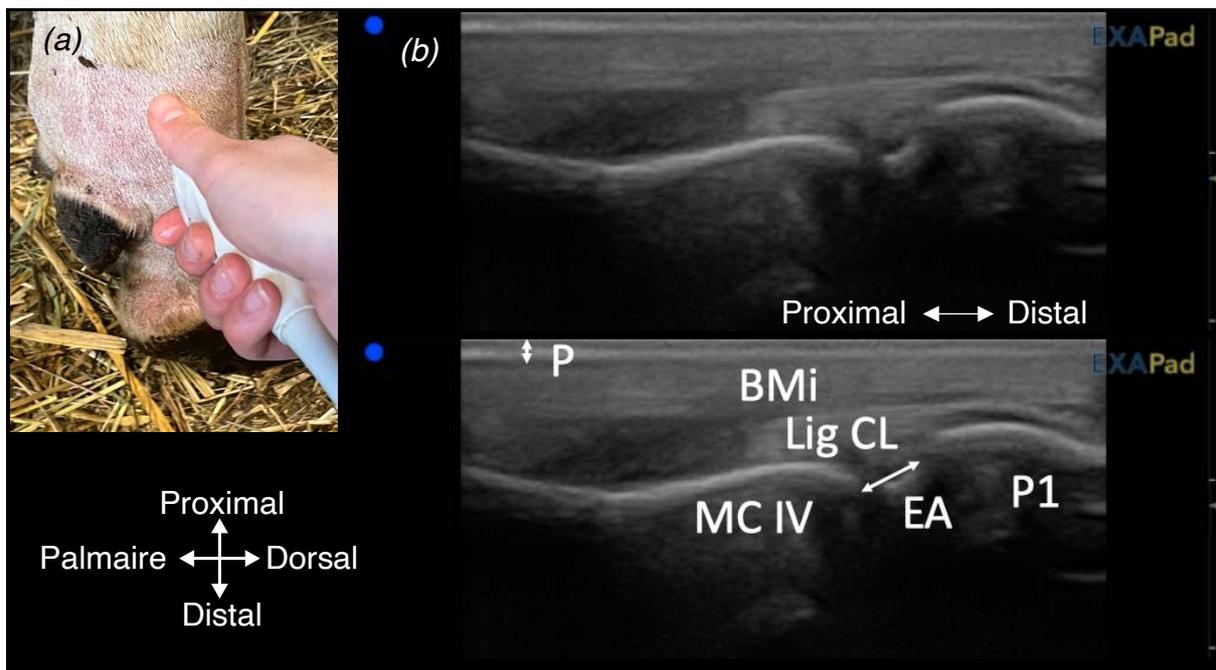
Photographie 12 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation métacarpo-phalangienne droite (sur le doigt latéral)

Figure 33 : (b) Images échographiques de l'articulation métacarpo-phalangienne droite saine en vue dorsale

(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence dorso-palmaire, coupe longitudinale avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 5 ans ayant un carcinome épidermoïde. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; R : récessus ; Mc IV : os métacarpien IV (latéral) ; P1 : phalange proximale ; TMEDL : tendon du muscle extenseur du doigt latéral.*

Ensuite, sur la vue latérale nous voyons le ligament collatéral, au-dessus de l'espace articulaire.



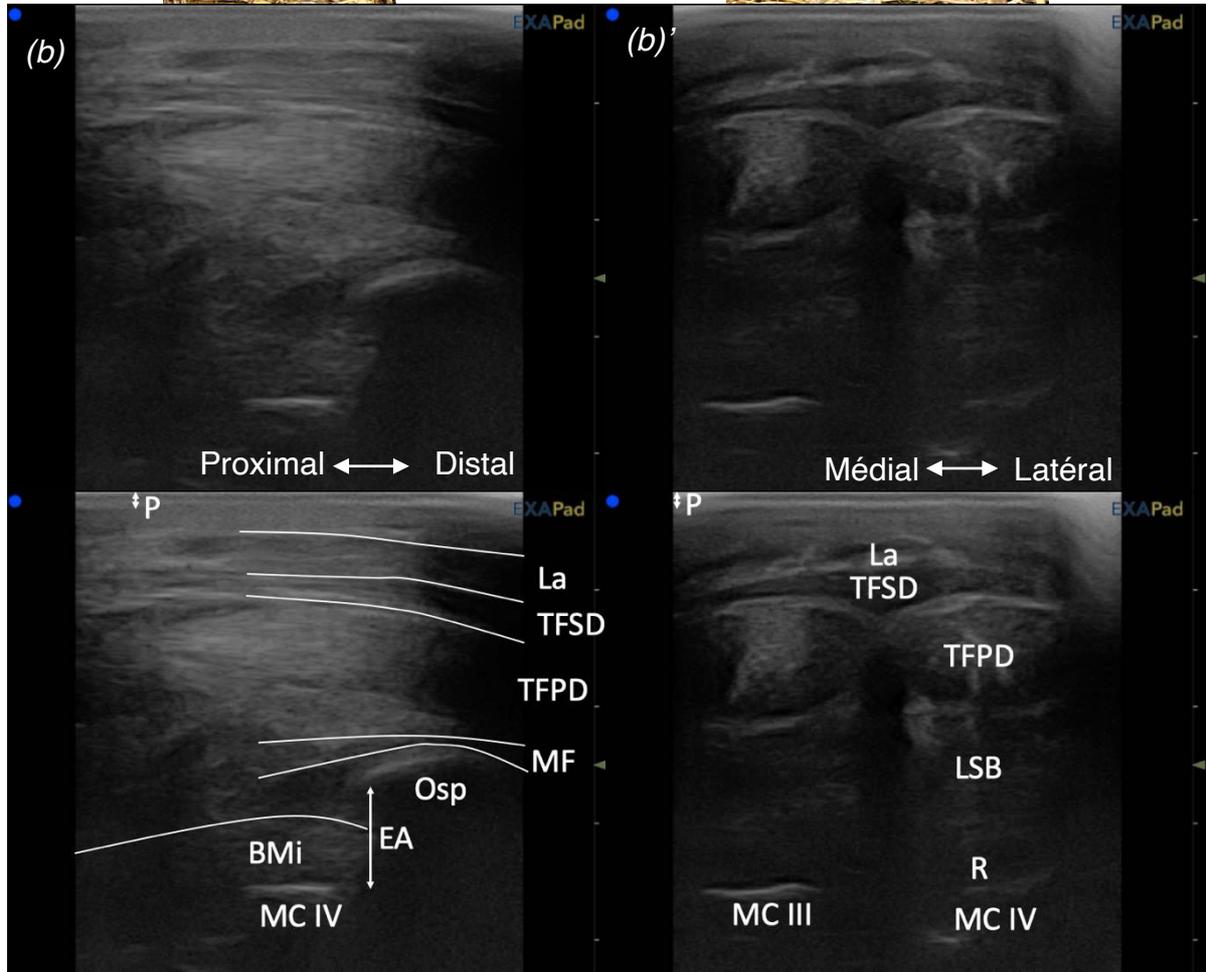
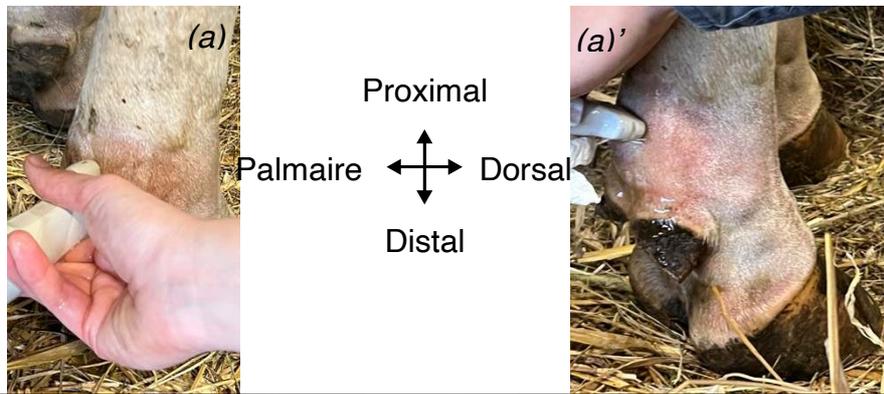
Photographie 13 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation métacarpo-phalangienne droite (sur le doigt latéral).

Figure 34 : (b) Images échographiques de l'articulation métacarpo-phalangienne droite saine en vue latérale

*(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)*

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 5 ans, ayant un carcinome épidermoïde. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Mc IV : os métacarpien IV (latéral) ; P1 : phalange proximale ; BMi : bride du muscle interosseux ; Lig CL : ligament collatéral latéral.*

Nous arrivons en vue palmaire. Afin de montrer l'intérêt de la coupe transversale, nous avons décidé de faire une comparaison entre les deux coupes (transversale et longitudinale). Sur la coupe longitudinale, la distinction entre les multiples tendons au-dessus de l'espace articulaire est difficile. Cette coupe est donc intéressante pour voir l'articulation en elle-même, mais elle ne permet pas l'évaluation des tendons. La coupe transversale maintenant, réalisée au même endroit, nous permet de mieux dessiner le contour des tendons. Par contre, l'espace articulaire n'est pas visible.

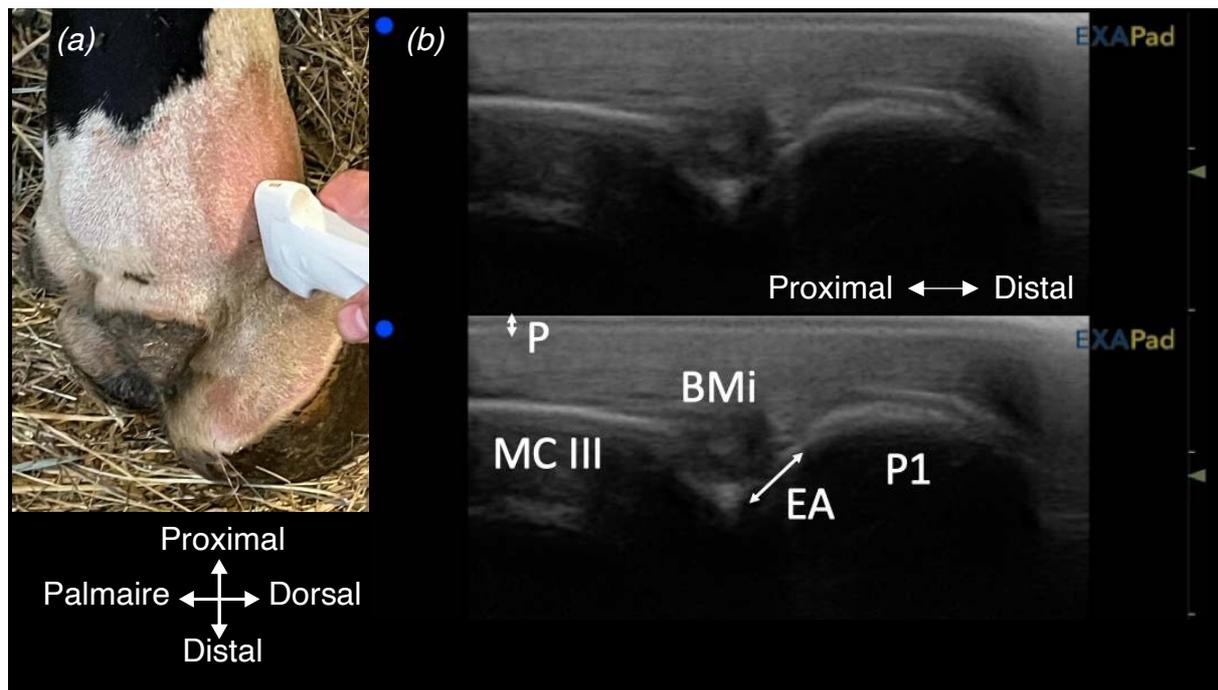


Photographies 14 : (a) et (a') Emplacements des sondes en face palmaire, respectivement en coupe longitudinale et transversale

Figure 35 : (b) et (b') Images échographiques comparatives de deux coupes (longitudinale et transversale) en face palmaire de l'articulation métacarpo-phalangienne du membre thoracique droit (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

Images échographiques de l'articulation saine métacarpo-phalangienne, respectivement en coupe longitudinale et transversale. Incidence palmo-dorsale, avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 5 ans, ayant un carcinome épidermoïde. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; MC IV : os métacarpien IV (latéral) ; TFSD : tendon fléchisseur superficiel des doigts ; TFPD : tendon fléchisseur profond des doigts ; La : ligament annulaire. (b) : Osp : os sésamoïde proximal ; MF : manica flexoria (anneau du tendon perforé) ; BMi : bride du muscle interosseux ; La : ligament annulaire. (b)' : R : récessus ; MC III : os métacarpien III (médial) ; LSB : ligament suspenseur du boulet.

Enfin, nous finissons par la vue médiale dans laquelle nous apercevons l'espace articulaire, surmonté de la bride du muscle interosseux.



Photographie 15 : (a) Emplacement de la sonde sur la face médiale de l'articulation métacarpo-phalangienne gauche (sur le doigt médial)

Figure 36 : (b) Images échographiques de l'articulation métacarpo-phalangienne gauche saine en vue médiale

(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence médio-latérale, coupe longitudinale avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 5 ans, ayant un carcinome épidermoïde. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Mc III : os métacarpien III (médial) ; P1 : phalange proximale ; BMi : bride du muscle interosseux.*

### **3. Aspects échographiques pathologiques et principales applications du boulet**

Parmi les bovins hospitalisés à l'E.N.V.T., l'une des vaches opérée d'un déplacement de la caillette a présenté, à la suite de l'intervention, une ténosynovite du boulet associée à des difficultés à se relever. L'étude de ce cas permet d'établir des différences avec les images précédentes notamment en identifiant la présence d'une substance anéchogène entre les tendons. De plus, la distension des tissus liée au gonflement nécessite une une profondeur d'examen plus importante.

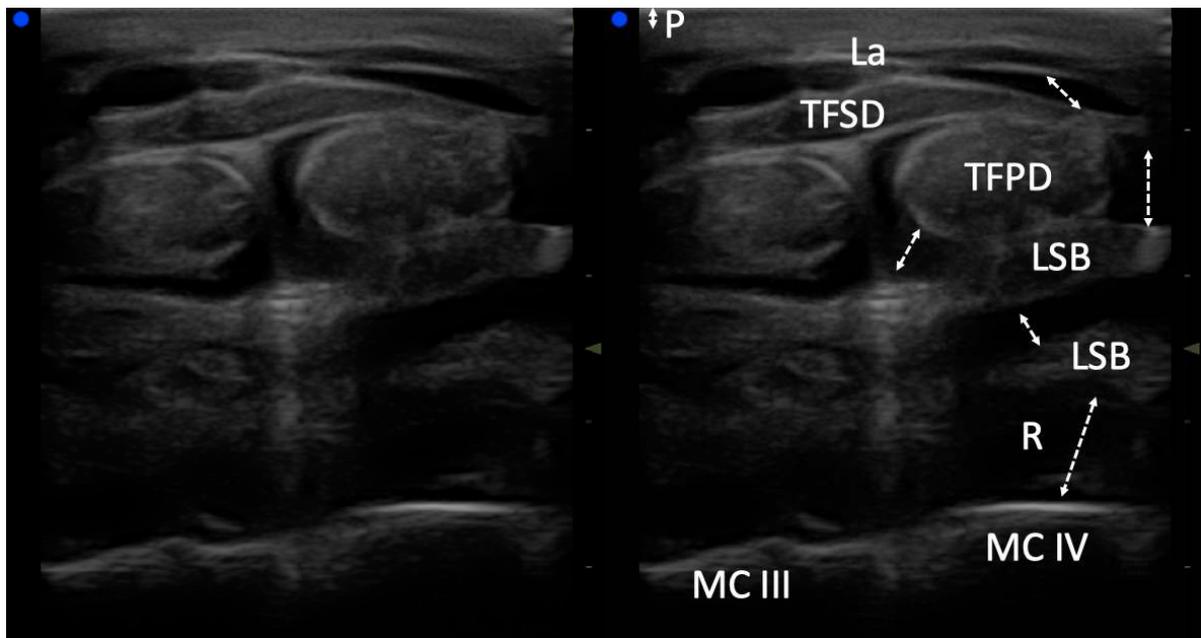


Figure 37 : Images échographiques pathologiques d'un boulet (métacarpo-phalangienne) face palmaire en coupe transversale

(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence palmo-dorsale, avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 5 ans, opérée d'un déplacement de caillette avec une atteinte poly-articulaire. P : peau et tissu conjonctif ; R : récessus dont la distension est représentée par les flèches ; MC IV : os métacarpien IV (latéral) ; MC III : os métacarpien III (médial) ; TFSD : tendon fléchisseur superficiel des doigts ; TFPD : tendon fléchisseur profond des doigts ; La : ligament annulaire ; LSB : plusieurs branches du ligament suspenseur du boulet.*

## **D. Discussion**

Les échographies exposées dans la littérature utilisent une sonde linéaire avec la plus grande fréquence possible, ce qui correspond à ce que nous avons réalisé (Kofler 2009; Kofler, Geissbühler, Steiner 2014). La possibilité d'avoir une sonde tendon nous a en effet permis d'avoir des images plus précises et de meilleure qualité du fait de la fréquence doublée par rapport à une sonde linéaire classique.

Nos repères définis sont également similaires à ceux de (Kofler 2009). En effet, il utilise le récessus dorsal pour la vue dorsale en coupe longitudinale. En vue palmaire, il se place juste au-dessus des os sésamoïdes, là où nous nous sommes positionnées au-dessus des ergots. Cette légère différence est expliquée par des repères anatomiques visibles sur l'extérieur de l'animal alors qu'il prend des repères échographiques. Enfin, il utilise une coupe oblique pour voir le ligament collatéral

latéral, ce qui est plus approprié étant donné qu'on n'avait qu'une partie en coupe longitudinale stricte.

## **V. Articulations inter-phalangiennes (main / pied)**

### **A. Généralités sur l'articulation**

Comme pour le boulet, les pathologies des articulations inter-phalangiennes viennent souvent des effractions de la sole, telles que des ulcérations ou abcès de sole par exemple. Cela crée une entrée de germes, propices aux phénomènes infectieux. Ensuite, les pathologies non infectieuses existent mais restent rares sur les mains / pieds (fracture de la phalange distale, entorse, luxation, périostite, désongulation, ostéochondrite disséquante).

L'arthrite septique est l'affection articulaire la plus fréquente dans la main ou le pied, comme sur le boulet, touchant le plus souvent l'articulation inter-phalangienne distale (entre la phalange moyenne, P2 et la phalange distale, P3). Il est important d'avoir un diagnostic précoce pour savoir quel tissu profond est atteint. En effet, d'autres affections infectieuses peuvent avoir lieu à une moindre fréquence, comme la bursite septique, l'abcès rétro-articulaire du talon, la ténosynovite digitale ou des ostéomyélites (Grasmuck 2010). L'échographie permet de faire ce diagnostic précoce en identifiant les tissus mous affectés.

De plus, à l'instar du boulet, les tendons autour des phalanges peuvent être touchés. Ces affections sont là aussi le plus souvent dues à des phénomènes septiques de la sole cités précédemment, créant une atteinte infectieuse de la phalange distale (P3) et la nécrose de l'insertion du tendon. Cela peut engendrer l'avulsion de ce tendon, qui est souvent le tendon fléchisseur profond du doigt, s'insérant sur cette phalange distale (Anderson, Desrochers, St. Jean 2008). Les tendons étant visibles en échographie, cette pathologie peut aussi être diagnostiquée de façon précoce.

## **B. Anatomie articulaire**

Deux articulations sont présentes dans la main et le pied : l'**articulation inter-phalangienne proximale**, reliant la phalange proximale (P1) avec la phalange moyenne (P2) et l'**articulation inter-phalangienne distale**, qui met P2 et la phalange distale (P3) en contact.

Pour chaque articulation, la surface articulaire proximale est de type **condyloïde**, et vient en contact des **cavités glénoïdales** de la surface articulaire distale. Le tout est maintenu par des **ligaments interdigitaux**.

L'articulation inter-phalangienne proximale (P1 – P2) est maintenue par la **capsule articulaire** ainsi que par les **ligaments collatéraux** et **palmaire** (prenant la forme d'un scutum moyen dans sa partie moyenne). Cela est complété par les **tendons extenseurs des doigts** sur la face dorsale et par les **tendons fléchisseurs** sur la face palmaire : le superficiel, qui se confond au scutum moyen, et le profond. La synoviale est peu étendue mais laisse paraître un **récessus dorsal** et **palmaire**.

La surface articulaire de l'articulation inter-phalangienne distale (P2 – P3) est complétée par l'**os sésamoïde distal**. Les moyens d'unions sont assez similaires, composés de la **capsule articulaire** et des **ligaments palmaires** (ou sésamoïdiens), **collatéraux** et **dorsaux**. Le **tendon extenseur propre** à chaque doigt vient renforcer le tout. Deux **récessus** prennent forme à partir de la synoviale, un dorsal sous le tendon extenseur propre, légèrement au-dessus du bord proximal du sabot et l'autre palmaire, moins important, qui remonte au-dessus de l'os sésamoïde (Budras, Habel 2011; Barone 2020).

Les schémas présentés dans la partie du boulet (Figure 31) sont aussi informatifs sur les structures anatomiques de la main et du pied. Pour compléter ces précédentes images, la Figure 38 illustre la face latérale de la main et du pied.

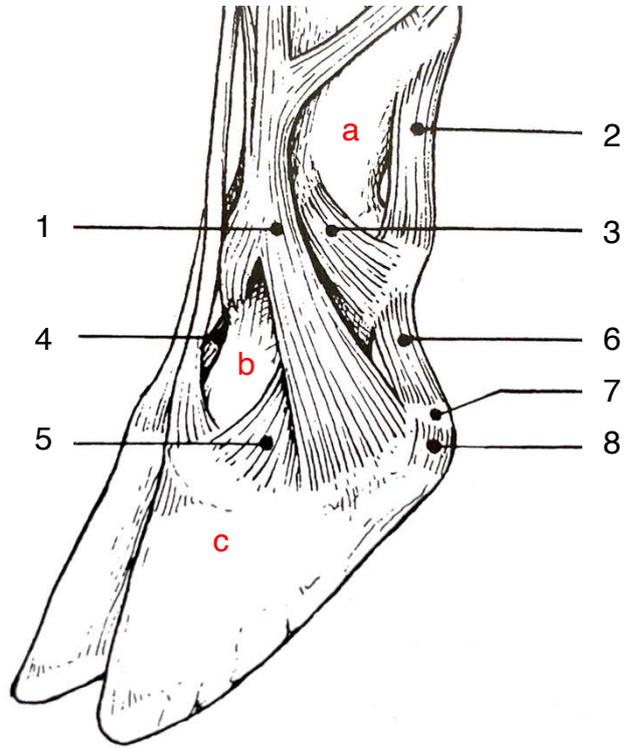


Figure 38 : Schéma simplifié des articulations de la main de bœuf en vue latérale (d'après (Barone 2020))

1 : tendon extenseur du doigt latéral, 2 : ligament palmaire de l'articulation inter-phalangienne proximale, 3 : ligament collatéral de l'articulation inter-phalangienne proximale, 4 : ligament dorsal de l'articulation inter-phalangienne distale, 5 : ligament collatéral de l'articulation inter-phalangienne distale, 6 : ligament sésamoïdien collatéral, 7 : os sésamoïde distal, 8 : ligament sésamoïdien distal abaxial, a : phalange proximale (P1), b : phalange moyenne (P2), c : phalange distale (P3).

## **C. Techniques échographiques**

### **1. Repères anatomiques, sondes et coupes**

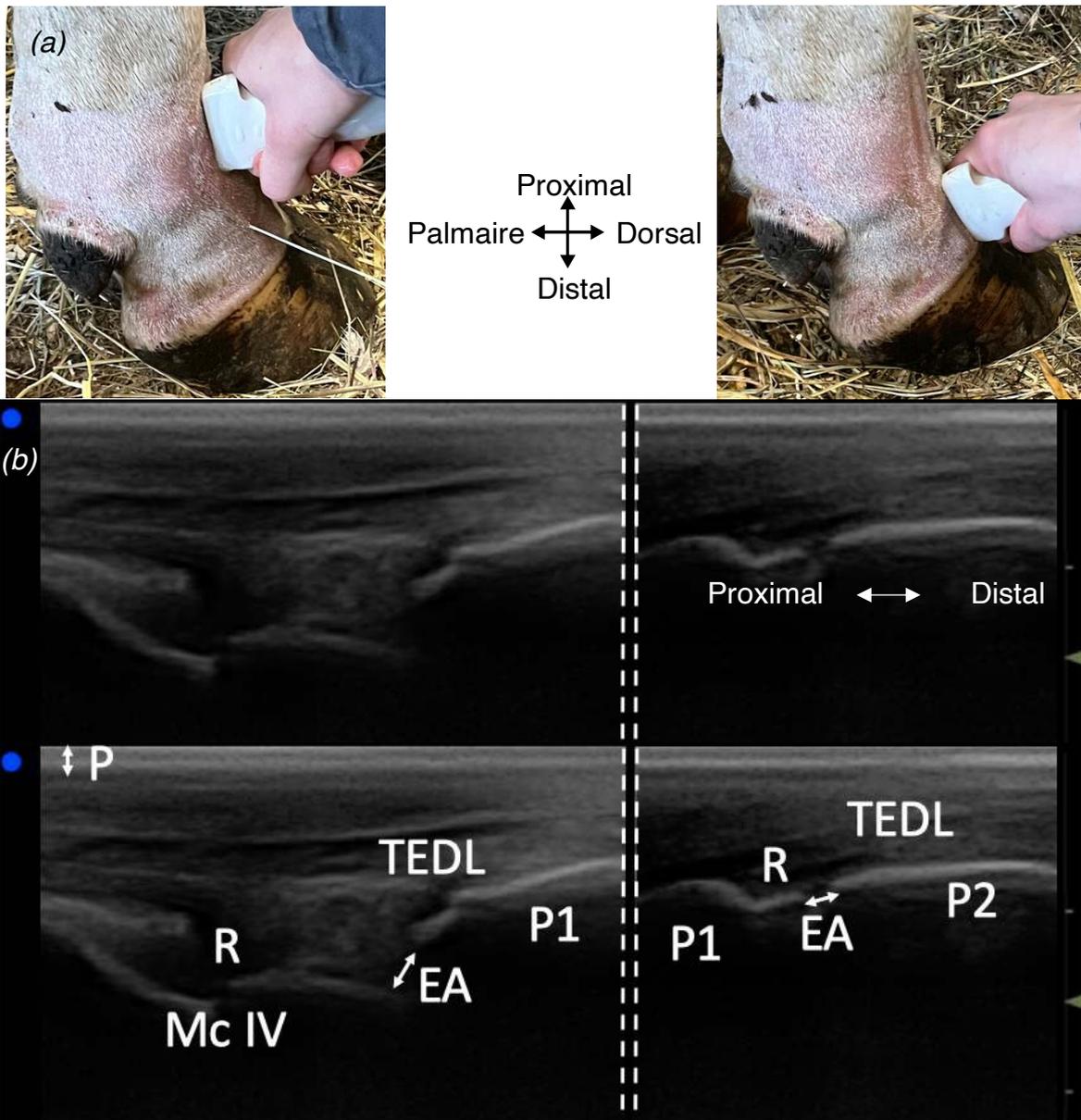
Les articulations inter-phalangiennes sont situées à partir de la **zone distale du paturon**, jusqu'à la **couronne** de l'onglon. Pour localiser chacune d'elle, il est possible de sentir les **récessus dorsaux** précédemment cités. En fonction de la contention choisie, notamment lorsque la main / le pied est levé, la face palmaire ou plantaire n'est parfois pas facile à examiner. En effet, les récessus sont alors lissés mais peuvent être appréhendés par de légères pressions.

Comme pour le boulet, il est possible d'utiliser une sonde linéaire classique à une fréquence de 7,5 MHz, une sonde convexe à 6 MHz ou la sonde linéaire tendon à 15 MHz. Pour les mêmes raisons de lisibilité, nous avons choisi d'exposer les images en sonde linéaire tendon.

Nous avons échographié la zone en coupe longitudinale afin d'identifier les espaces articulaires. La coupe transversale quant à elle, permet de voir les tendons.

### **2. Aspects échographiques physiologiques de la main / du pied**

Tout d'abord, même sans les repères anatomiques externes, nous pouvons suivre le tendon de chaque doigt à partir du boulet. La première phalange étant assez grande, nous avons fait correspondre deux échographies par les pointillés.



Photographies 16 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorsale des articulations métacarpo-phalangienne et inter-phalangienne proximale droite (sur le doigt latéral).

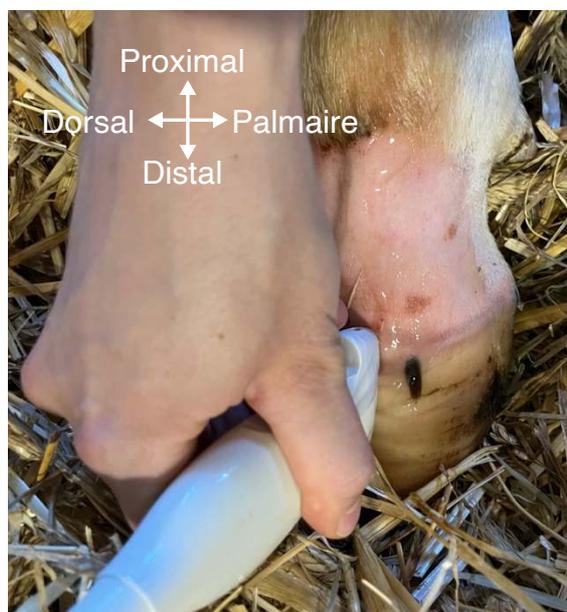
Figure 39 : (b) : Images échographiques saines des articulations métacarpo-phalangienne et inter-phalangienne proximale en face dorsale

(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence dorso-palmaire, en coupe longitudinale, avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, ayant un carcinome épidermoïde. P : peau et tissu conjonctif ; R : récessus ; MC IV : os métacarpien IV (latéral) ; P1 : phalange proximale ; P2 : phalange moyenne ; TEDL : tendon extenseur du doigt latéral.*

L'articulation inter-phalangienne distale est plus compliquée à étudier. En effet, elle nécessite une contention supplémentaire car la sonde doit être placée sur la couronne de la main ou du pied. La délimitation du sabot sur l'échographie correspond à la disjonction de la peau associée à un artefact faisant apparaître les tissus en-

dessous légèrement plus échogènes. On voit donc l'articulation sous la délimitation entre la peau et la paroi du sabot, avec un récessus qui longe la partie distale de la phalange moyenne (P2) faisant procidence dans le creux de son condyle.



Photographie 17 : Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation inter-phalangienne distale gauche (sur le doigt latéral)  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

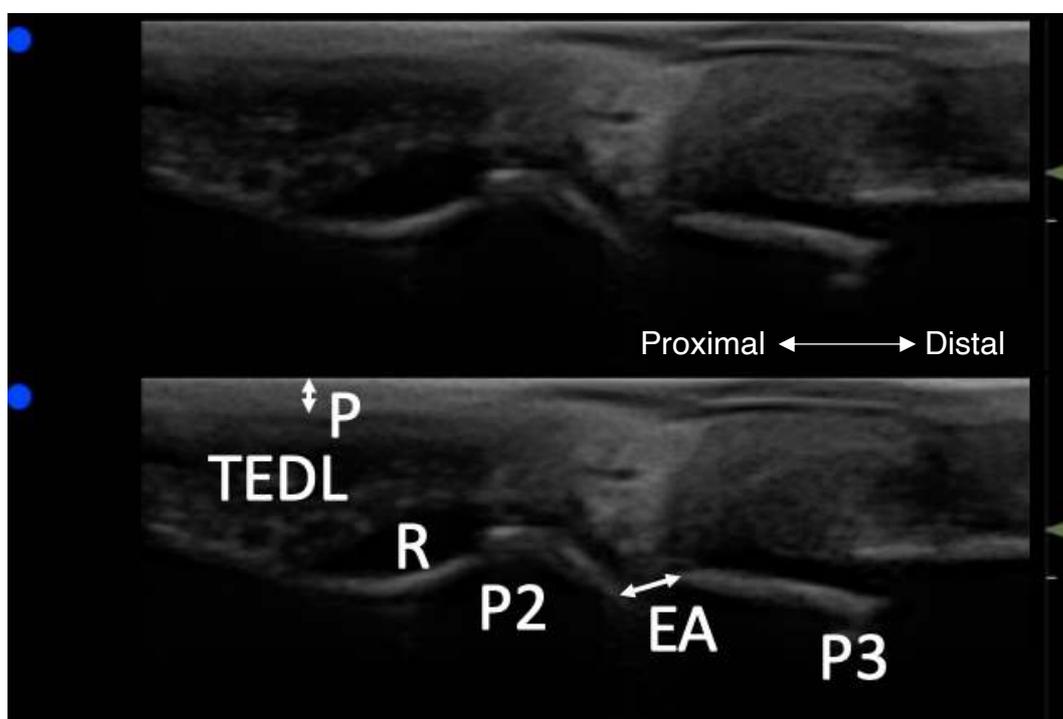
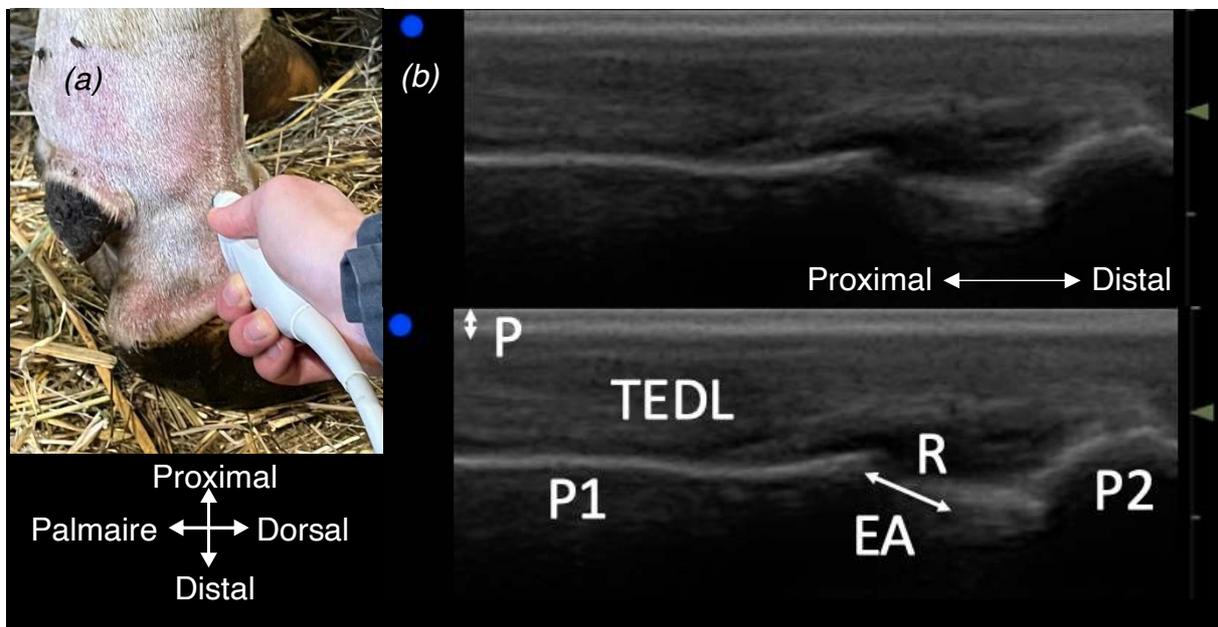


Figure 40 : Images échographiques saines de l'articulation inter-phalangienne distale en face dorsale  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence dorso-palmaire, en coupe longitudinale, avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 2 ans, avec une blessure sévère au membre postérieur gauche. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; R : récessus ; P2 : phalange moyenne ; P3 : phalange distale ; TEDL : tendon extenseur du doigt latéral.*

Revenons sur l'articulation phalangienne proximale (donc entre P1 et P2). En déplaçant la sonde vers le bord latéral du doigt, nous pouvons suivre cette articulation et la visualiser sur sa face dorso-latérale. Le tendon extenseur du doigt latéral est de taille assez importante pour être de nouveau visible à l'image.



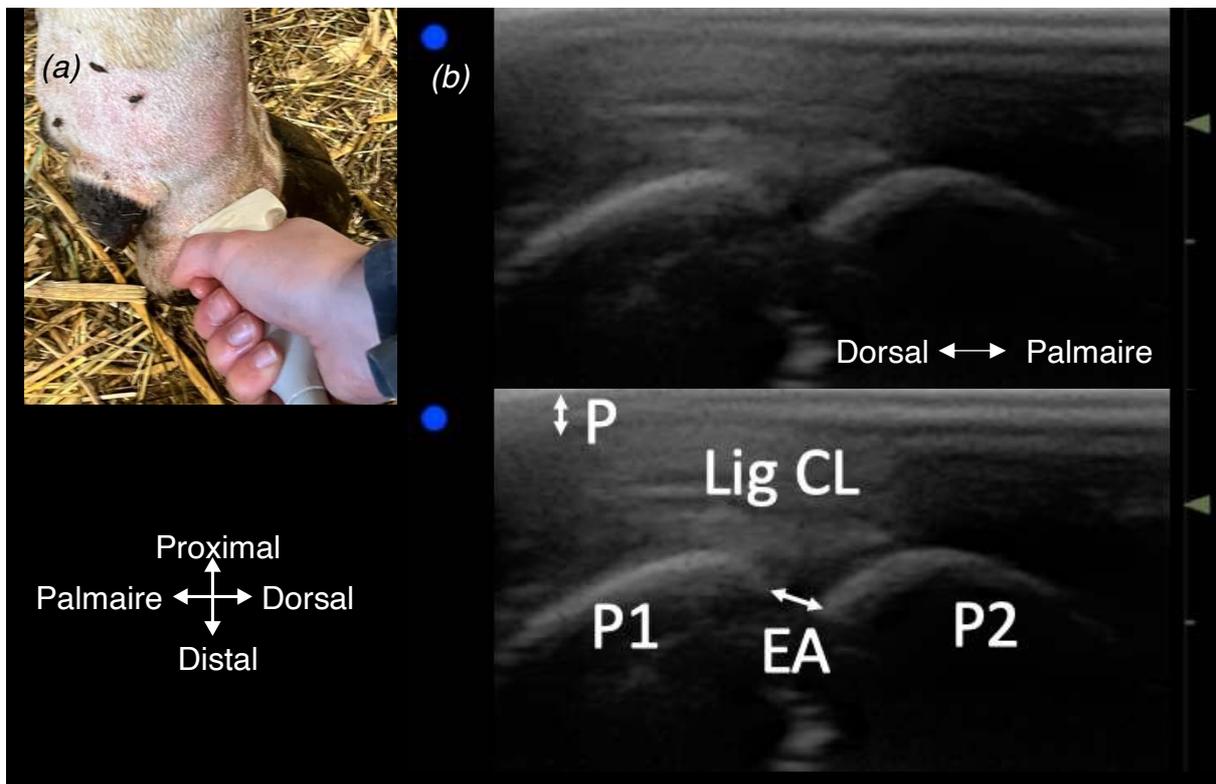
Photographie 18 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorso-latérale de l'articulation inter-phalangienne proximale droite (sur le doigt latéral)

Figure 41 : (b) Images échographiques saines de l'articulation inter-phalangienne proximale en face dorso-latérale

(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence latéro-médiale, en coupe longitudinale, avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, ayant un carcinome épidermoïde. P : peau et tissu conjonctif ; R : récessus ; P1 : phalange proximale ; P2 : phalange moyenne ; TEDL : tendon extenseur du doigt latéral.*

La face latérale présente des reliefs qui ne nous permettent pas de faire une coupe longitudinale en sonde linéaire. Une coupe transversale a donc été réalisée, afin de voir l'articulation ainsi que le ligament collatéral latéral, dont les fibres sont légèrement obliques par rapport à la sonde.



Photographie 19 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation inter-phalangienne proximale droite (sur le doigt latéral)

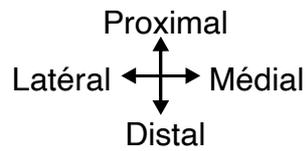
Figure 42 : (b) Images échographiques saines de l'articulation inter-phalangienne proximale en face latérale

(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence latéro-médiale, en coupe transversale, avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, ayant un carcinome épidermoïde. P : peau et tissu conjonctif ; P1 : phalange proximale ; P2 : phalange moyenne ; Lig CL : ligament collatéral latéral de l'articulation inter-phalangienne proximale.*

Afin de visualiser la face palmaire, une contention supérieure est nécessaire. Nous avons eu l'occasion de faire cette manipulation sur une vache couchée pour plus de sécurité, mais il est aussi possible d'échographier la zone sur une vache contenue au travail avec le pied levé. En position physiologique, il est en effet difficile de glisser une sonde sur le pâturon et la manipulation n'est pas sécurisée. Comme pour le boulet, en coupe transversale, l'abord sur cette face de l'articulation permet de regarder l'intégrité des tendons. Sur la prochaine image (Photographie 20), la sonde est placée en regard de la phalange moyenne (P2). Nous apercevons le tendon fléchisseur

profond du doigt, autrement appelé tendon perforant, en coupe transversale. Ce dernier rejoint la phalange distale (P3).



Photographie 20 : Emplacement de la sonde sur la face palmaire de la phalange moyenne gauche (sur le doigt latéral)

(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

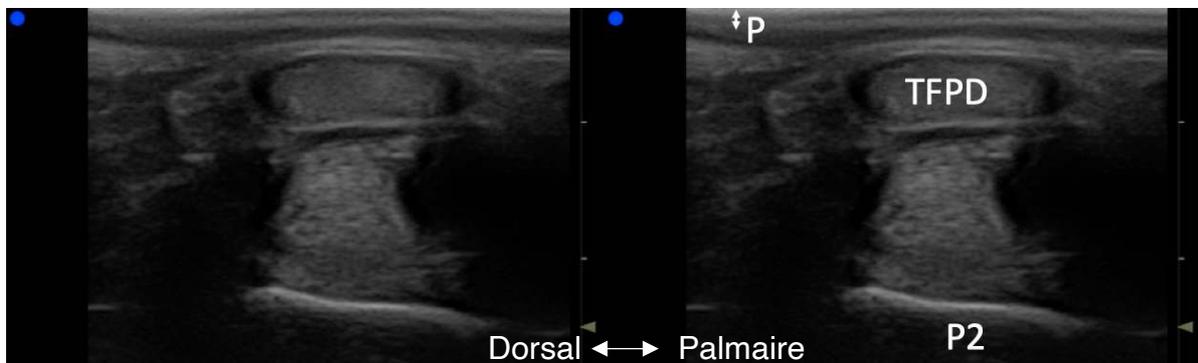


Figure 43 : Images échographiques saines du tendon fléchisseur profond du doigt en coupe transversale

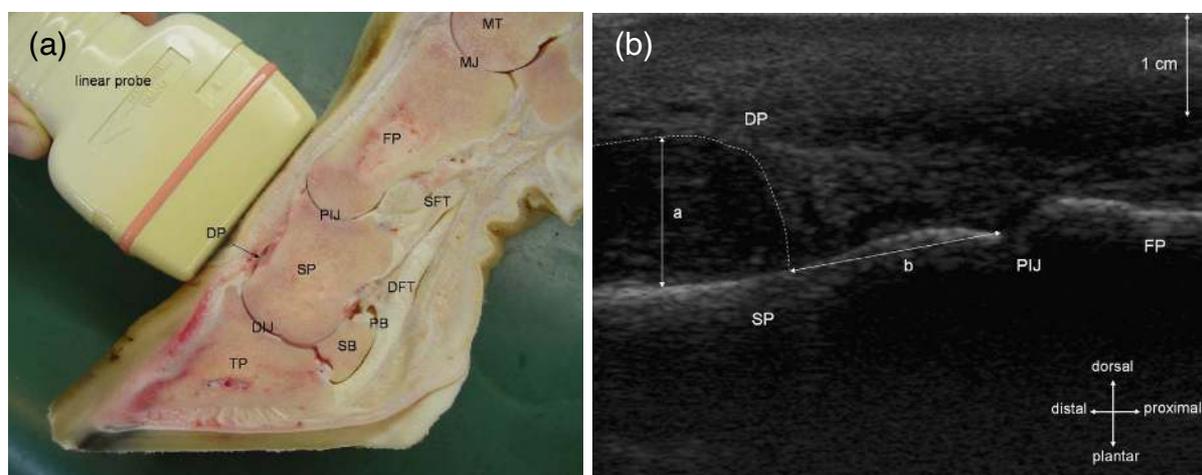
(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence palmo-dorsale, en coupe transversale, avec une sonde tendon, de fréquence 15 MHz, profondeur 5 cm, sur une Prim'Holstein de 2 ans ayant blessure sévère au membre postérieur gauche.*

*P : peau, tissu conjonctif ; P2 : phalange moyenne ; TFPD : tendon fléchisseur profond du doigt.*

### 3. Aspects échographiques pathologiques de la main / du pied

Les affections des doigts sont citées dans quelques études (Kofler 2009; Kofler, Geissbühler, Steiner 2014), montrant principalement la distension du récessus dorsal ou palmaire. De plus, (Heppelmann et al. 2009) illustre l'intérêt de l'échographie comme examen complémentaire de choix pour diagnostiquer une arthrite septique de l'articulation inter-phalangienne distale. L'évaluation des tissus mous atteints ainsi que l'échogénéicité et la distension du récessus permettent d'obtenir un diagnostic précis et non traumatique, comparé à l'arthrocentèse. Cette dernière apporte des résultats peu fiables ou incomplets (elle ne permettra pas de mettre en évidence une arthrite fibreuse par exemple). Ainsi, grâce à l'échographie, il est possible de faire la différence entre une arthrite septique, une arthrite aseptique, de l'arthrose, de l'hémarthrose ou encore un épanchement articulaire dû à un traumatisme lorsqu'il y a une distension du récessus. Un exemple de leurs travaux, illustre l'utilisation de l'échographie pour visualiser une arthrite septique, démontrée par une distension du récessus avec une échogénéicité hétérogène.



Photographie 21 : (a) Emplacement de la sonde sur l'aspect dorsal du pied  
Figure 44 : (b) Echographie de l'articulation inter-phalangienne proximale  
(source : (Heppelmann et al. 2009))

*Incidence dorso-palmaire, en coupe longitudinale, avec une sonde linéaire, de fréquence 10 MHz et de profondeur 4 cm, sur une vache Prim'Holstein de 4 ans souffrant d'arthrite septique. FP : phalange proximale (P1), SP : phalange moyenne (P2), TP : phalange distale (P3), PIJ : espace articulaire proximal (entre P1 et P2), DIJ : espace articulaire distal (entre P2 et P3), DP : récessus dorsal de l'articulation inter-phalangienne distale, a : distance maximale du récessus dorsal, b : distance entre le bord proximal du récessus dorsal et l'espace inter-phalangien proximal.*

## **D. Discussion**

La limite principale de cette manœuvre est la contention. En effet, l'accès au pied est difficile pour des raisons de sécurité, nous obligeant à contenir ce dernier en position non physiologique. De ce fait, nos images sont obtenues sur des animaux en décubitus permanent en raison de leur pathologie. Une autre possibilité envisageable mais non utilisée ici, est de lever l'extrémité du membre dans une cage de contention.

Aussi, la visualisation de l'articulation inter-phalangienne distale est complexe car la sonde doit être posée sur le sabot, qui est une structure dense dans laquelle le faisceau d'ultrasons doit passer, créant ainsi une image de moindre qualité.

En ce qui concerne les techniques échographiques et le choix des réglages, nous avons des données similaires à ce qui est déjà fait dans la littérature. En effet, la face dorsale en coupe longitudinale est la position de choix pour voir les articulations inter-phalangiennes. De plus, la vérification des tendons fléchisseurs se fait par une coupe transversale sous le paturon, comme nous l'avons réalisée (Kofler 2009). J. Kofler fait aussi un plan sous la sole, qui ne nous renseigne pas sur une articulation en tant que telle, mais sur l'intégrité de la phalange distale ainsi que de l'attache tendineuse sur celle-ci (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014).

# **Partie 5 : Articulations du membre pelvien**

## **I. Articulation coxo-fémorale (hanche)**

### **A. Généralités sur l'articulation**

L'échographie de l'articulation coxo-fémorale des bovins est un véritable enjeu pour le diagnostic des affections de cette articulation. En effet, le diagnostic clinique est difficile à établir en raison des signes peu spécifiques allant d'une boiterie modérée du membre pelvien au décubitus complet de l'animal (Wenzinger et al. 2012).

Or, à partir de ces signes cliniques, les pathologies affectant l'articulation sont variées. Il peut s'agir d'une luxation coxo-fémorale, pathologie fréquente chez les bovins adultes. Elle peut être en lien avec un traumatisme survenant lors des chevauchements, de vêlage dystocique ou encore lors d'affrontement de jeunes reproducteurs. La luxation peut également affecter les veaux à la naissance à la suite d'une extraction forcée lors d'une mise bas dystocique (Starke et al. 2007). Cependant, d'autres pathologies affectent l'articulation coxo-fémorale comme l'arthrite septique et les fractures de la tête ou du col fémoral (Nuss 2003).

Ainsi, l'échographie est un examen permettant le diagnostic des affections de l'articulation coxo-fémorale en complément de l'examen radiographique ou au contraire en alternative à ce dernier (Jones et al. 2022).

## **B. Anatomie articulaire**

L'articulation coxo-fémorale unit le **fémur** à l'**os coxal**. Ce dernier est composé de trois parties : l'os **ilium** sur le côté dorsal et les os **pubis** et **ischium** sur le côté ventral. Le fémur quant à lui est formé sur son extrémité proximale du **grand trochanter** en position latérale et d'une **tête articulaire** en position médiale portée par la partie rétrécie de l'os appelée **col du fémur**.

Ainsi, les surfaces articulaires correspondent pour l'os coxal à une cavité appelée l'**acétabulum**, complétée par un bourrelet périphérique, le **bourrelet acétabulaire**. Concernant le fémur, la surface articulaire correspond au **col** et à la **tête fémorale** cylindrique.

L'union de l'articulation est assurée tout d'abord par la **capsule articulaire**. Cette capsule très solide enveloppe complètement le bourrelet acétabulaire, la tête du fémur et une partie du col fémoral. Elle est ensuite complétée par le ligament de la tête fémorale et le ligament transverse. Le **ligament de la tête fémorale** (anciennement ligament rond) est intra-articulaire de forme cylindroïde épais et puissant. Il prend ses attaches sur la *fovea capitis* de la tête fémorale et dans la fosse de l'acétabulum. Enfin, le **ligament transverse** très épais complète le bourrelet acétabulaire au niveau de l'incisure acétabulaire.

En complément à ces moyens d'unions, l'articulation est renforcée par la **branche du tendon d'origine du muscle droit** de la cuisse qui s'insère sur le bord crânio-latéral du bourrelet acétabulaire ainsi que par des muscles puissants : les **muscles de la cuisse**, du **bassin** et le **muscle psoas-iliaque**.

Pour finir, l'articulation coxo-fémorale est formée d'une vaste **synoviale** recouvrant la capsule articulaire, le ligament de la tête fémorale (en raison de sa position intra-articulaire) et le bord libre du bourrelet de l'acétabulum. Cette synoviale, protégée par les masses musculaires de la cuisse, ne présente **aucun récessus** synovial (Barone 2020).

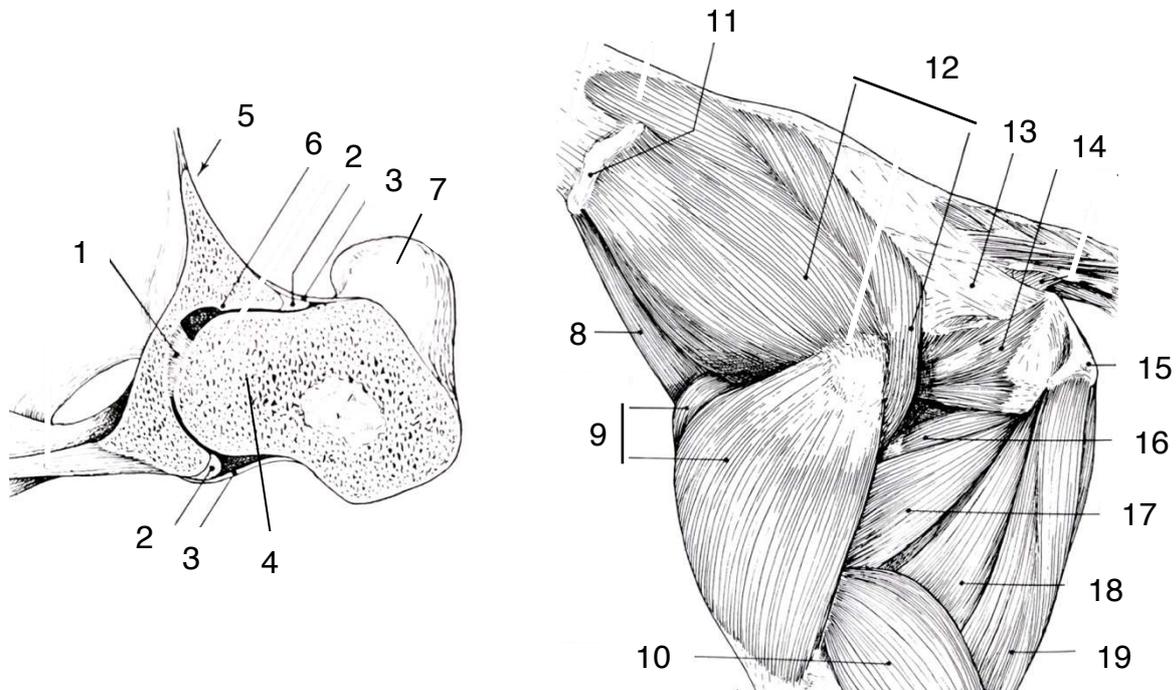


Figure 45 : Schémas simplifiés de l'articulation coxo-fémorale en coupe transversale (à gauche) et des muscles du bassin en vue latérale après ablation des muscles glutéobiceps et tenseur du fascia lata (à droite) (d'après (Barone 2020))

1 : ligament de la tête fémorale, 2 : bourrelet acétabulaire, 3 : capsule articulaire, 4 : tête fémorale, 5 : épine sciatique, 6 : acétabulum, 7 : grand trochanter, 8 : muscle iliaque, 9 : muscle quadriceps fémoral, 10 : muscle gastrocnémien, 11 : épine iliaque, 12 : muscle fessier moyen, 13 : ligament sacro-sciatique, 14 : muscle jumeau, 15 : tubérosité ischiatique, 16 : muscle carré fémoral, 17 : muscle adducteur de la cuisse, 18 : muscle semi-membraneux, 19 : muscle semi-tendineux.

## C. Techniques échographiques

### 1. Repères anatomiques, sondes et coupes

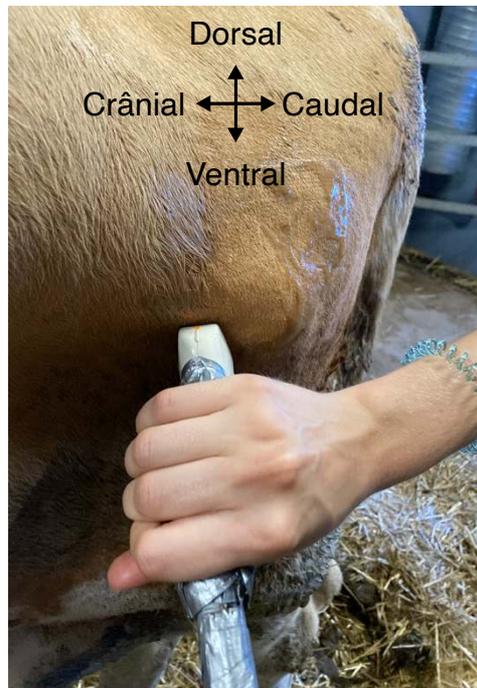
Afin de repérer la partie externe de l'articulation coxo-fémorale il est nécessaire d'identifier crânialement la **pointe de la hanche**, correspondant à la pointe de l'**ilium**, et caudalement la **pointe de la fesse**, correspondant à la pointe de l'**ischium**. Distalement à ces deux repères et à équidistance de l'un et de l'autre, nous identifions le **grand trochanter**. Ce dernier correspond à l'aire d'échographique de l'articulation coxo-fémorale.

Précisons que notre étude se limite à l'échographie de l'articulation de la hanche sur sa face externe. En effet, il est possible de réaliser des échographies par voie rectale afin d'obtenir plus de précision sur les structures articulaires. Cependant, pour des raisons de sécurité nous avons préféré nous limiter à l'échographie externe.

Une fois les repères définis, nous avons échographié l'articulation avec la sonde convexe en vue crâniale et oblique avec une fréquence de 6,6 MHz correspondant respectivement à une profondeur de 10 cm et 5 MHz pour une profondeur de 14 cm. Nous avons également utilisé la sonde linéaire sur la face latérale de l'articulation avec une fréquence de 7,5 MHz pour une profondeur de 10 cm.

### 2. Aspects échographiques physiologiques de la hanche

Tout d'abord, l'échographie en vue crâniale de l'articulation coxo-fémorale est réalisée avec une incidence crânio-médiale en raison de la topographie anatomique. Nous identifions ainsi les surfaces osseuses de l'articulation : l'**acétabulum** et la **tête fémorale**. L'espace articulaire est également visible sur les échographies. Enfin, sur la face crâniale, le muscle quadriceps fémoral recouvre les surfaces articulaires.



Photographie 22 : Emplacement de la sonde sur la face crâniale de l'articulation coxo-fémorale gauche

(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

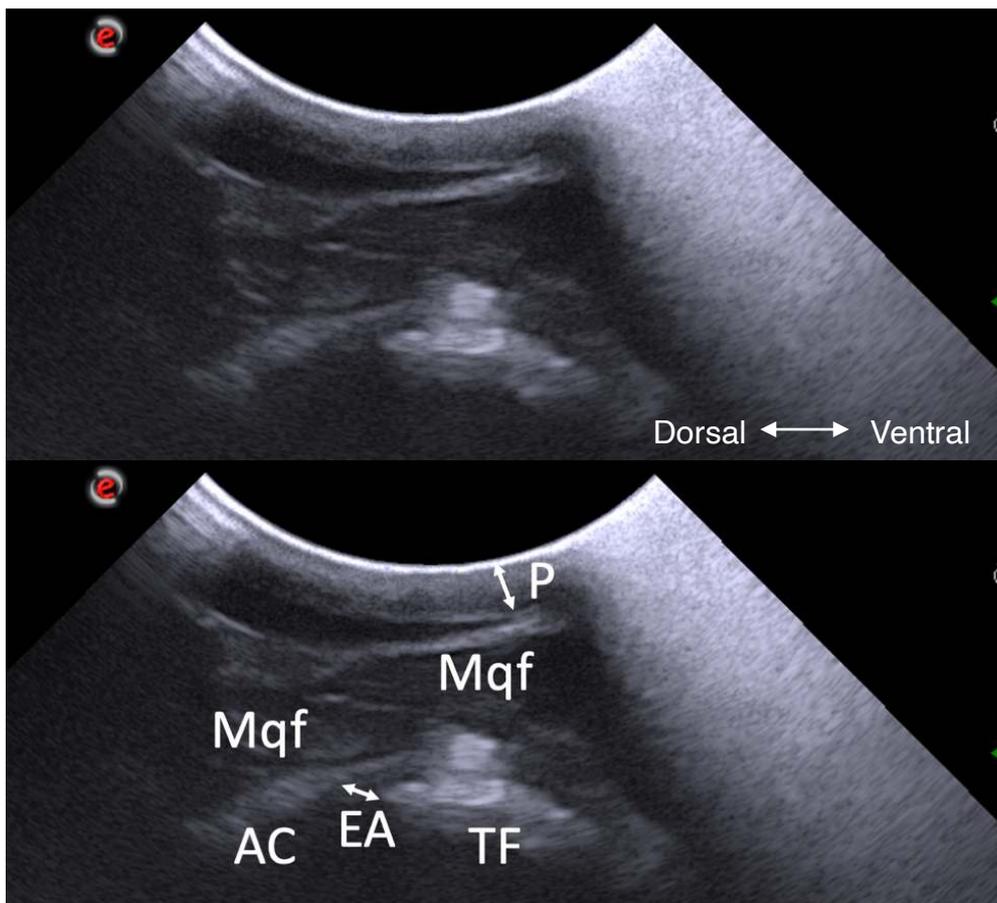


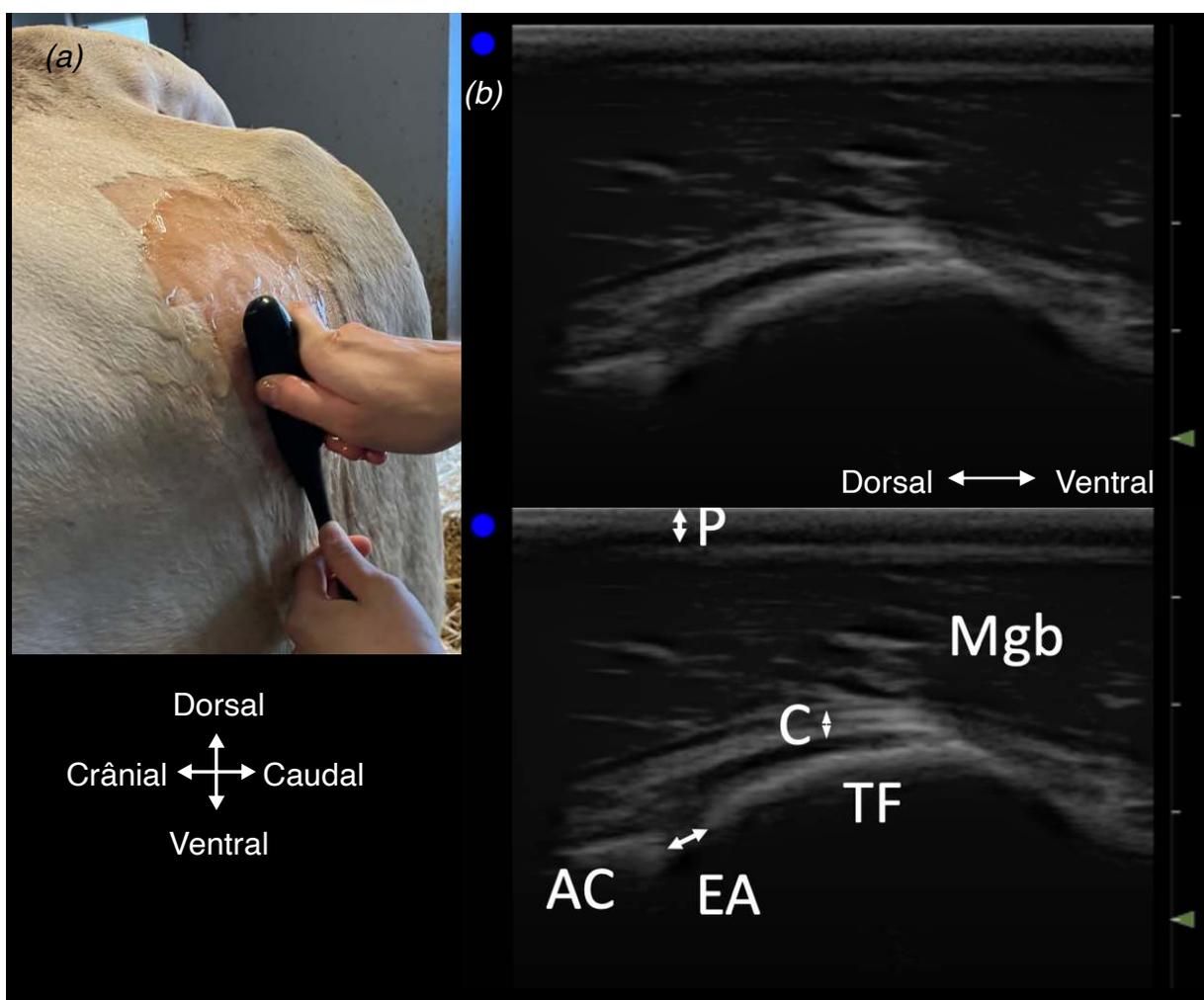
Figure 46 : Images échographiques de l'articulation coxo-fémorale saine gauche en vue crâniale

(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence crânio-médiale, coupe longitudinale avec une sonde convexe de fréquence 6,6 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Simmental de 6 ans, intoxiquée aux glands. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; AC : acétabulum ; TF : tête fémorale ; Mqf : muscle quadriceps fémoral.*

Ensuite, en face latérale, nous avons présenté les échographies réalisées avec une sonde linéaire pour illustrer quelques différences avec l'utilisation de la sonde convexe. Ainsi, comme nous pouvons le constater avec la Photographie 23, il faut être vigilant à la surface de contact avec la sonde linéaire sur cette articulation. En effet, sa conformation nécessite d'exercer une pression plus importante avec cette sonde qu'avec une sonde convexe pour obtenir des échographies de qualités.

Abstraction faite de cette différence, nous identifions sur la face latérale la capsule articulaire qui n'était pas visible en face crâniale. De plus, le muscle ici visible correspond au muscle glutéobiceps.



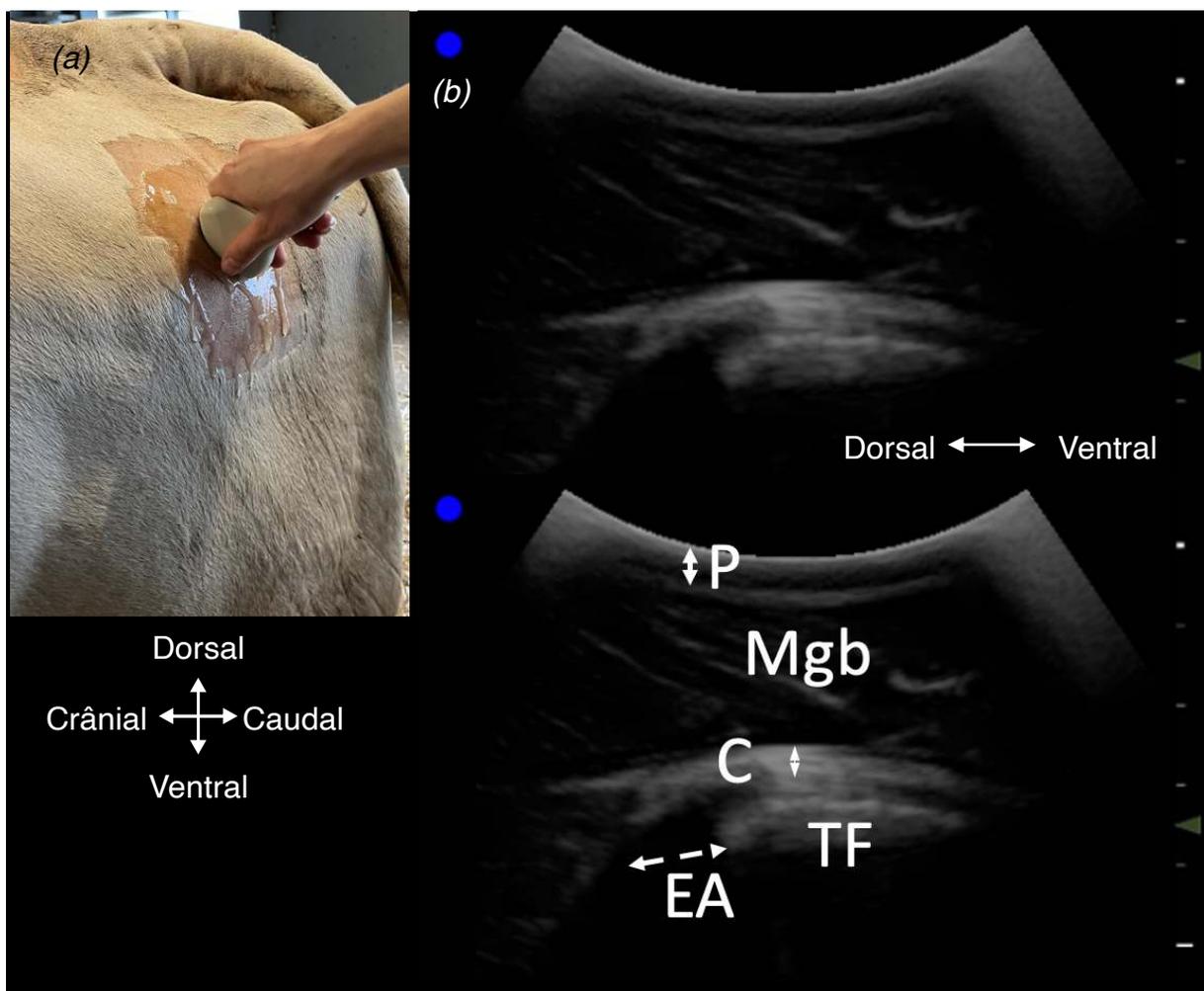
Photographie 23 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation coxo-fémorale gauche

Figure 47: (b) Images échographiques de l'articulation coxo-fémorale saine gauche en vue latérale (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde linéaire de fréquence 7,5 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Blonde d'Aquitaine de 10 ans, souffrant de listériose. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; C : capsule articulaire ; AC : acétabulum ; TF : tête fémorale ; Mgb : muscle glutéobiceps.*

Enfin, à partir de la position de la sonde en vue latérale, nous avons réalisé une légère rotation de l'extrémité ventrale de la sonde en direction caudale. Nous avons alors défini cette position comme une vue oblique de l'articulation coxo-fémorale.

Nous visualisons donc le muscle glutéobiceps ainsi que la capsule articulaire recouvrant la tête fémorale. Nous devinons également la présence de l'espace articulaire bien que l'acétabulum ne soit pas présent sur l'image ci-dessous (Figure 48).



Photographie 24 : (a) Emplacement de la sonde sur la face oblique de l'articulation coxo-fémorale gauche

Figure 48 : (b) Images échographiques de l'articulation coxo-fémorale saine gauche en vue oblique (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

Incidence latéro-crâniale, coupe longitudinale avec une sonde convexe de fréquence 5 MHz et de profondeur 14 cm, sur une vache Blonde d'Aquitaine de 10 ans, souffrant de listériose. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; C : capsule articulaire ; TF : tête fémorale ; Mgb : muscle glutéobiceps.

### 3. Aspects échographiques pathologiques de la hanche

En supplément de l'étude physiologique, nous illustrons une affection de l'articulation coxo-fémorale afin de comprendre l'importance des échographies saines de référence. Pour cela, l'appui de l'étude (Starke et al. 2007) permet de présenter des échographies d'une luxation crânio-dorsale de l'articulation coxo-fémorale.

En effet, la luxation est la pathologie affectant le plus fréquemment cette articulation chez le bovin et l'échographie permet son diagnostic (Starke et al. 2007).

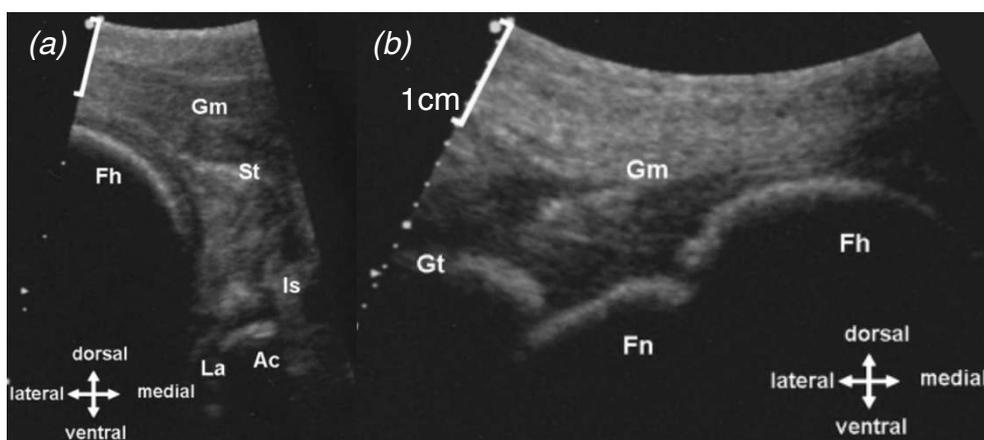


Figure 49 : Images échographiques d'une luxation crânio-dorsale de l'articulation coxo-fémorale gauche en vue dorso-latérale (Starke et al. 2007)

*Incidence dorso-latérale, coupe longitudinale avec une sonde convexe de fréquence allant de 5 à 8 MHz pour une profondeur de 6 cm (a) et 5 cm (b), sur un veau de 20 jours présentant une luxation crânio-dorsale de l'articulation coxo-fémorale gauche. Fh : tête fémorale ; Fn : col du fémur ; Ac : acétabulum ; Gt : grand trochanter ; Gm : muscles fessiers ; La : bourrelet acétabulaire ; St : tissus mous ; Is : capsule articulaire.*

Les images précédentes (Figure 49) révèlent un déplacement de la tête fémorale, se situant alors en dehors de l'acétabulum. Ce déplacement est associé à une inflammation de la synoviale et à un traumatisme des tissus mous environnants, visible par une hétérogénéité échographique de ces derniers (Starke et al. 2007).

## **D. Discussion**

Les limites de l'étude coxo-fémorale concernent tout d'abord les repères anatomiques. Ces derniers ont facilement été identifiés mais il faut garder en mémoire que les bovins échographiés dans cette étude sont des animaux hospitalisés dont beaucoup ont subi un amaigrissement.

Ainsi, la palpation du grand trochanter est importante pour définir plus précisément la zone d'échographie. L'identification visuelle de ces repères n'est pas suffisante, surtout pour les bovins allaitants bien conformés pour qui les muscles de la cuisse sont développés.

L'argument précédemment évoqué permet ensuite de discuter le choix de la sonde. En effet, en raison de la masse musculaire volumineuse de la cuisse chez les bovins, il est recommandé d'échographier l'articulation coxo-fémorale en sonde convexe pour avoir une bonne vue d'ensemble et une profondeur d'exploration suffisamment importante pour visualiser l'articulation (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014).

La sonde linéaire quant à elle offre une bonne résolution des structures tissulaires. Par contre, sur des bovins en bon état général, la profondeur de pénétration peut être insuffisante.

Pour continuer, J. Kofler invite à échographier l'articulation coxo-fémorale en vue oblique. Il définit alors la vue oblique en plaçant la sonde sur le grand trochanter puis en la déplaçant crânio-médialement vers l'extrémité crâniale du sacrum (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014). La vue oblique définie dans notre étude est différente de celle précédemment décrite. C'est donc pour cette raison que nous avons décidé tout au long de notre étude de photographier la position exacte de la sonde sur l'animal en correspondance avec l'image échographique retenue. Encore une fois, l'idée de ce travail est de présenter les points clés pour l'échographie articulaire en ayant conscience que chaque étude sera différente.

L'examen échographique nécessite d'explorer l'ensemble de la zone d'étude avant de figer des images à l'écran. Une fois cette exploration réalisée, nous avons décidé de retenir les échographies présentant le plus de structures avec un maximum de qualité.

De plus, notre travail s'est limité à une exploration transcutanée des articulations. Cependant, l'étude échographique complète de la hanche nécessite une exploration par voie rectale, qui n'a pas été réalisée ici. C'est pour cette raison que nous ne présentons pas l'échographie de l'articulation ilio-sacrée qui nécessite cet examen transrectal.

Enfin, le dernier point discutable concerne la présentation des échographies pathologiques. En effet, les échographies d'un cas de luxation de l'articulation coxo-fémorale ont été obtenues sur un veau de 20 jours (Starke et al. 2007). Or, bien que ce sujet ne rentre pas dans notre étude du fait de son âge, cette référence bibliographique illustre l'utilité de l'échographie coxo-fémorale. D'après cette étude, les résultats obtenus pour un bovin adulte sont très similaires.

Aussi, même si le diagnostic des affections coxo-fémorales est possible en radiographie et en échographie chez le jeune bovin, c'est bien l'échographie qui est à privilégier chez l'adulte en raison de sa commodité. En effet, la radiographie de l'articulation coxo-fémorale nécessite, pour le bovin adulte, un matériel de radiographie portable pas toujours présent dans les cliniques vétérinaires. D'autre part, le plan de coupe radiographique idéal pour l'articulation coxo-fémorale est réalisé sur animal debout ce qui n'est pas toujours réalisable lors d'atteinte de cette articulation. Enfin, le dernier inconvénient de l'examen radiographique concerne l'exposition aux rayons des opérateurs. Or, l'échographie permet de se libérer de cette problématique (Starke et al. 2007; Jones et al. 2022).

## **II. Articulation fémoro-tibiale et fémoro-patellaire (genou, grasset)**

### **A. Généralités sur l'articulation**

Les affections de l'articulation du grasset chez le bovin sont nombreuses et leur étiologie varie avec l'âge. Les jeunes bovins peuvent être atteints d'une luxation rotulienne latérale à la suite d'une extraction forcée lors du vêlage. Ils sont également plus souvent sujets aux arthrites septiques (Ducharme 1996).

Chez l'adulte en revanche, les arthrites du grasset sont souvent d'origine traumatique. Cette pathologie, bien que moins fréquente sur le grasset que sur le tarse, affecte notamment les vaches laitières élevées en logettes (Bernhard et al. 2020). De plus, les lésions méniscales ou ligamentaires, pouvant toucher les ligaments collatéraux latéral et médial et/ou les ligaments croisés, sont toujours associées à une arthrite d'origine traumatique chez l'adulte (Kofler 1999).

Ainsi, quel que soit l'âge, l'animal présente une boiterie avec une incapacité à maintenir le membre en extension et une difficulté à supporter son poids sur le membre atteint (Ducharme 1996). À l'examen rapproché, le grasset présente en général un épanchement articulaire ou un gonflement diffus en lien avec l'affection.

Or, ces anomalies engendrent une difficulté à définir avec précision la nature des tissus touchés. L'échographie est alors la technique de diagnostic permettant d'identifier les troubles musculo-squelettiques et tissulaires de l'articulation du grasset (Kofler 1999).

## **B. Anatomie articulaire**

L'articulation du grasset aussi appelée articulation **fémoro-tibio-patellaire** est formée de deux parties : l'articulation **fémoro-patellaire** et l'articulation **fémoro-tibiale**.

L'articulation fémoro-patellaire unit la surface articulaire de la **patelle** (ou rotule) complétée par deux **fibro-cartilages para patellaires** (un médial et un latéral) à la **trochlée fémorale**. L'articulation fémoro-tibiale oppose quant à elle l'extrémité distale du fémur formée par le **condyle latéral** et le **condyle médial** aux **condyles tibiaux** portés par le **plateau tibial** et surmontés des **ménisques** latéral et médial.

Les moyens d'union de l'articulation du grasset sont donc nombreux. Ils correspondent tout d'abord à la vaste **capsule articulaire** s'attachant à l'extrémité distale du fémur et autour du plateau tibial, tout en incluant la face crâniale de la patelle. L'ensemble est ensuite uni par les **ligaments de la rotule** et les **ligaments fémoro-tibiaux**.

Les ligaments de la rotule correspondent aux deux **ligaments fémoro-patellaires** (médial et latéral) et au **ligament patellaire intermédiaire** entouré des **ligaments patellaires latéral et médial**.

Enfin, les **ligaments fémoro-tibiaux** correspondent à la **membrane caudale fibreuse**, aux **deux ligaments collatéraux** (médial et latéral), aux **ligaments croisés** (crânial et caudal) et au **ligament ménisco-fémoral**.

En complément des moyens d'union ainsi décrits, l'articulation du grasset est maintenue par de nombreux tendons et muscles.

Pour finir, l'articulation est composée de trois synoviales : une **synoviale dorsale** appelée **fémoro-patellaire** formant un **récessus crânial** entre le fémur et la patelle et communiquant avec les deux **synoviales caudales fémoro-tibiales** latérale et médiale. Notons également la présence de multiples bourses synoviales appartenant à des terminaisons tendineuses (Barone 2020).

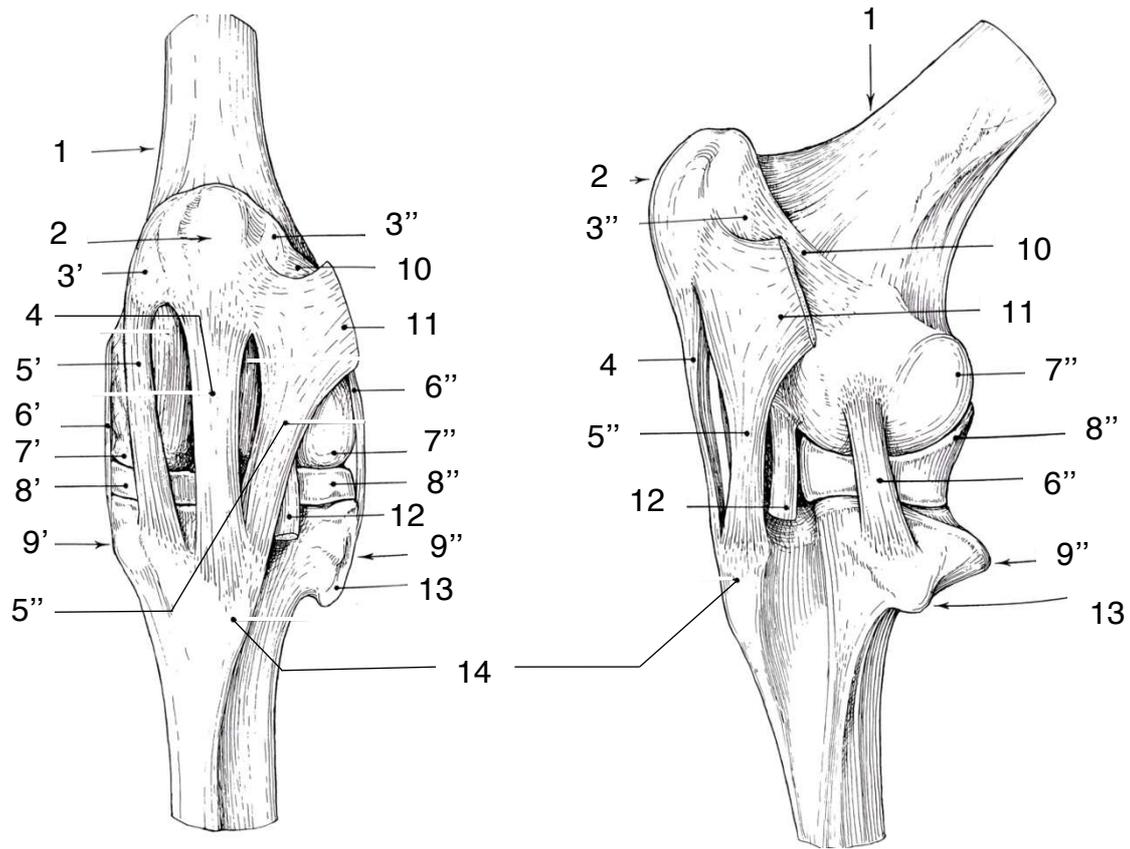


Figure 50 : Schémas simplifiés de l'articulation du grasset gauche en vue crâniale (à gauche) et en vue latérale (à droite) (d'après (Barone 2020))

1 : fémur, 2 : patelle, 3 : fibro-cartilages para patellaires médial (3') et latéral (3''), 4 : ligament patellaire intermédiaire, 5 : ligaments patellaires médial (5') et latéral (5''), 6 : ligaments collatéraux médial (6') et latéral (6''), 7 : condyles fémoraux médial (7') et latéral (7''), 8 : ménisques médial (8') et latéral (8''), 9 : condyles tibiaux médial (9') et latéral (9''), 10 : ligament fémoro-patellaire latéral, 11 : tendon du muscle glutéobiceps, 12 : tendon du muscle long extenseur des doigts et troisième péronier, 13 : fibula, 14 : tubérosité tibiale.

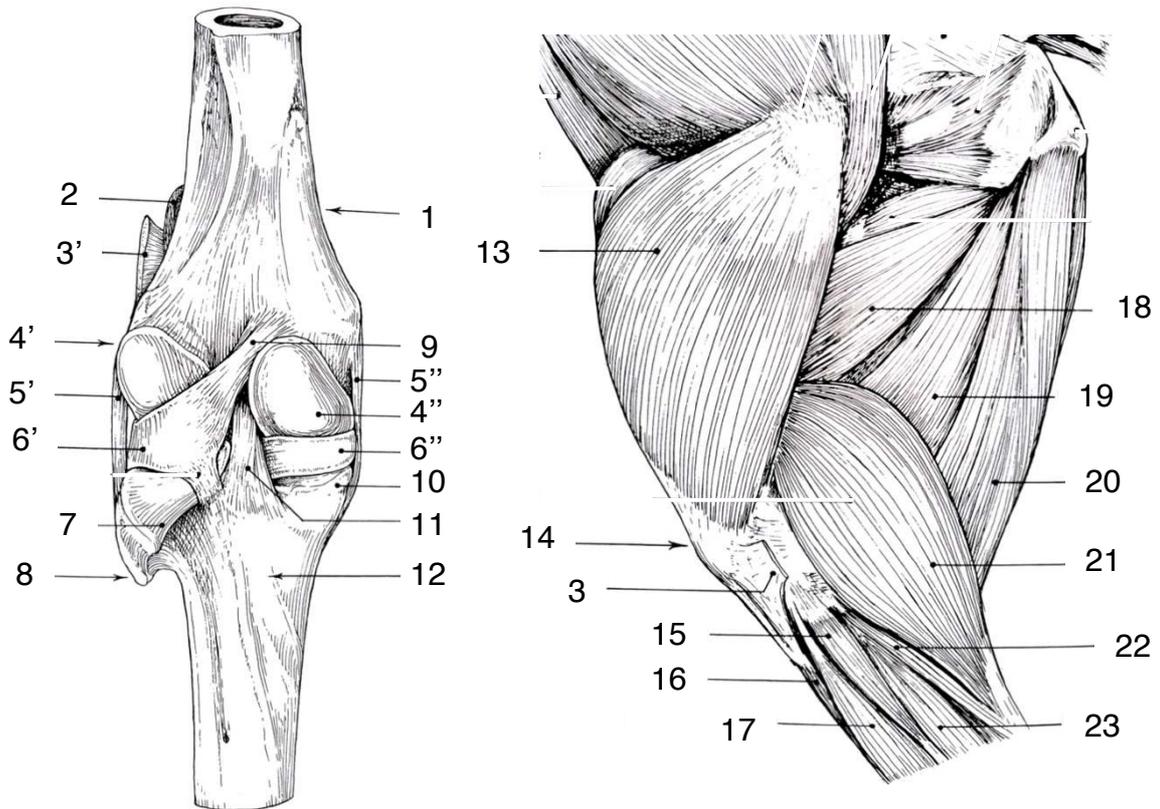


Figure 51 : Schémas simplifiés de l'articulation du grasset gauche en vue caudale (capsule articulaire retirée) et des muscles de la cuisse après ablation des muscles glutéobiceps et tenseur du fascia lata en vue latérale (d'après (Barone 2020))

1 : fémur, 2 : fibro-cartilage para patellaire latéral, 3 : muscle glutéobiceps et son tendon (3'), 4 : condyles fémoraux latéral (4') et médial (4''), 5 : ligaments collatéraux latéral (5') et médial (5''), 6 : ménisques latéral (6') et médial (6''), 7 : surface de glissement du muscle poplité, 8 : fibula, 9 : ligament ménisco-fémoral, 10 : condyle tibial médial, 11 : ligament croisé caudal, 12 : tibia, 13 : muscle quadriceps fémoral, 14 : patelle, 15 : muscle long péronier, 16 : muscle tibial crânial, 17 : muscle long extenseur des doigts, 18 : muscle adducteur de la cuisse, 19 : muscle semi-membraneux, 20 : muscle semi-tendineux, 21 : muscle gastrocnémien, 22 : Muscle soléaire, 23 : muscle extenseur du doigt latéral.

## C. Techniques échographiques

### 1. Repères anatomiques, sondes et coupes

Tout d'abord, pour repérer l'articulation fémoro-patellaire, nous avons identifié la **patelle** en face crâniale par palpation. Ce geste est important à retenir car il permet d'orienter le diagnostic en cas de luxation de la patelle. Ainsi, l'aire d'échographie de l'articulation fémoro-patellaire en face crâniale se situe dorsalement à la patelle.

L'articulation fémoro-tibiale se situe quant à elle ventralement à l'articulation fémoro-patellaire. Nous pouvons alors la repérer grâce à l'identification de la **tubérosité tibiale** en face dorso-latérale et aux **condyles fémoral** et **tibial** en face latérale. En fonction du profil du bovin, il est possible d'identifier ces repères visuellement, mais il est en général nécessaire de palper la zone pour les situer de façon exacte. En effet, le grasset est l'une des articulations, avec l'épaule et la hanche, où les muscles sont les plus volumineux. Enfin, il est possible en fonction des cas d'identifier les **ligaments collatéraux**.

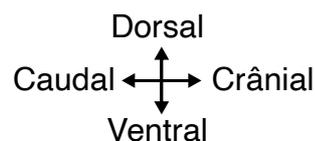
À partir des repères précédemment définis, nous avons échographié les articulations du grasset avec une sonde convexe ayant une fréquence comprise entre 5 et 6,6 MHz pour une profondeur moyenne de 10 cm en coupe longitudinale.

L'utilisation de la sonde linéaire est plus compliquée pour ces articulations car la surface de contact n'est pas suffisante. De plus, elle ne permet pas d'obtenir une vue d'ensemble des structures articulaires.

## 2. Aspects échographiques physiologiques du grasset

La présentation des échographies de l'articulation du grasset commence tout d'abord par l'articulation fémoro-patellaire en vue crâniale. Nous visualisons alors le ligament patellaire intermédiaire, situé au-dessus de l'espace articulaire unissant la patelle au fémur. Le muscle quadriceps fémoral est également visible dorsalement sur l'échographie présentée (Figure 52).

La réalisation de l'échographie a été limitée à la face crâniale du fait de la difficulté pour visualiser l'articulation fémoro-patellaire sur les autres faces.



Photographie 25 : Emplacement de la sonde sur la face crâniale de l'articulation fémoro-patellaire droite

(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

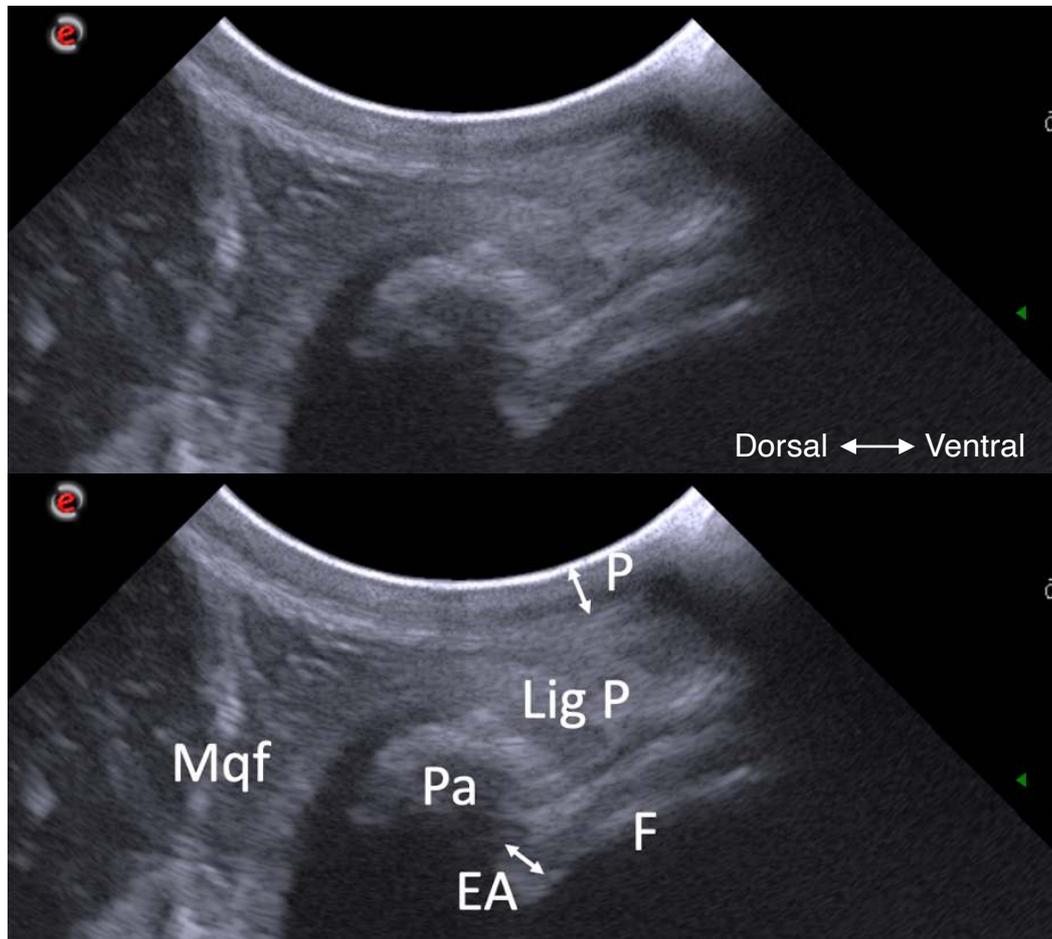
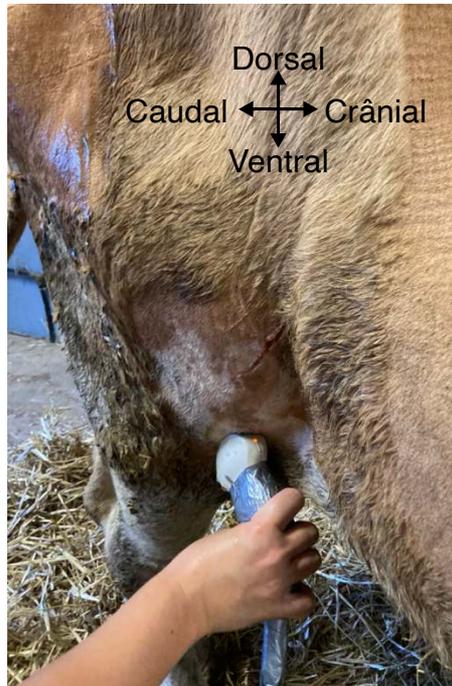


Figure 52 : Images échographiques de l'articulation saine fémoro-patellaire droite en vue crâniale  
 (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence crânio-caudale, coupe longitudinale avec une sonde convexe, de fréquence 6,6 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Simmental de 6 ans, intoxiquée aux glands. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace artulaire ; Pa : patelle ; F : fémur ; Mqf : muscle quadriceps fémoral ; Lig P : ligament patellaire (intermédiaire).*

Ensuite, à partir de la face crâniale de l'articulation fémoro-patellaire, nous avons déplacé ventralement la sonde échographique de quelques centimètres. Pour se faire, il est nécessaire de garder le ligament patellaire intermédiaire précédemment identifié comme ligne directrice.

Nous arrivons alors sur l'articulation fémoro-tibiale en vue crâniale, caractérisée par le condyle fémoral en position dorsale et le condyle tibial ventralement. Ces surfaces osseuses sont séparées d'un espace artulaire et surmontées du ligament patellaire intermédiaire utilisé comme repère.



Photographie 26 : Emplacement de la sonde sur la face crâniale de l'articulation fémoro-tibiale droite  
 (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

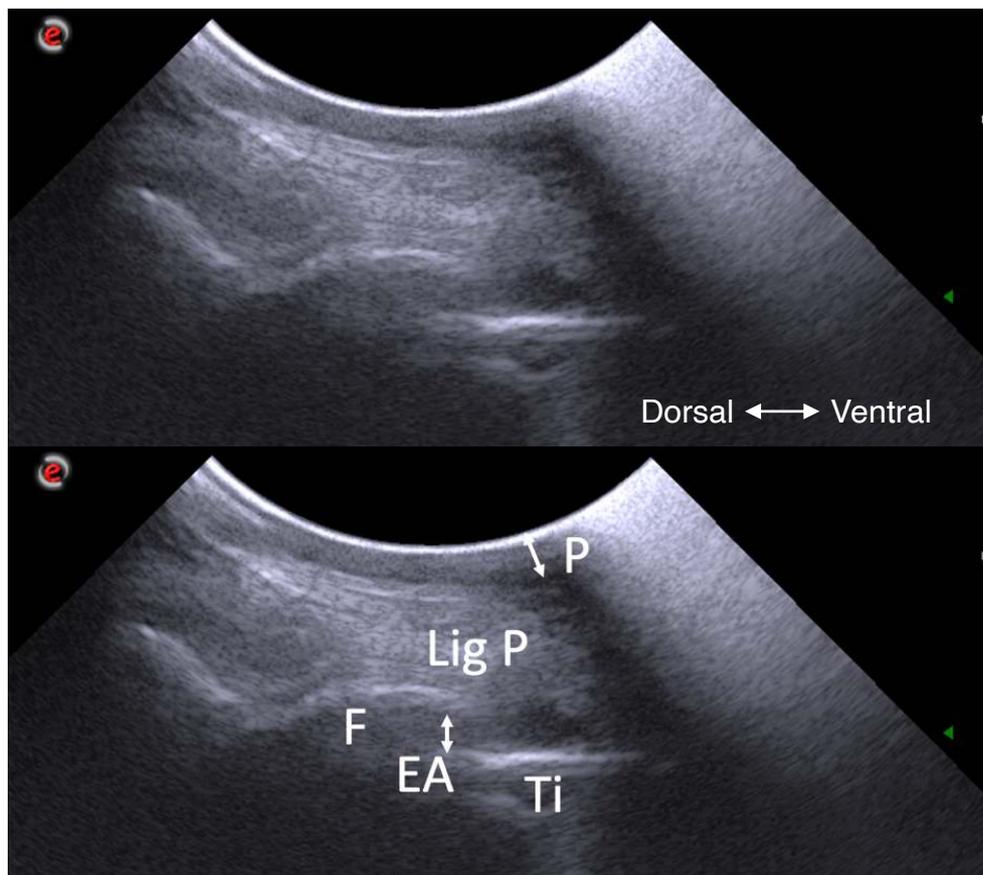
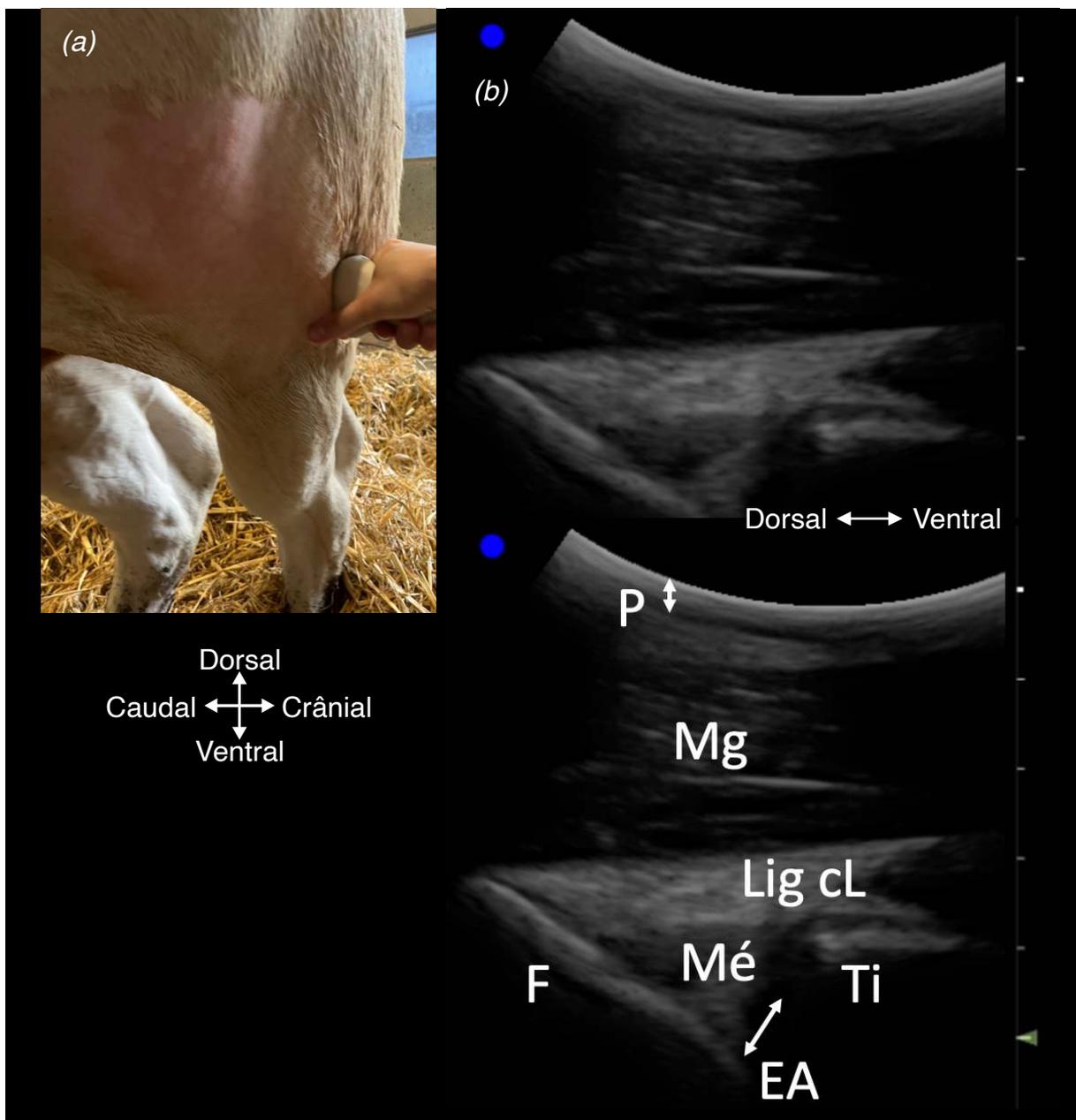


Figure 53 : Images échographiques de l'articulation saine fémoro-tibiale droite en vue crâniale  
 (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence crânio-caudale, coupe longitudinale avec une sonde convexe, de fréquence 6,6 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Simmental de 6 ans, intoxiquée aux glands. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Ti : tibia ; F : fémur ; Lig P : ligament patellaire.*

Enfin, sur la face latérale de l'articulation fémoro-tibiale, nous identifions l'espace articulaire entre le fémur et le tibia. L'espace articulaire contient une structure triangulaire moins échogène que le ligament collatéral latéral situé au-dessus, correspondant au ménisque articulaire latéral. L'ensemble est recouvert par le muscle gastrocnémien en superficie.



Photographie 27 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation fémoro-tibiale gauche

Figure 54 : (b) Images échographiques de l'articulation saine fémoro-tibiale gauche en vue latérale (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde convexe, de fréquence 5 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Blonde d'Aquitaine de 10 ans, souffrant de listériose. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Ti : tibia ; F : fémur ; Mg : muscle gastrocnémien ; Lig cL : ligament collatéral latéral ; Mé : ménisque.*

### 3. Aspects échographiques pathologiques du grasset

Nous n'avons pas eu l'occasion d'échographier des troubles articulaires du grasset au cours de nos travaux. Cependant, l'étude (Nuss et al. 2011) permet de présenter quelques différences échographiques en particulier pour les tissus mous de l'articulation du grasset.

En effet, les auteurs examinent des bovins adultes présentant des lésions dues à un gonflement chronique sur la face latérale du grasset. Ils démontrent alors un lien de causalité entre ces lésions et la présence d'un nématode (*Onchocerca gutturosa*) dans le tissu musculaire. Au stade adulte, ce parasite affecte les ligaments patellaires et entraînent la formation de nodules à l'origine de tendinites. Cette étude décrit alors les conséquences observées par technique échographique (Nuss et al. 2011).

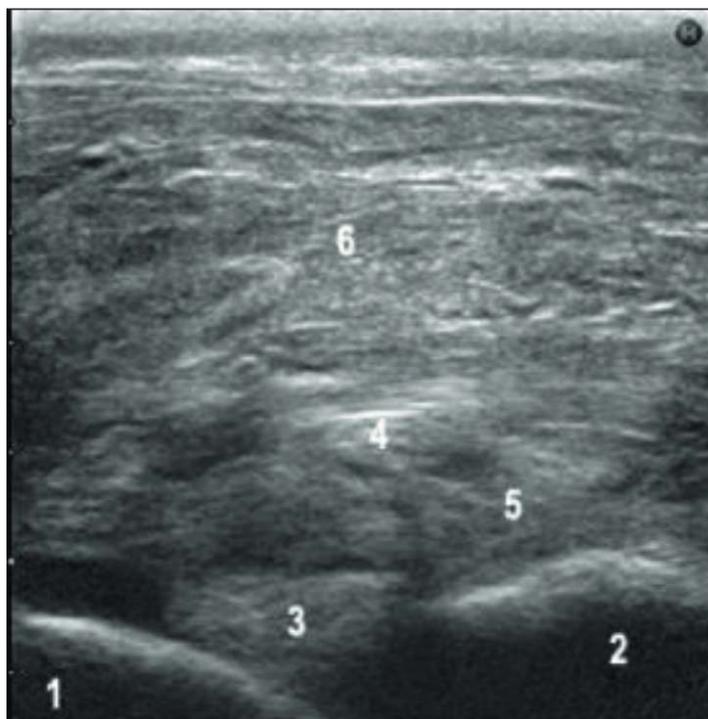


Figure 55 : Image échographique d'un gonflement chronique de la face latérale de l'articulation fémoro-tibiale en lien avec la présence d'*Onchocerca gutturosa* (Nuss et al. 2011)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale sur une vache cliniquement malade. 1 : condyle fémoral latéral ; 2 : condyle tibial latéral ; 3 : ménisque latéral ; 4 : ligament collatéral latéral peu visible ; 5 : zone de tissu nécrotique avec formation de tissu de granulation ; 6 : gonflement des tissus mous dans la zone d'insertion du muscle glutéobiceps.*

L'échographie précédente (Figure 55) illustre ainsi un gonflement des tissus mous identifiable par une hétérogénéité de l'échogénéité du muscle glutéobiceps.

L'aspect échographique du muscle est ainsi très différent de celui visible sur les images de la partie précédente (Figure 54).

De plus, avec ce type d'affection, le ligament collatéral latéral est moins visible qu'en situation physiologique en raison d'une zone de tissu nécrotique interposée entre ce dernier et les surfaces articulaires.

Ainsi, bien que cette pathologie soit rare en France, la présentation de l'image précédente permet d'insister sur l'intérêt de l'échographie pour identifier l'origine des tissus atteints. Cette technique d'imagerie s'oppose alors à la radiographie qui, à la différence, ne permet pas d'identifier l'origine des lésions. En effet, les lésions décrites par les auteurs sur une radiographie se restreignent à un gonflement des tissus mous dans la région du grasset ainsi qu'à la présence d'irrégularités du condyle tibial latéral (Nuss et al. 2011).

## **D. Discussion**

Dans nos travaux, l'échographie de l'articulation du grasset est réalisée en sonde convexe, comme recommandé par les études bibliographiques (Kofler 1999). En effet, anatomiquement le grasset est soutenu par de nombreux muscles notamment le gastrocnémien en position caudale. Du fait de sa forme, la sonde convexe est donc la plus adaptée afin d'obtenir une surface de contact suffisante. De plus, l'utilisation de faibles fréquences est nécessaire pour avoir une profondeur d'examen suffisante. Certaines études conseillent même de diminuer au maximum la fréquence d'utilisation de la sonde pour l'étude de l'articulation en vue caudale (Reef, Whittier, Allam 2004).

Pour continuer, les échographies du grasset ne sont présentées dans notre étude qu'en face crâniale et latérale. Comme évoqué précédemment et malgré les réglages échographiques précisés dans la littérature, nous n'avons pas réussi à obtenir d'image de l'articulation en vue caudale. La profondeur d'examen maximale utilisée lors des manipulations n'était pas suffisante face à la taille du muscle gastrocnémien des bovins de l'étude.

De plus, comme pour le coude, nous avons rencontré des difficultés à localiser l'articulation. De ce fait, l'échographie du grasset en face latérale a nécessité de revoir à plusieurs reprises la définition de l'aire d'échographie de cette face. Nous avons surtout étendu cette dernière latéro-caudalement. En effet, lors des premières échographies, nous avons placé la sonde en face latérale mais la présence du muscle gastrocnémien nous a conduit à tort à placer notre sonde plus crânialement. Les images alors obtenues ne permettaient pas d'identifier le ménisque articulaire.

Enfin, aucune échographie n'est disponible en vue médiale pour des raisons de sécurité. De plus, le grasset est une articulation symétrique entre le plan latéral et médial. Cet argument nous a donc motivé à délaissier l'étude de la face médiale pour ne pas prendre de risque inutile.

Pour terminer, la dernière limite concerne la visualisation de l'intégralité des structures articulaires, notamment ligamentaires. En effet, les pathologies fréquemment rencontrées sur le grasset sont souvent associées à des ruptures ligamentaires. Or, l'idée initiale de l'échographie au stade physiologique était de suivre l'ensemble du trajet du ligament permettant alors d'identifier rapidement un cas de rupture de ce dernier.

Cependant, en raison des mouvements incessants des animaux, des difficultés à repérer les structures anatomiques avec exactitude et de la perte de contact, nous n'avons pas réussi à réaliser ce travail. Les affections sont en général plus faciles à échographier que les structures saines en raison des processus qui les accompagnent (œdème, gonflement...).

### III. Articulations du tarse (jarret)

#### A. Généralités sur l'articulation

Les causes de boiteries affectant le jarret des bovins varient en fonction du mode d'élevage.

En production allaitante, les boiteries du jarret sont le plus souvent d'origine traumatique. Elles surviennent à la suite d'accidents de reproduction ou lors de combats entre reproducteurs pouvant entraîner une rupture de la corde du jarret au niveau de son insertion sur le tubercule calcanéen (Anderson, Desrochers, St. Jean 2008).

En production laitière, les vaches élevées en logettes sont quant à elles sujettes à des plaies cutanées, des ulcérations ou encore des gonflements d'origine inflammatoire sur le tarse. Ces blessures sont initialement superficielles et localisées de préférence en région latérale du tarse et sur les faces latérale et médiale du tubercule calcanéen. Cependant, en pratique, la prise en charge de ces problèmes est couramment retardée ce qui peut entraîner des conséquences plus importantes telles qu'une inflammation septique de la bourse calcanéenne sous-tendineuse ou encore une arthrite de l'articulation tarso-crurale (Kofler, Sullmann 2021).

L'échographie est donc une technique permettant un diagnostic précoce de ces pathologies.

#### B. Anatomie articulaire

Le tarse est formé de trois rangées d'os : **talus**, **os malléolaire** (fibula) et **calcanéus** sont situés à l'extrémité proximale en contact avec l'**os centroquartale** de la rangée médiale. Ensuite, l'extrémité distale est constituée de l'**os tarsal I** et l'**os tarsal II-III** en contact avec l'**os métatarsien**. Le jarret contient donc plusieurs articulations unissant l'ensemble avec le tibia et le métatarse. On trouve alors les articulations : **cruro-tarsienne**, **intertarsiennes** (regroupant les articulations talo-calcanéenne, médio-tarsienne et intertarsiennes distales) et **tarso-métatarsienne**.

L'articulation cruro-tarsienne unit l'os tibial, le talus, l'os malléolaire et le calcanéus. Les moyens d'union de cette articulation sont les **ligaments collatéraux** (latéral et médial), formés chacun d'une portion longue et d'une portion courte, les **deux membranes fibreuses** (dorsale et plantaire), le **ligament fibulo-talien plantaire** et le **ligament tibio-talien plantaire**.

La synoviale cruro-tarsienne est très étendue et forme un récessus parfaitement limité du côté dorsal en s'insérant entre les trochlées proximale et distale du talus. De plus, cette synoviale est toujours séparée de la synoviale médio-tarsienne sur la face dorsale. Du côté plantaire en revanche, elle communique avec la synoviale talo-calcaneenne par l'intermédiaire de la synoviale médio-tarsienne. Le tarse est donc formé de trois récessus articulaires : deux plantaires et un dorsal.

Les moyens d'union au sein de l'articulation talo-calcaneenne sont le **ligament talo-calcaneen interosseux** et le **ligament talo-calcaneen latéral**. La synoviale est vaste et communique comme précédemment évoqué avec les synoviales cruro-tarsienne et médio-tarsienne.

Ensuite, l'articulation médio-tarsienne entre le talus, l'os centroquartale et le calcanéus est maintenue en plus des ligaments descendants de l'étage supérieur par les **ligaments dorsaux**, les **ligaments plantaires** et le **ligament interosseux**.

Les articulations intertarsiennes distales quant à elles sont unies en plus des moyens d'unions globaux par les ligaments dorsaux, les ligaments interosseux et le ligament plantaire distal. La synoviale de cette articulation est formée de deux récessus situés entre les deux os tarsaux et communique avec la synoviale tarsométatarsienne.

Enfin, les moyens d'union de l'articulation tarsométatarsienne s'ajoutant à ceux décrits précédemment sont les **ligaments dorsaux**, le **ligament tarso-métatarsien interosseux** et le **ligament tarso-sésamoïdien**. La synoviale à ce niveau est étendue et présente un récessus qui remonte plus ou moins autour du tendon du muscle long péronier à la face latérale du tarse (Barone 2020).

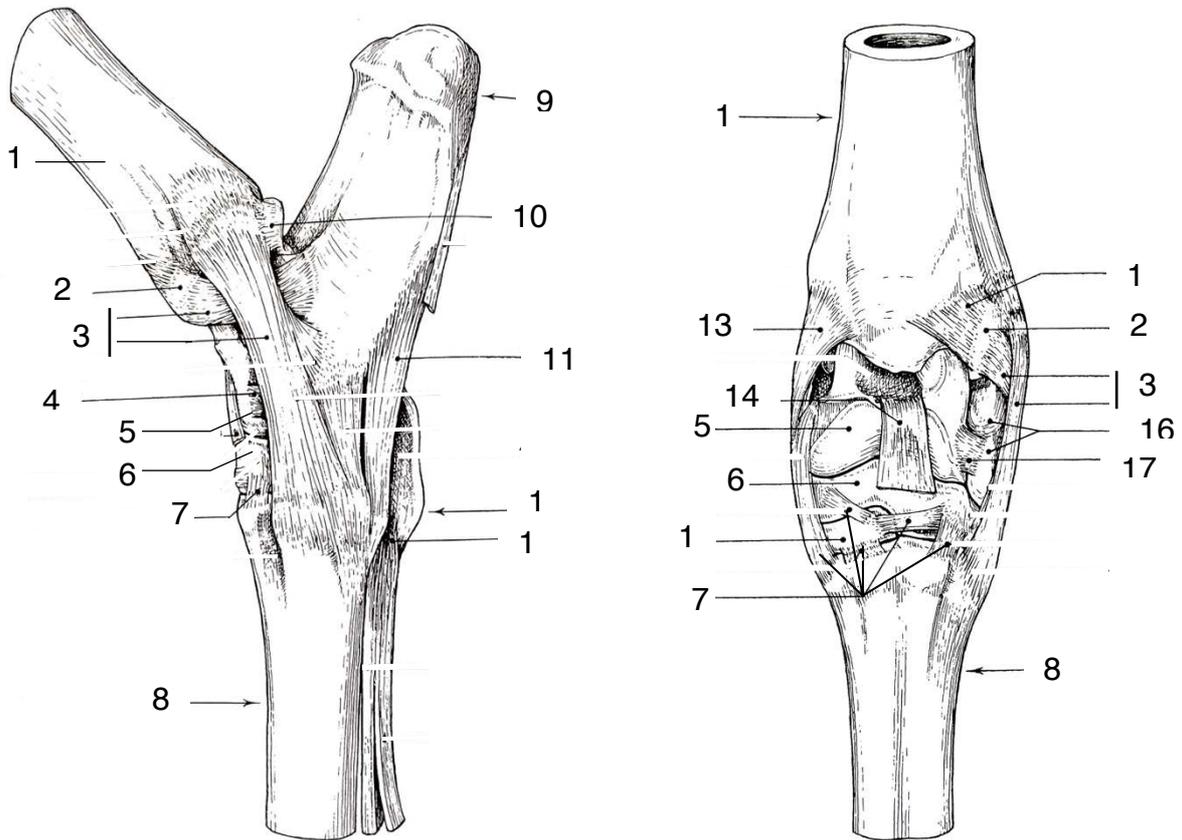


Figure 56 : Schémas simplifiés des articulations du tarse, en face latérale (à gauche) et en face dorsale (à droite) avec les os et les ligaments (d'après (Barone 2020))

1 : tibia, 2 : os malléolaire, 3 : ligament collatéral latéral, 4 : ligament talo-calcanéen latéral, 5 : talus, 6 : os centroquartale, 7 : ligaments dorsaux, 8 : os métatarsien III-IV, 9 : tubercule calcanéen, 10 : ligament fibulo-talien plantaire, 11 : ligament plantaire, 12 : Os sésamoïde métatarsien, 13 : ligament collatéral médial, 14 : ligament talo-métatarsien, 15 : os tarsal II-III, 16 : calcanéus, 17 : ligament talo-calcanéen latéral.

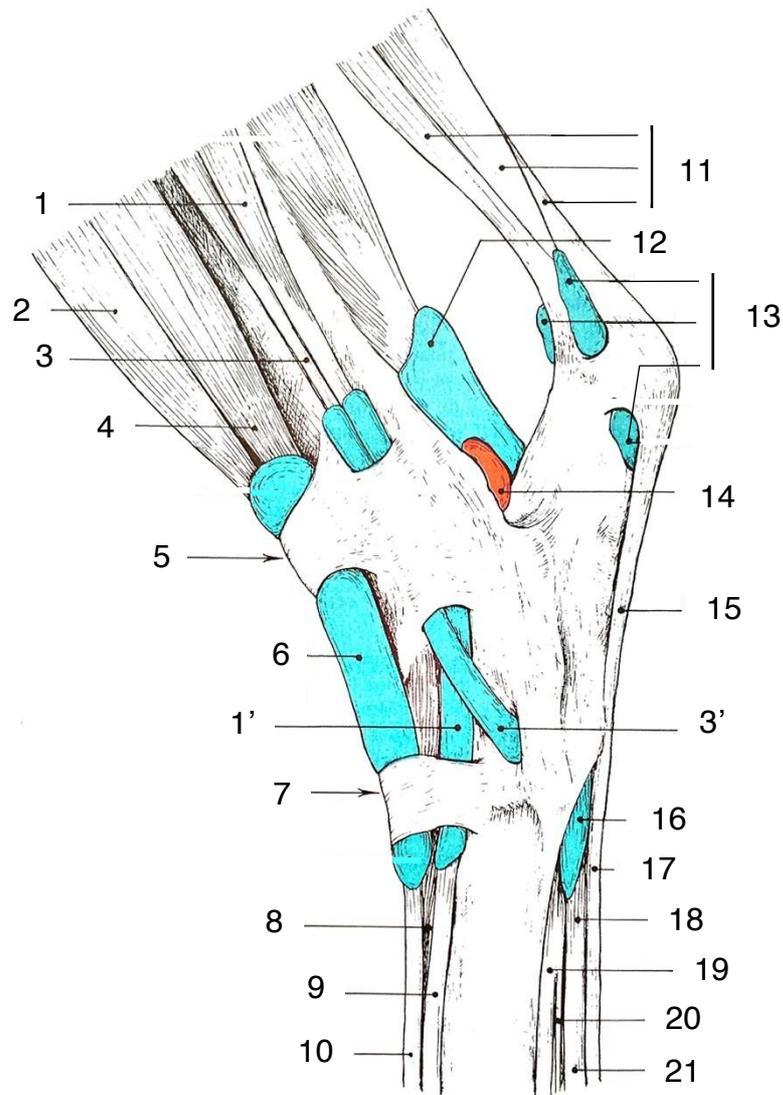


Figure 57 : Schéma simplifié des articulations du tarse, en face latérale représentant ses tendons, leur gaine et les synoviales (d'après (Barone 2020))

1 : muscle extenseur du doigt latéral et sa gaine synoviale (1'), 2 : muscle troisième péronier, 3 : muscle long péronier et sa gaine synoviale (3'), 4 : muscle long extenseur des doigts, 5 : bride tibiale, 6 : récessus dorsal, 7 : bride métatarsienne, 8 : muscle court extenseur du doigt, 9 : tendon du muscle extenseur du doigt latéral, 10 : tendon du muscle long extenseur des doigts, 11 : tendon calcanéen commun (corde du jarret), 12 : gaine synoviale du tendon du muscle fléchisseur latéral des doigts, 13 : récessus de la bourse sténoïdeuse du muscle gastrocnémien, 14 : récessus plantaire, 15 : tendon du muscle fléchisseur superficiel des doigts, 16 : récessus distal, 17 : tendon du muscle fléchisseur superficiel des doigts, 18 : tendon du muscle fléchisseur latéral des doigts, 19 : muscle interosseux IV, 20 : ligament accessoire, 21 : tendon fléchisseur profond des doigts.

## **C. Techniques échographiques**

### **1. Repères anatomiques, sondes et coupes**

Les repères anatomiques définis au préalable sur l'animal sont les **ligaments collatéraux** pour les faces latérale et médiale. Sur la face dorsale, nos repères correspondent aux extrémités du **récessus dorsal**. Enfin, nous avons identifié le **tubercule calcanéen** et le **récessus plantaire latéral** sur la face latérale.

Les échographies des articulations du jarret ont été réalisées avec les trois sondes disponibles. Cependant, la sonde linéaire utilisée à une fréquence de 7,5 MHz a permis d'échographier seulement la face dorsale du jarret, en coupe longitudinale et transversale. Nous avons échographié les faces dorsale, latérale et médio-dorsale du jarret avec la sonde convexe en coupes longitudinale et transversale à une fréquence de 5,0 MHz pour une profondeur de 10 cm.

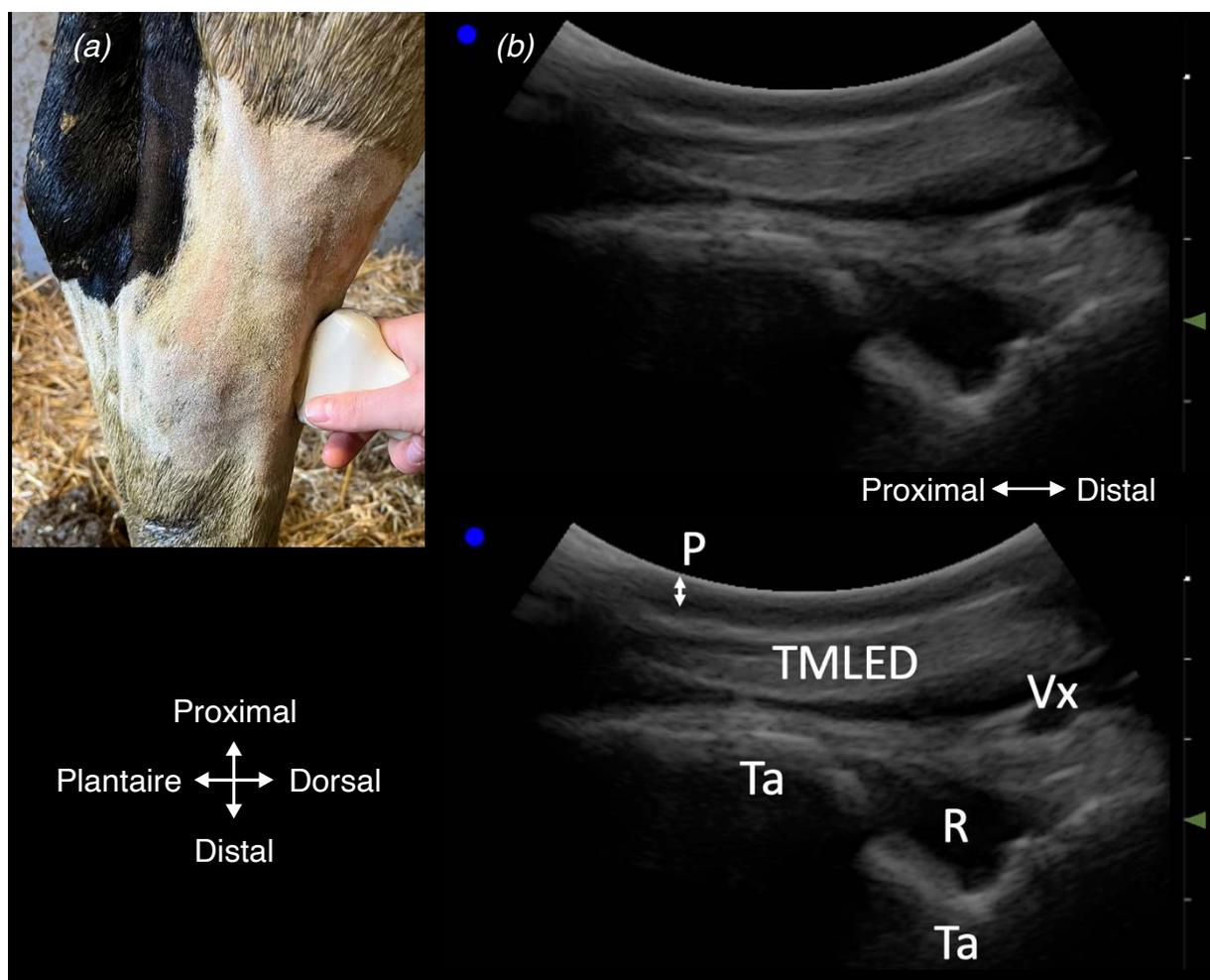
Enfin, il a été difficile d'échographier le récessus plantaire latéral du jarret car la surface de contact à cet endroit est extrêmement limitée. Seule la sonde linéaire tendon a permis d'obtenir des images correctes de cette face de l'articulation. Nous avons alors utilisé cette sonde à une fréquence de 10 MHz avec une profondeur de 5 cm.

### **2. Aspects échographiques physiologiques du tarse**

Tout d'abord, nous avons placé la sonde convexe sur l'articulation cruro-tarsienne en face dorsale. À cet endroit, même si nous ne visualisons pas l'espace articulaire sur l'échographie, nous identifions le talus avec sa forme en V dont la pointe correspond à la trochlée. L'espace anéchogène situé au-dessus de la trochlée correspond au récessus articulaire appelé récessus dorsal.

Les autres structures identifiables sont le tendon du muscle long extenseur des doigts ainsi que la présence d'un vaisseau sanguin.

Enfin, il est important de noter que l'espace anéchogène interrompant la surface osseuse du talus correspond à un artefact échographique et non pas à un espace articulaire (c'est pourquoi l'os du talus est légendé à deux reprises sur la Figure 58).



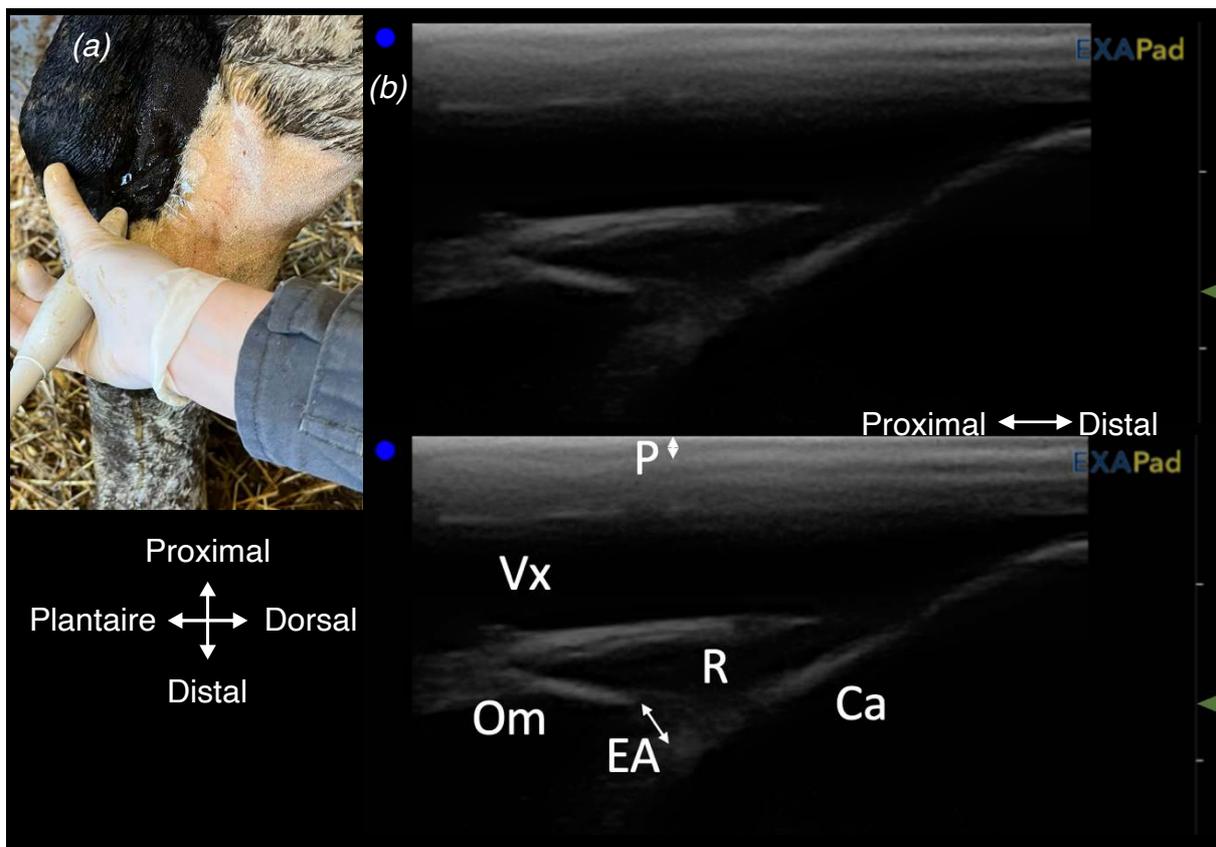
Photographie 28 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation cruro-tarsienne droite

Figure 58 : (b) Images échographiques de l'articulation cruro-tarsienne saine droite en vue dorsale  
(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence dorso-plantaire, coupe longitudinale avec une sonde convexe de fréquence 5 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de la caillette.*  
P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; R : récessus articulaire ; Ta : talus ; TMLED : tendon du muscle long extenseur des doigts ; Vx : vaisseaux.

Ensuite, nous avons utilisé la sonde linéaire tendon sur la face latérale de l'articulation cruro-tarsienne pour des raisons pratiques. L'échographie de cette face nous semble primordiale en situation saine malgré les difficultés de réalisation car il s'agit de la face principalement échographiée pour identifier précocement une affection du jarret.

Nous identifions alors l'articulation cruro-tarsienne unissant l'os malléolaire et le calcanéus avec son récessus articulaire.

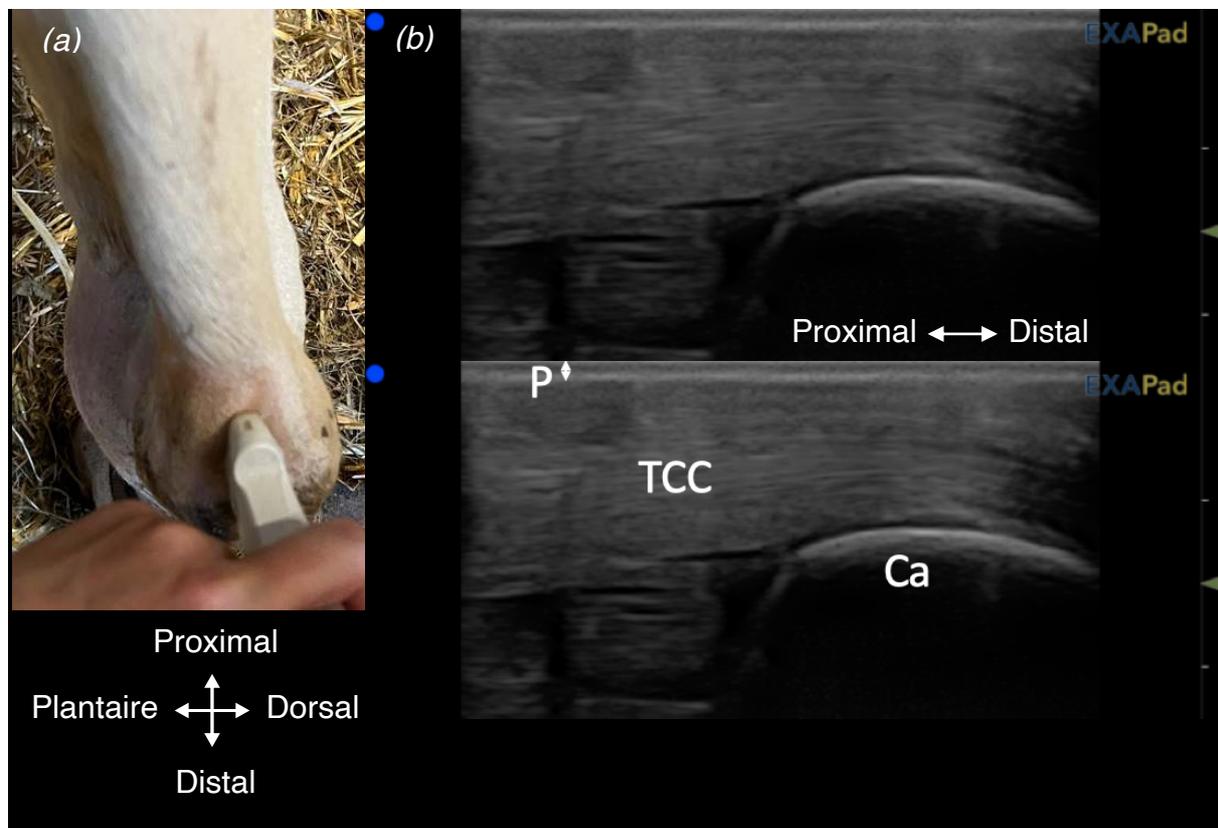


Photographie 29 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation cruro-tarsienne droite

Figure 59 : (b) Images échographiques de l'articulation cruro-tarsienne saine droite en vue latérale (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde linéaire tendon de fréquence 10 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de la caillette.*  
*P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; R : récessus articulaire ; Om : os malléolaire ; Ca : calcanéus ; Vx : vaisseaux.*

Concernant la face plantaire, nous avons placé la sonde linéaire tendon au-dessus du tubercule calcanéen. L'objectif ici, même si les images ne permettent pas de voir d'espace articulaire, est d'obtenir une échographie de la corde du jarret en situation physiologique.



Photographie 30 : (a) Emplacement de la sonde sur la face plantaire du tubercule calcanéen droit

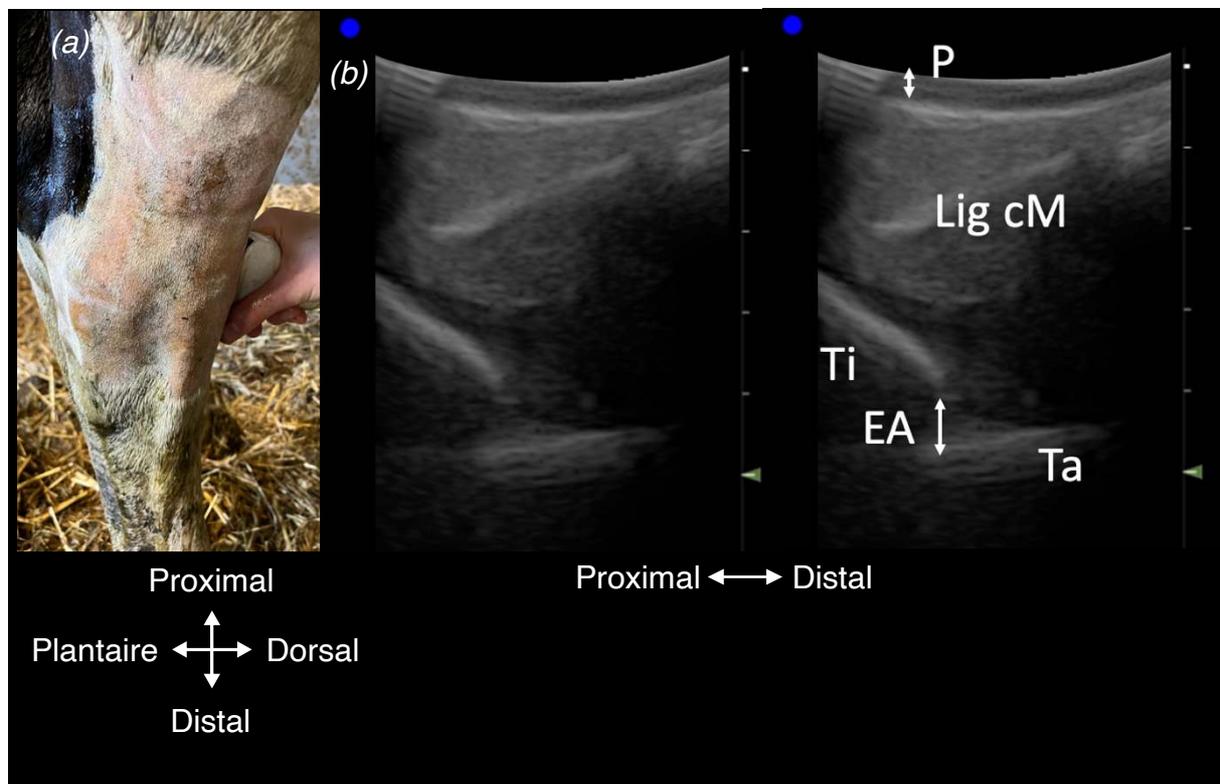
Figure 60 : (b) Images échographiques du tubercule calcanéen sain en vue plantaire

(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence planto-dorsale, coupe longitudinale avec une sonde tendon de fréquence 7,5 MHz et de profondeur 6 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de la caillette.*

*P : peau et tissu conjonctif ; Ca : Calcaneus ; TCC : Tendon calcanéen commun (corde du jarret).*

Enfin, l'échographie de l'articulation cruro-tarsienne en face médiale est limitée à une vue dorso-médiale pour des raisons de sécurité. Les structures identifiables sont l'espace articulaire entre le tibia et le talus mais également le ligament collatéral médial.



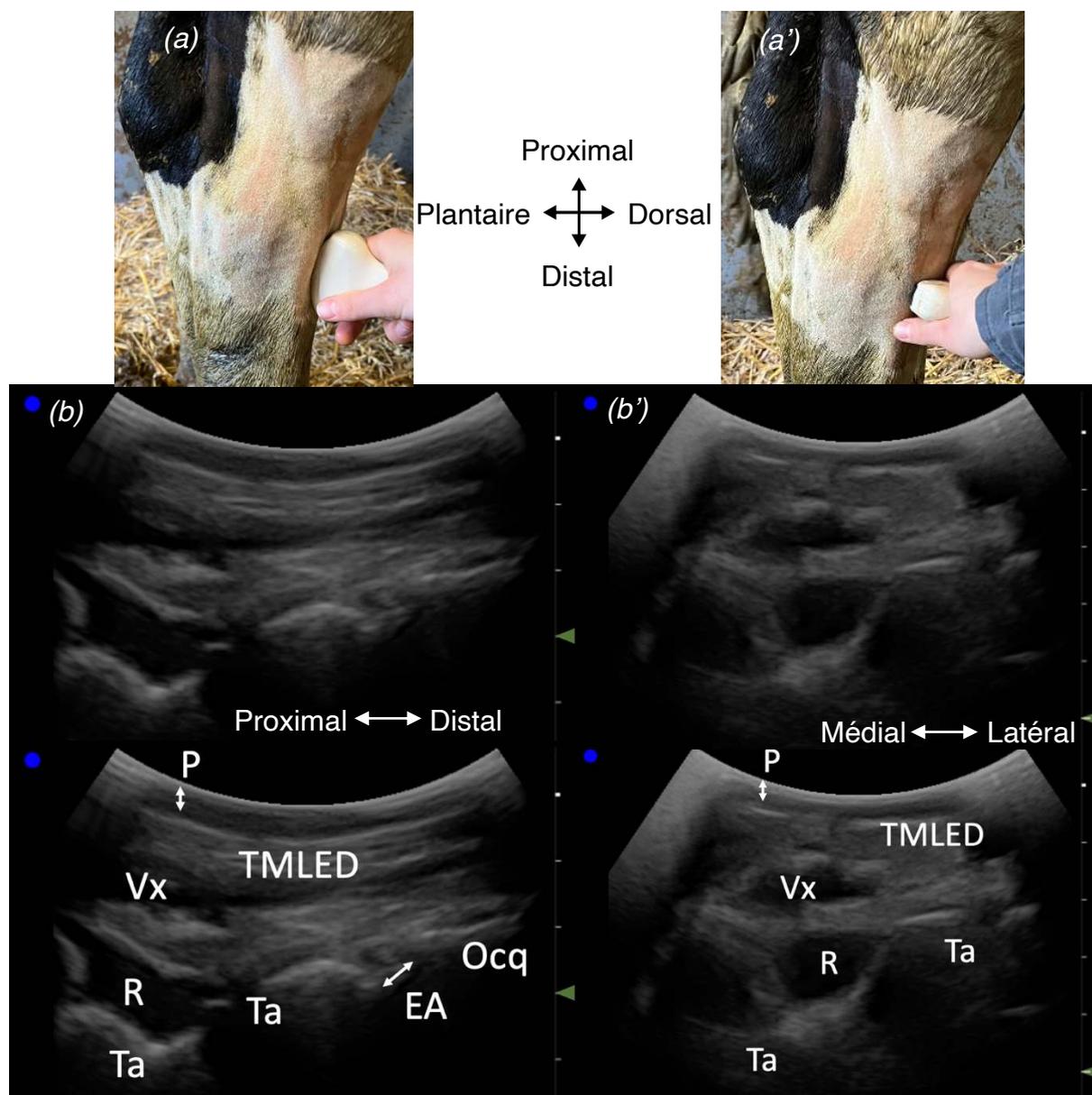
Photographie 31 : (a) Emplacement de la sonde sur la face médiale de l'articulation cruro-tarsienne droite

Figure 61 : (b) Images échographiques de l'articulation cruro-tarsienne saine droite en vue médiale (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence médio-latérale, coupe longitudinale avec une sonde convexe de fréquence 5 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de la caillette. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Ti : tibia ; Ta : talus ; Lig cM : ligament collatéral médial long.*

Nous arrivons ensuite à l'étage inférieur du jarret correspondant à l'articulation médio-tarsienne. Les échographies présentées (Figures 62) pour cette articulation sont obtenues en face dorsale seulement, en raison d'une faible surface de contact avec la sonde sur les autres faces.

En face dorsale, les coupes longitudinale et transversale sont quasiment identiques. La seule différence concerne l'espace articulaire entre l'os centroquartale et le talus qui est plus facilement identifiable sur la coupe longitudinale.



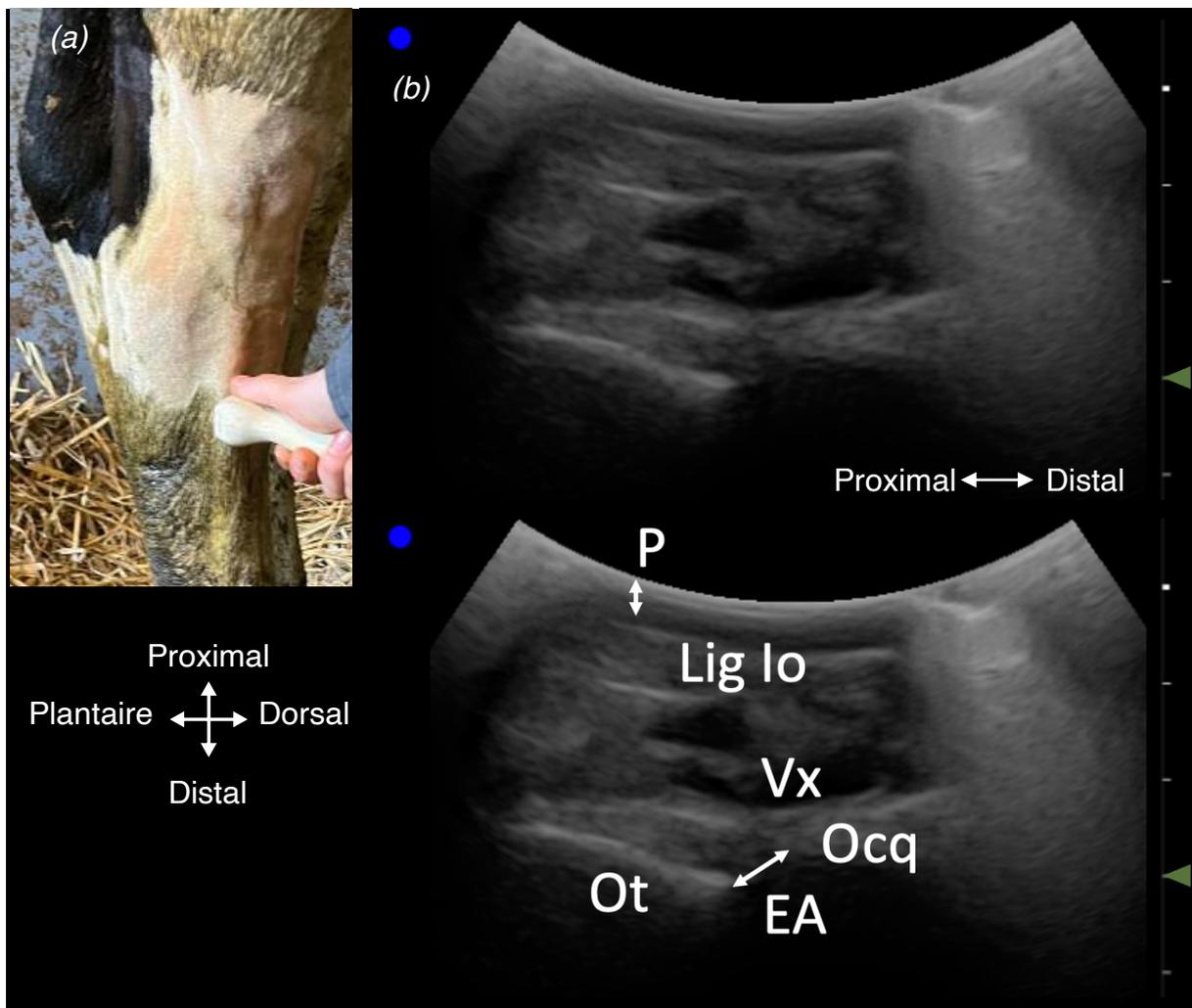
Photographies 32 : (a) et (a)' : Emplacements de la sonde en face dorsale, respectivement en coupe longitudinale et transversale

Figures 62 : (b) et (b)' : Images échographiques comparatives de l'articulation médio-tarsienne saine droite, respectivement en coupe longitudinale et transversale

(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

Incidence dorso-plantaire avec une sonde convexe, de fréquence 5 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de la caillette. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; R : récessus articulaire ; Ta : talus ; Ocq : Os centroquartal ; TMLED : tendon du muscle long extenseur des doigts ; Vx : vaisseaux.

Le dernier étage échographié en vue dorsale correspond à l'articulation intertarsienne distale. En coupe transversale nous identifions l'os tarsal II-III, l'os centroquartale et plus superficiellement le ligament interosseux ainsi qu'un vaisseau sanguin.

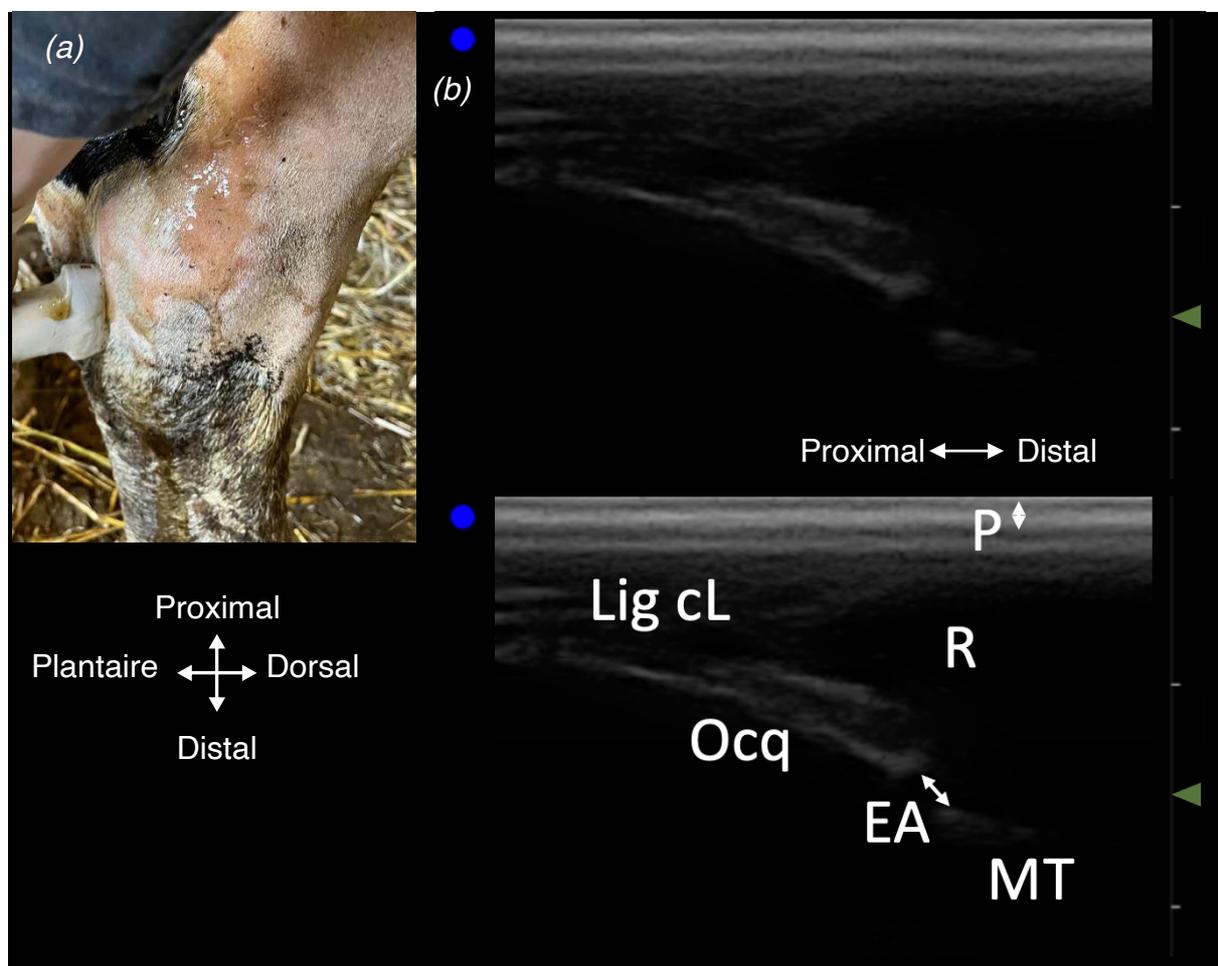


Photographie 33 : (a) Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation intertarsienne distale droite

Figure 63 : (b) Images échographiques de l'articulation intertarsienne saine droite en vue dorsale (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence dorso-plantaire, coupe transversale avec une sonde convexe de fréquence 5 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de la caillette.*  
*P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Ot : os tarsal II-III ; Ocq : os centroquartale ; Lig Io : ligament interosseux ; Vx : vaisseaux.*

Enfin, la dernière échographie du jarret présentée est obtenue en coupe longitudinale sur la face latérale de l'articulation tarso-métatarsienne. Les images mettent en évidence, en plus de l'espace articulaire avec son récessus, le ligament collatéral latéral.



Photographie 34 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation tarso-métatarsienne distale droite

Figure 64 : (b) Images échographiques de l'articulation tarso-métatarsienne saine droite en vue latérale

(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde linéaire tendon de fréquence 10 MHz et de profondeur 5 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de la caillette.*

*P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; R : récessus articulaire ; Ocq : os centroquartal ; MT : métatarses ; Lig cL : ligament collatéral latéral.*

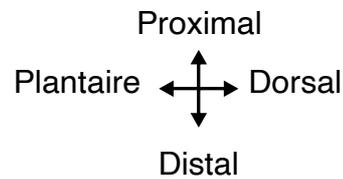
### **3. Aspects échographiques pathologiques du tarse**

En supplément de l'étude physiologique des articulations, nous avons eu la possibilité d'échographier des bovins ayant une arthrite du jarret. La présentation de ces images permet donc de comprendre rapidement les différences avec l'aspect physiologique.

Tout d'abord, le premier cas étudié est une vache Prim'Holstein ayant une arthrite septique en début d'évolution. À l'examen clinique, l'animal présentait une difficulté à se lever associée à un très léger gonflement de l'articulation et une légère rougeur du jarret droit, seulement visible après la tonte.

L'échographie en face dorsale de l'articulation cruro-tarsienne a révélé une légère distension du récessus articulaire avec un contenu liquidien anéchogène. Ce liquide contenait de petites structures échogènes mises en mouvement au passage de la sonde échographique.

L'échographie d'une arthrite septique de l'articulation cruro-tarsienne présentée sur la Figure 65 illustre quelques différences possibles avec l'aspect physiologique exposé dans la partie précédente.



Photographie 35 : Emplacement de la sonde sur la face dorsale de l'articulation cruro-tarsienne droite  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

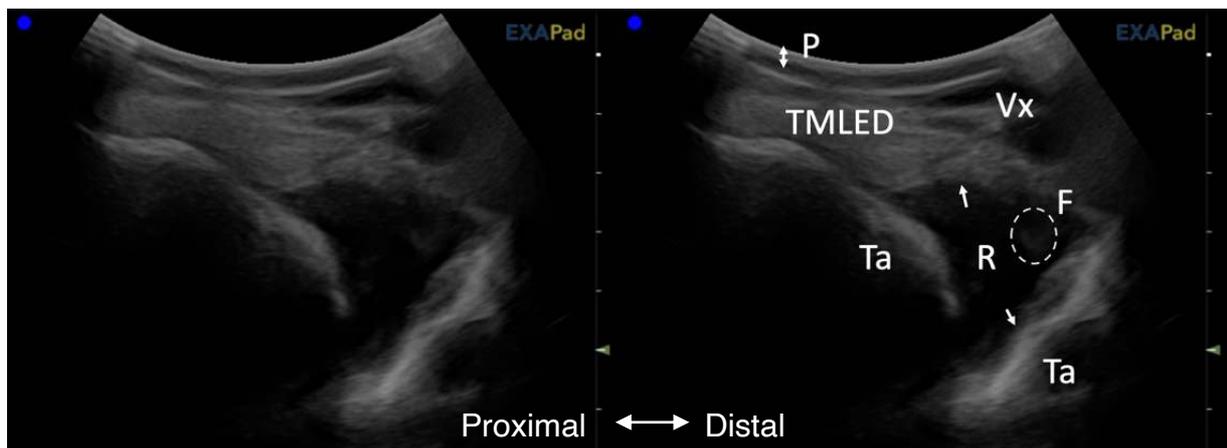


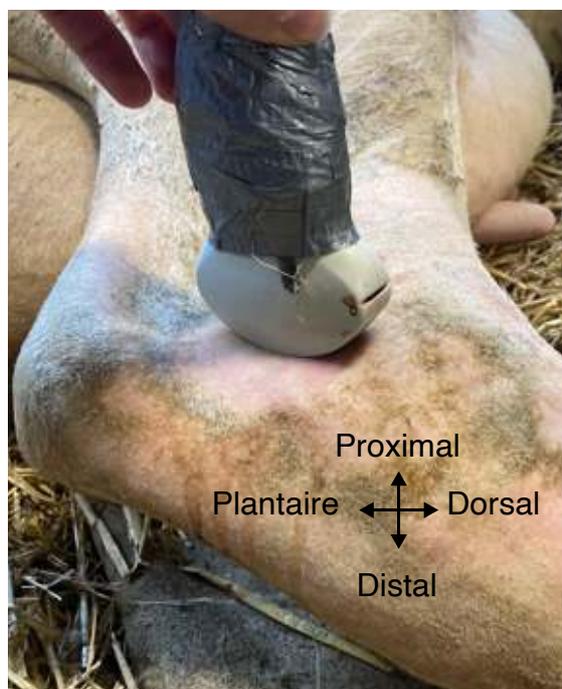
Figure 65 : Images échographiques d'une arthrite septique débutante de l'articulation cruro-tarsienne droite en vue dorsale  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence dorso-palmaire, coupe longitudinale avec une sonde convexe de fréquence 5 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, opérée d'un déplacement de caillette et présentant une arthrite du jarret droit en début d'évolution. P : peau et tissu conjonctif ; R : récessus articulaire distendu ; F : flammèches de fibrine présentes dans le récessus (mis en mouvement par la sonde) ; TMLED : tendon du muscle long extenseur des doigts ; Ta : talus ; Vx : vaisseaux.*

La seconde échographie concerne une vache Prim'Holstein hospitalisée à l'E.N.V.T. pour une polyarthrite associée à un décubitus sternal. Elle présentait un gonflement marqué du jarret droit notamment sur sa face latérale. Ce gonflement a permis d'échographier l'articulation cruro-tarsienne sans difficulté de contact avec la sonde.

Les échographies sur la Figure 66 mettent donc en évidence une distension marquée du récessus articulaire plantaire contenant un liquide plus échogène qu'en situation physiologique traduisant une cellularité du liquide synovial. Nous identifions également la capsule articulaire qui est visible et épaissie.

En complément à l'échographie, la ponction articulaire réalisée a révélé la présence d'un liquide synovial de nature séro-hémorragique.



Photographie 36 : Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation cruro-tarsienne droite  
(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

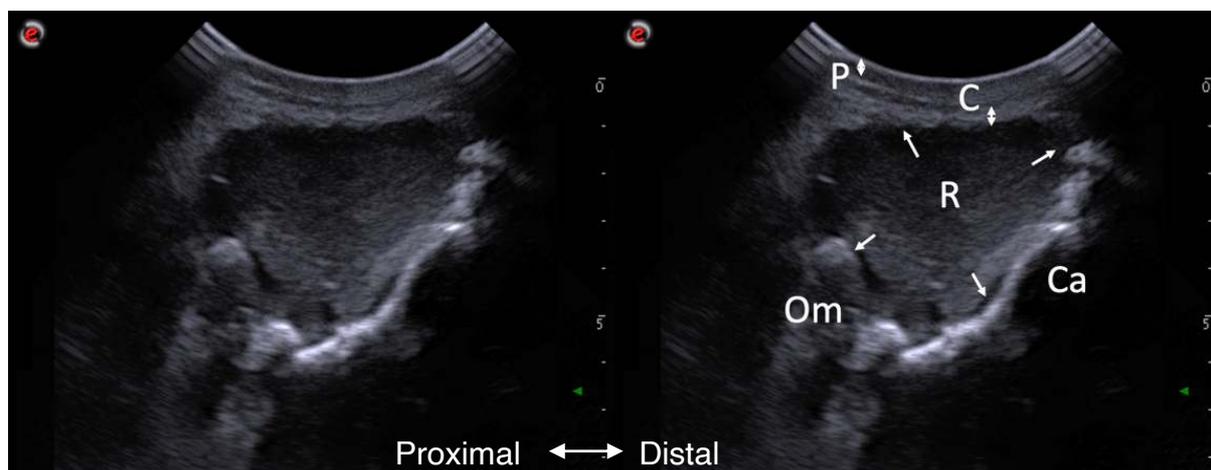


Figure 66 : Images échographiques d'une arthrite septique marquée de l'articulation cruro-tarsienne droite en vue latérale

(source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde convexe de fréquence 6,6 MHz et de profondeur 12 cm, sur une vache Prim'Holstein de 6 ans, en décubitus sternal suite à une polyarthrite. P : peau et tissu conjonctif ; C : capsule articulaire visible et épaissie ; R : récessus articulaire distendu contenant un liquide échogène ; Om : os malléolaire ; Ca : calcaneus.*

Les deux cas pathologiques précédents présentent ainsi quelques différences par rapport aux structures saines. L'aspect échographique physiologique établit une référence permettant par la suite de comparer et de pouvoir identifier les différences sans nécessité de connaître parfaitement l'affection. C'est en ce sens qu'il est toujours recommandé d'imager en échographie mais également en radiographie d'examiner le membre atteint ainsi que le membre controlatéral.

## **D. Discussion**

Tout d'abord, la première limite concerne la contention de l'animal. Nous n'avons utilisé aucun moyen de contention du membre étudié afin d'avoir une posture physiologique des articulations. L'abord médial du jarret a donc été restreint à l'échographie de la face dorso-médiale pour des raisons de sécurité.

De plus, de manière générale, nous avons rencontré plus de difficultés à manipuler le membre pelvien en raison de la présence de mouches. Avec la gêne occasionnée par ces insectes, l'immobilité du membre est limitée à de plus courtes périodes que pour le membre thoracique.

Nous avons ensuite choisi les repères anatomiques sur le tarse en fonction des différentes affections rencontrées. Ainsi, (Kofler, Sullmann 2021) prend comme repère anatomique le tubercule calcanéen en cas d'inflammation septique de la bourse calcanéenne. De même, en cas d'arthrite septique du tarse, le récessus dorsal et le récessus plantaire latéral sont définis comme des sites d'arthrocentèse et de lavage articulaire par (Mulon, Desrochers, Francoz 2016).

Nous avons donc utilisé ces repères tout en gardant un regard critique pour la suite des interprétations échographiques. En situation physiologique, il est parfois difficile de délimiter précisément les structures telles que le récessus plantaire latéral. De plus, nous n'avons pas réalisé de radiographie ou de dissection des articulations avant les échographies permettant de vérifier l'exactitude de structures anatomiques présentes à l'emplacement de la sonde. Nous avons donc essayé d'identifier au mieux les structures à l'aide de repères facilement identifiables tout en ayant conscience de l'existence de quelques approximations.

Les échographies du tarse sont réalisées avec des sondes différentes des recommandations de la littérature. En effet, de nombreux ouvrages recommandent l'utilisation de la sonde linéaire avec une fréquence variant de 5 à 10 MHz (Kofler, Geissbühler, Steiner 2014). Or, lors de la sélection des échographies à présenter, les images obtenues en sonde linéaire n'ont pas été retenues en raison d'une mauvaise qualité en lien avec la difficulté de contact avec la zone en l'absence de gonflement.

De plus, les échographies des articulations du tarse en sonde convexe et en sonde linéaire tendon permettent d'apporter des images supplémentaires au répertoire bibliographique des échographies des articulations du jarret des bovins.

Enfin, comme évoqué à de multiples reprises, il est globalement très difficile d'échographier les articulations saines du tarse. En effet en face latérale, plus précisément à l'endroit où le contour caudal du tibia rencontre le contour crânial du calcaneus, la surface de contact avec la sonde est très restreinte. Or, lors d'affection, cette face est régulièrement échographiée car elle est facile d'accès en raison des gonflements présents à cet endroit. Nous avons donc à cœur d'imager la zone malgré les difficultés afin d'obtenir une échographie physiologique de référence.

De plus, la présence d'œdème, même léger, influence le contraste des échographies en lien avec l'échogénéité des liquides ce qui permet d'identifier plus facilement les structures présentes sur l'image.

Nous comprenons donc que l'échographie des articulations saines du jarret présente quelques limites notamment en termes d'identification des structures anatomiques et de réalisation de la totalité des faces.

# Partie 6 : Articulations du tronc et de la tête

Les articulations synoviales ne se limitent pas à l'appareil locomoteur. En effet, elles sont aussi présentes sur le tronc et la tête.

## I. Articulation temporo-mandibulaire

### A. Généralités sur l'articulation

L'articulation temporo-mandibulaire joue un rôle important chez le bovin adulte en assurant la mastication du bol alimentaire. Cette articulation lorsqu'elle est soumise à un trouble pathologique est responsable de signes cliniques non spécifiques tels que des difficultés à la prise alimentaire, à la mastication et une ouverture de la bouche douloureuse.

Même si les troubles de l'articulation temporo-mandibulaire sont rares chez le bovin, J. Kofler recommande l'utilisation de l'échographie pour réaliser un diagnostic d'exclusion de ce type d'affection en cas de problème de mastication ou de gonflement de la région temporo-mandibulaire (Borges 2016).

### B. Anatomie articulaire

L'articulation temporo-mandibulaire se situe entre le **processus zygomatique** de l'**os temporal** et le **processus condyalaire** de la **mandibule**. Un **disque articulaire** est situé entre les deux surfaces articulaires afin de faire concorder ces deux dernières. Le disque articulaire est formé d'une lame fibro-cartilagineuse insérée sur la capsule articulaire. Chez les bovins, le disque articulaire est plus large sur sa partie rostrale.

Les moyens d'union de l'articulation correspondent à la **capsule articulaire** complète lâche et mince, renforcée par le **ligament latéral**. En complément, les

**muscles masticateurs** entourent et contribuent fortement au maintien de cette articulation.

Enfin, la synoviale est complètement divisée par le disque articulaire en deux étages superposés (Budras, Habel 2011; Barone 2020).

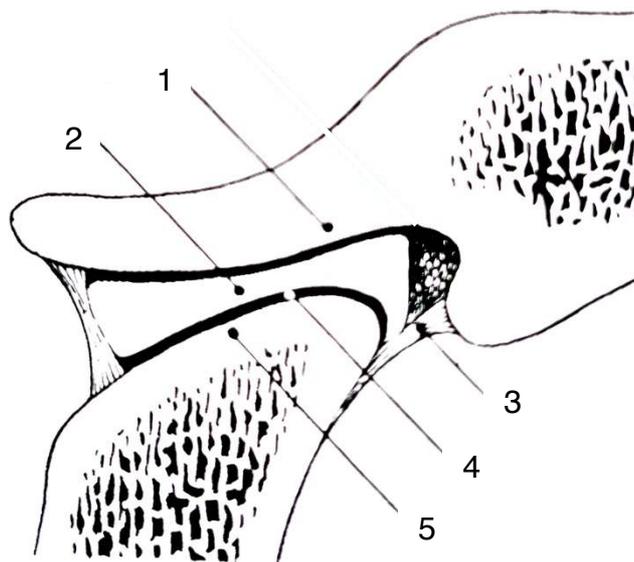


Figure 67 : Schéma simplifié de l'articulation temporo-mandibulaire en coupe sagittale (d'après (Barone 2020))

1 : Base de l'apophyse zygomatique (surface articulaire temporale), 2 : disque articulaire, 3 : capsule articulaire, 4 : cavité articulaire ventrale, 5 : condyle mandibulaire (surface articulaire).

## **C. Techniques échographiques**

### **1. Repères anatomiques, sondes et coupes**

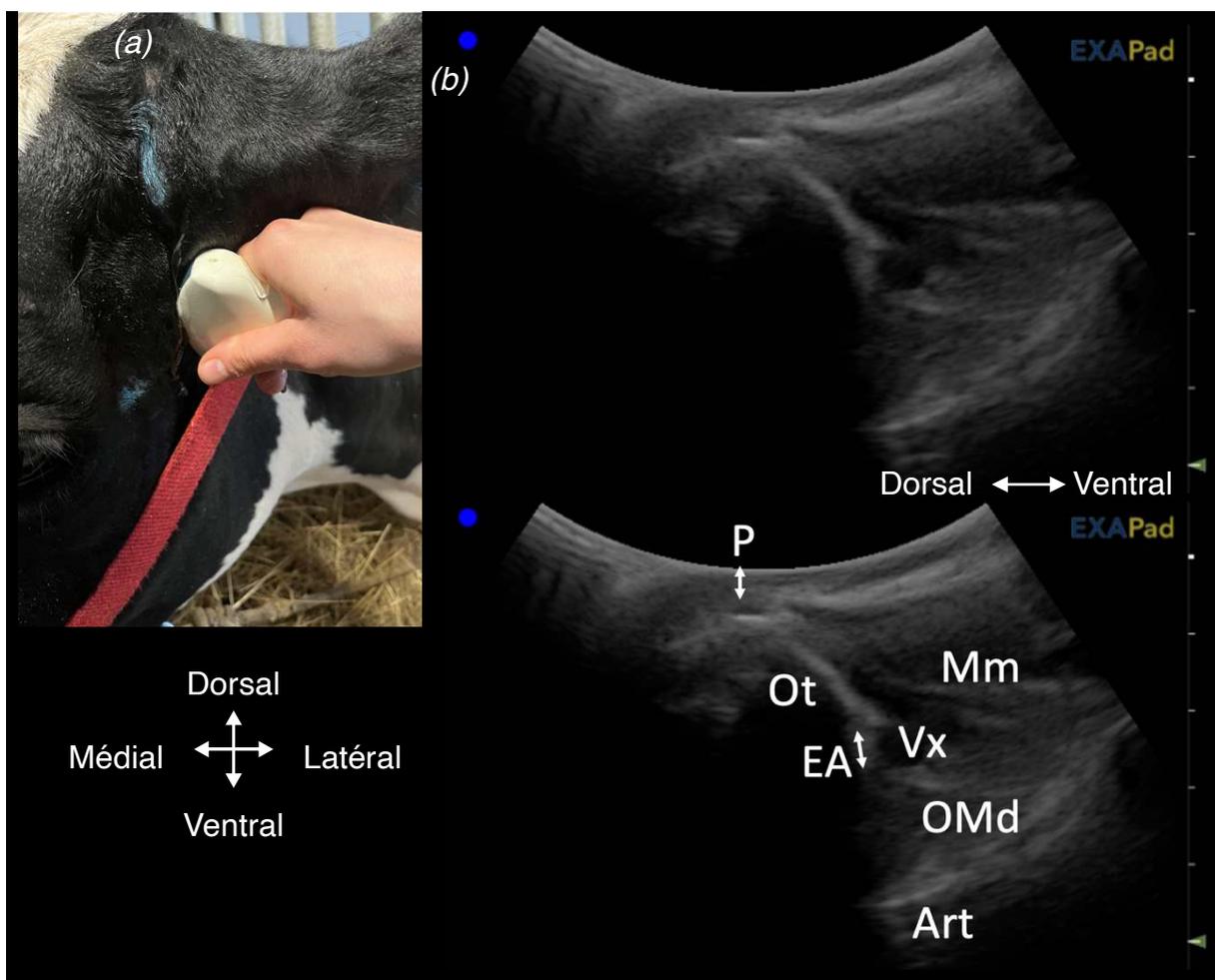
Les repères anatomiques utilisés en premier lieu ont été définis à partir de l'article de (Borges 2016). En effet, l'articulation temporo-mandibulaire est située en dessous de l'**arcade zygomatique** délimitée anatomiquement par le **canthus latéral de l'œil** et la **base de l'oreille**. La sonde est positionnée le plus proche de la base de l'oreille en étant perpendiculaire à l'arcade zygomatique. Cela correspond alors à la vue latérale de l'articulation. Il est ensuite possible de déplacer l'aire d'examen rostralement et caudalement par rotation de l'extrémité dorsale de la sonde tout en gardant l'extrémité ventrale fixe (Borges 2016).

Une fois les repères définis nous avons échographié l'articulation avec la sonde convexe à une fréquence de 10 MHz et la sonde linéaire avec une fréquence de

7,5 MHz, tuotes deux à 10 cm de profondeur. Seules les vues latérales et caudo-latérales ont permis d'obtenir des échographies interprétables.

## 2. Aspects échographiques physiologiques

Dans un premier temps, l'échographie en vue latérale de l'articulation avec une sonde convexe de fréquence 5 MHz permet d'identifier l'espace articulaire entre l'os temporal et l'os mandibulaire. Nous voyons de plus le muscle masséter et le passage d'un vaisseau sanguin en position ventrale par rapport à l'articulation.



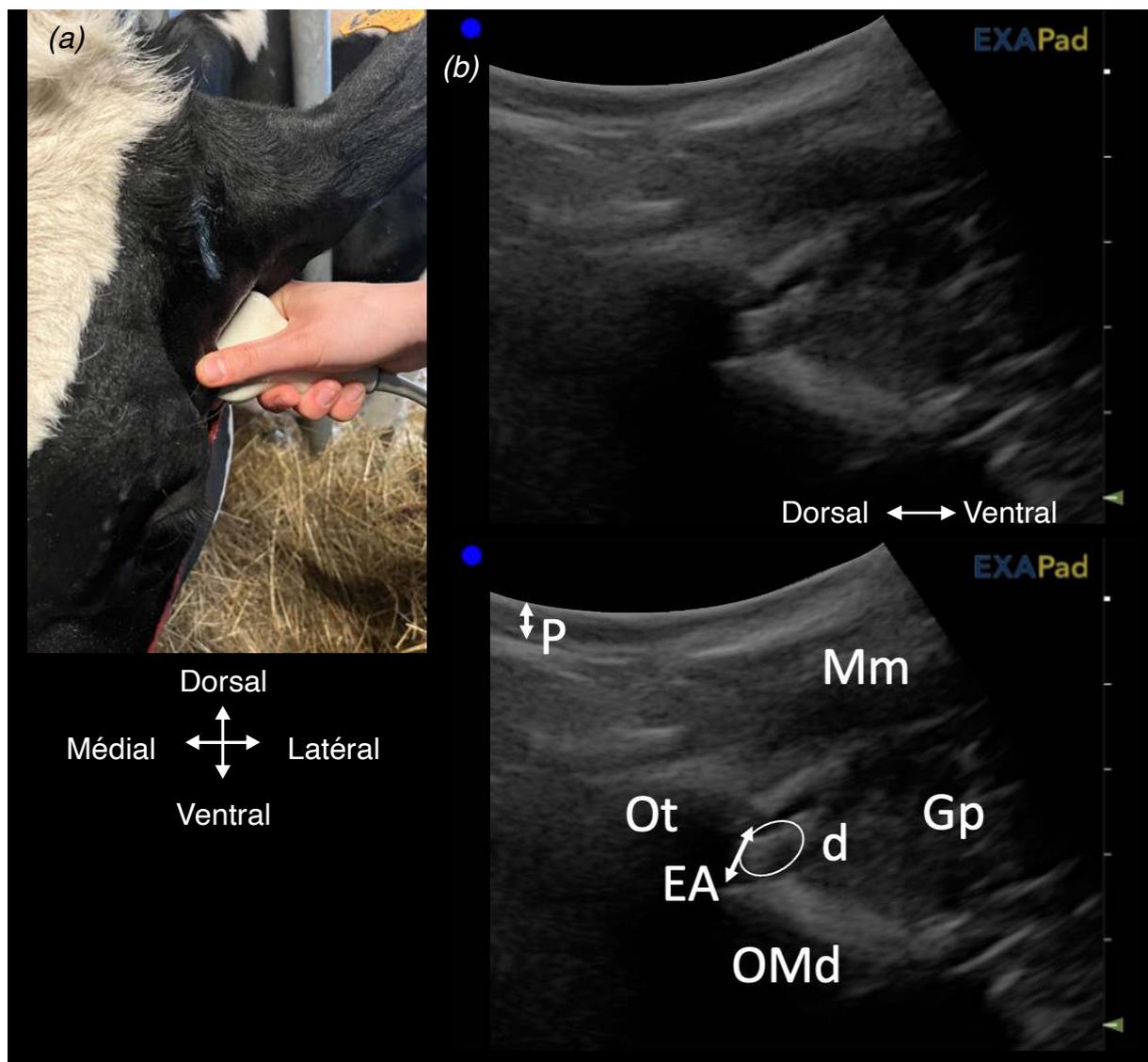
Photographie 37 : (a) Emplacement de la sonde sur la face latérale de l'articulation temporo-mandibulaire gauche

Figure 68: (b) Images échographiques de l'articulation temporo-mandibulaire saine gauche en vue latérale

(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde convexe de fréquence 5 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Prim'Holstein de 5 ans avec une blessure sur le tarse gauche. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; Ot : os temporal ; OMd : os mandibulaire ; Mm : muscle masséter ; Vx : vaisseau ; Art : artefact de réverbération.*

En vue caudo-latérale, nous identifions la présence du disque articulaire de l'articulation temporo-mandibulaire. Notons également la présence d'une structure pouvant être associée à la glande parotide.



Photographie 38 : Emplacement de la sonde sur la face caudo-latérale de l'articulation temporo-mandibulaire gauche

Figure 69 : (b) Images échographiques de l'articulation temporo-mandibulaire saine gauche en vue caudo-latérale

(source : auteures, *Pathologie des ruminants E.N.V.T.*)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde convexe de fréquence 5 MHz et de profondeur 10 cm, sur une vache Prim'Holstein de 5 ans, avec une blessure sur le tarse gauche. P : peau et tissu conjonctif ; EA : espace articulaire ; d : disque articulaire ; OT : os temporal ; OMd : os mandibulaire ; Mm : muscle masséter ; Gp : glande parotide.*

### 3. Aspects échographiques pathologiques

L'article (Borges 2016) présente une échographie d'un cas d'arthrite septique de l'articulation temporo-mandibulaire. L'image obtenue permet d'illustrer les différences avec les échographies précédemment étudiées.

Ainsi, à l'image de ce que nous avons exposé pour les articulations synoviales des membres, l'échographie met en évidence une distension du récessus articulaire et la présence de la capsule articulaire qui n'est pas toujours visible en situation physiologique.

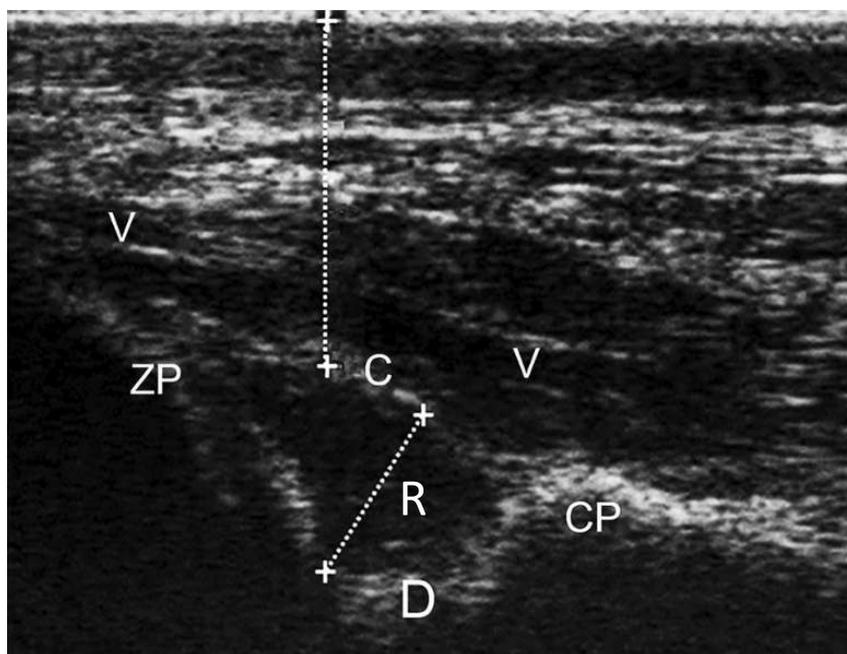


Figure 70 : Image échographique d'une arthrite septique de l'articulation temporo-mandibulaire droite en vue rostro-latérale (Borges 2016)

*Incidence latéro-médiale, coupe longitudinale avec une sonde linéaire de fréquence 7,5 MHz, sur une vache de 2 ans présentant une arthrite septique de l'articulation temporo-mandibulaire droite. C : capsule articulaire visible ; R : récessus articulaire distendu ; D : disque articulaire ; ZP : processus zygomatique de l'os temporal ; CP : processus condyloire de l'os mandibulaire ; V : vaisseau sanguin.*

## **D. Discussion**

Bien que peu sujette aux affections, l'articulation temporo-mandibulaire s'inscrit dans la continuité de notre étude échographique des articulations synoviales des bovins adultes. Cette articulation étant peu étudiée, ce travail offre un enrichissement possible aux échographies disponibles dans la bibliographie. Dans cette perspective, il nous a semblé important d'illustrer le positionnement de la sonde sur animal vivant. En effet, (Borges 2016; Weller et al. 1999) définissent les repères utilisés à partir d'un modèle osseux. Or, sur animal vivant, il a été nécessaire de prendre le temps d'appliquer ces repères et d'échographier l'ensemble de la zone afin de trouver précisément l'articulation.

En lien avec l'argument précédent, nous ne présentons pas d'échographie de l'articulation temporo-mandibulaire en sonde linéaire car le placement de cette sonde lors de nos premières séries d'échographies n'était pas correct. De plus, d'après (Borges 2016) l'échographie de l'articulation en sonde linéaire ne permet pas de visualiser systématiquement le disque et la capsule en fonction du point de vue choisi. En ce sens, nous avons privilégié l'étude en sonde convexe afin d'échographier l'ensemble des structures articulaires.

Enfin, les plans de coupes utilisés lors de notre étude sont définis à partir de l'article précédemment cité (Borges 2016). En s'appuyant sur ces résultats et après avoir échographié l'articulation avec les trois plans de coupe, nous avons privilégié la présentation des vues caudo-latérale et latérale. Ces coupes échographiques sont en effet décrites comme celles permettant d'identifier dans de nombreux cas le disque et la capsule articulaire.

Nos résultats semblent compatibles avec cela bien qu'il soit important de garder un regard critique. En effet, l'échographie est un examen complémentaire dynamique, la présentation d'images statiques implique une perte d'information importante. Lors de l'examen, l'opérateur balaye la zone d'intérêt en identifiant rapidement les structures à l'image pour comprendre l'organisation globale du tissu étudié. C'est seulement après ce premier travail d'identification rapide qu'il fige des images à l'écran en choisissant bien sûr les images les plus nettes et les plus précises possibles.

En ce sens, la présentation manuscrite des échographies engendre un biais. Ainsi, la vue caudo-latérale de l'articulation temporo-mandibulaire correspond en réalité à une aire d'examen. Le disque et la capsule articulaire sont donc visibles en fonction des cas plus ou moins caudo-latéralement. L'objectif est seulement de proposer des images pouvant aider à identifier les affections de l'articulation temporo-mandibulaire.

## **II. Articulation atlanto-occipitale**

### **A. Généralités sur l'articulation**

L'analyse du liquide cérébro-spinal (LCS) chez les bovins permet le diagnostic des maladies du système nerveux central notamment lors de suspicion de méningite aiguë telle que la listériose ou l'encéphalite virale. Il existe deux sites de ponction du LCS chez le bovin : une ponction haute à travers l'articulation atlanto-occipitale et une ponction basse du foramen lombo-sacré (Guatteo 2003).

Sur le terrain, la récolte du liquide cérébro-spinal par ponction de l'espace atlanto-occipital est rarement réalisée chez le bovin adulte. En effet, l'aspiration à l'aveugle du LCS à cet endroit entraîne fréquemment une contamination de l'échantillon par la présence de sang. De plus, l'absence d'échoguidage nécessite une sédation de l'animal avec un placement marqué de la tête en ventroflexion (Braun, Attiger, Brammertz 2015). Or, (Braun, Attiger, Brammertz 2015) mettent en évidence que cette ponction réalisée sous échographie permet de limiter les contaminations de l'échantillon et également de diminuer l'angle de ventroflexion de la tête.

## **B. Anatomie articulaire**

L'articulation atlanto-occipitale joint comme son nom l'indique l'**os atlas** et l'**os occipital**. Il s'agit de la seule articulation unissant la tête au squelette axial.

L'os occipital est formé de **deux condyles** s'opposants à la surface articulaire crâniale de l'atlas. La surface articulaire de l'atlas est composée d'une **fosse profonde** subdivisée en deux larges **facettes concaves** dorsale et ventrale. Au centre se situe le **foramen vertébral** qui concorde alors avec le **foramen magnum** de l'os occipital.

Les moyens d'union de l'articulation sont la **membrane atlanto-occipitale dorsale** renforcée de chaque côté par un **ligament atlanto-occipital latéral**. En complément, on trouve les muscles obliques crâniens et droits de la tête.

Enfin, chaque condyle de l'articulation est formé d'une **synoviale** doublée d'une **capsule articulaire**.

Cependant, les échographies réalisées dans la région atlanto-occipitale ne concernent pas précisément l'articulation en elle-même mais l'**espace atlanto-occipital**. Cet espace correspond à la voie utilisée pour les ponctions du contenu du canal vertébral comme nous l'avons précédemment expliqué. Anatomiquement, il correspond à l'échancrure de l'os occipital et de l'atlas qui sépare dorsalement les surfaces articulaires droite et gauche. À cet endroit, il est fermé par la capsule articulaire lâche et très fine et recouvert par les muscles et le ligament nuchal (Barone 2020).

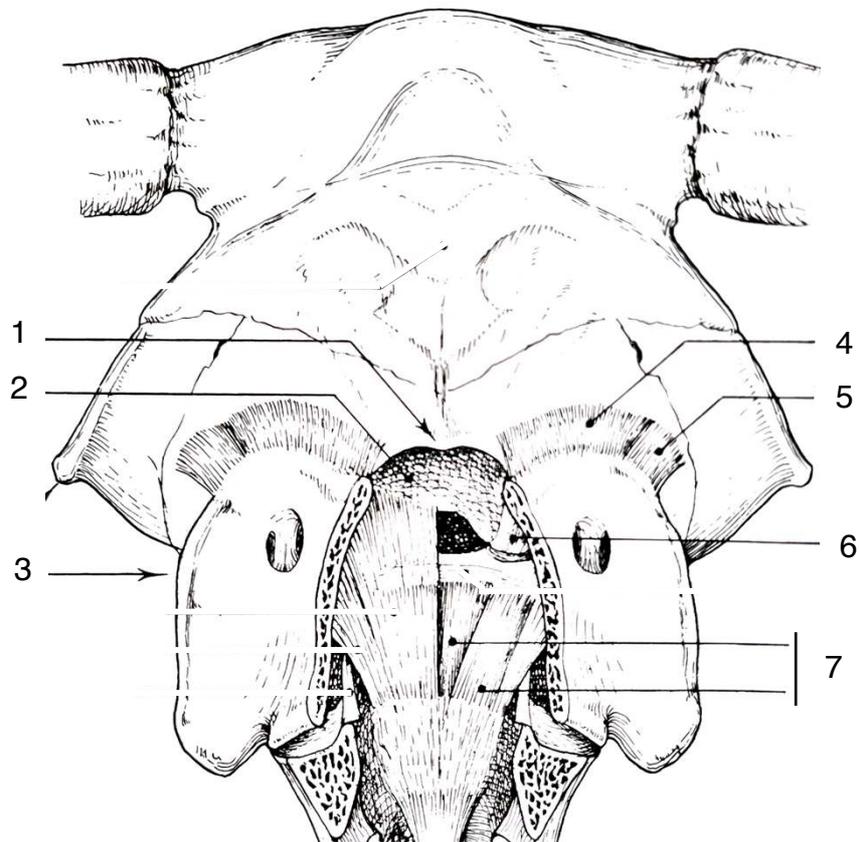


Figure 71 : Schéma simplifié de l'articulation atlanto-occipitale en vue dorsale après ablation de la corde spinale et des méninges (d'après (Barone 2020))

1 : Foramen magnum, 2 : partie basilaire de l'os occipital, 3 : aile de l'atlas, 4 : membrane dorsale, 5 : ligament latéral, 6 : condyle occipital, 7 : ligament longitudinal.

## **C. Techniques échographiques**

### **1. Repères anatomiques, sondes et coupes**

Pour échographier l'espace atlanto-occipital nous avons défini les repères anatomiques identiques à ceux utilisés pour la ponction du liquide cérébro-spinal.

Tout d'abord, nous avons identifié les extrémités latérales des ailes de l'atlas. Ces deux extrémités permettent de tracer une ligne imaginaire au milieu de laquelle se situe la zone à échographier. De plus, la palpation permet de repérer plus précisément l'espace atlanto-occipital dans le plan médian. En effet, il s'agit de la zone dépressible identifiable au toucher en exerçant une légère pression.

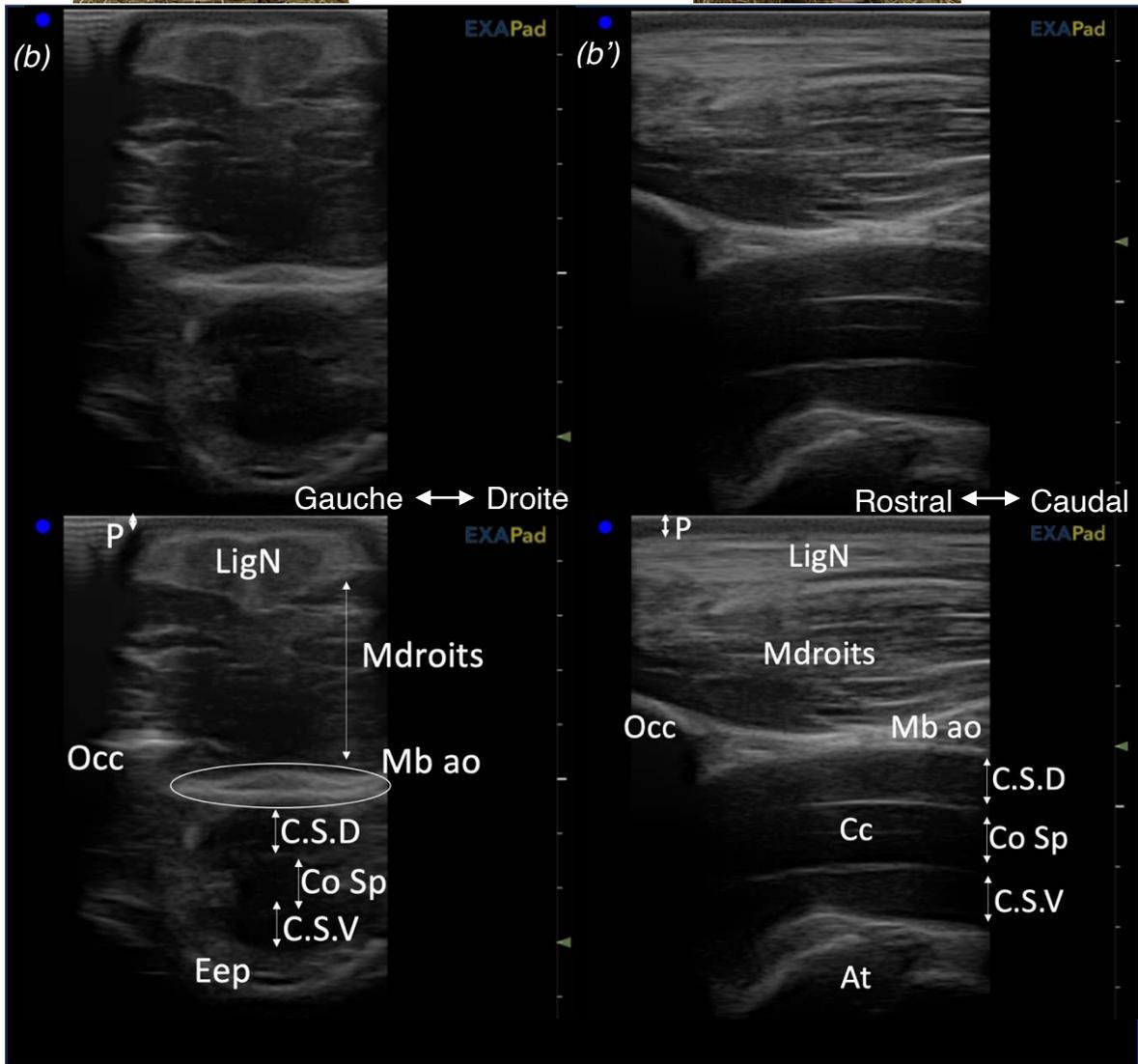
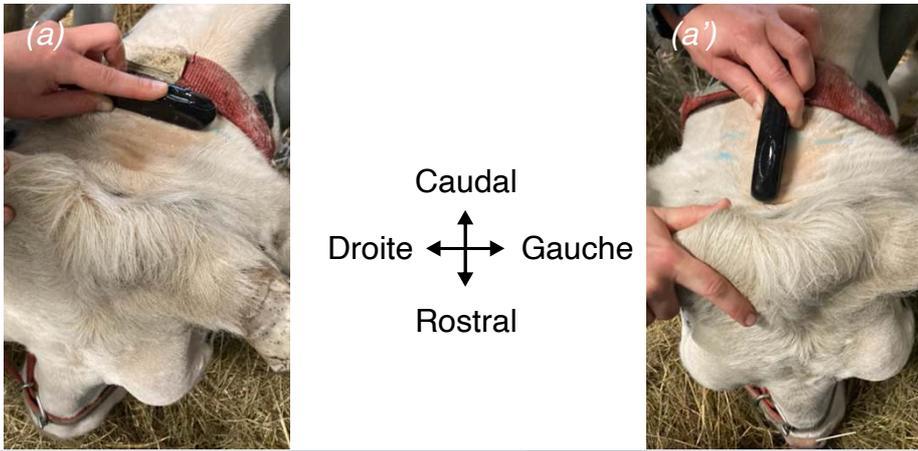
Nous avons ensuite échographié la zone précédemment définie avec les sondes linéaire et convexe en coupes longitudinale et transversale. En coupe transversale, les deux sondes sont utilisées à la même fréquence (5 MHz) correspondant alors à une profondeur de 12 cm pour la sonde linéaire contre 10 cm pour la sonde convexe. En revanche, en coupe longitudinale les paramètres d'utilisation de la sonde linéaire changent et sont fixés à une fréquence de 7,5 MHz correspondant à une profondeur de 10 cm.

## **2. Aspects échographiques physiologiques**

L'échographie de la face dorsale de l'espace atlanto-occipital est ici exposée en sonde linéaire (Figure 72). Les échographies réalisées avec cette sonde présentent en effet un meilleur contraste qu'en sonde convexe. Ce choix est cependant purement esthétique car les deux types de sondes permettent d'identifier les mêmes structures.

Dorso-ventralement, recouvrant l'espace atlanto-occipital nous voyons le ligament nuchal, les muscles grand droit dorsal et petit droit dorsal de la tête non séparés à l'échographie et donc regroupés sous le terme de muscles droits ainsi que la membrane atlanto-occipitale. Ventralement, le canal vertébral se distingue par sa forme circulaire contenant des couches telles que : la cavité sous-arachnoïdienne dorsale, la corde spinale avec le canal central et enfin la cavité sous-arachnoïdienne ventrale.

Enfin, l'espace épidual est visible en position ventrale sur l'échographie en coupe transversale.



Photographies 39 : (a) et (a') : Emplacements de la sonde en face dorsale, respectivement en coupe transversale et longitudinale

Figure 72 : (b) et (b') : Images échographiques comparatives de l'espace atlanto-occipital sain, respectivement en coupe transversale et longitudinale (source : auteures, Pathologie des ruminants E.N.V.T.)

*Incidence dorso-ventrale avec une sonde linéaire de fréquence 5 MHz et de profondeur 12 cm (b) et de fréquence 7,5 MHz et de profondeur 10 cm (b'), sur une vache Prim'Holstein de 7 ans, ayant un carcinome épidermoïde de l'œil gauche. P : peau et tissu conjonctif ; Occ : os occipital ; At : os atlas ; Mb ao : membrane atlanto-occipitale dorsale ; Mdroits : muscles grand droit dorsal et petit droit dorsal de la tête ; C.S.D : cavité sous-arachnoïdienne dorsale ; Co Sp : corde spinale ; C.S.V : cavité sous-arachnoïdienne ventrale ; Cc : canal central ; Eep : espace épidural ; LigN : ligament nuchal.*

Pour terminer, la présentation des échographies sous forme de comparaison illustre l'importance du choix de la coupe. En effet, l'échographie de l'espace atlanto-occipital est un bon exemple de complémentarité entre la coupe transversale et longitudinale. La coupe transversale met en évidence l'espace épidural et la forme cylindrique du canal vertébral ce qui n'est pas visible en coupe longitudinale. Néanmoins, la coupe longitudinale est essentielle car elle permet la ponction du liquide cérébro-spinal. Il est en effet plus simple d'observer le trajet de l'aiguille de ponction jusqu'à l'espace sous-arachnoïdien en vue longitudinale.

## **D. Discussion**

Le travail effectué sur l'articulation atlanto-occipitale s'inscrit en complément à l'échographie des articulations synoviales. En effet, notre étude ne se limite pas aux articulations du squelette appendiculaire bien que nous sommes conscientes que les structures articulaires ne sont pas toutes visibles sur les échographies précédemment présentées.

Ce dernier travail développe un point important concernant le choix du plan de coupe en échographie. En effet, les coupes longitudinale et transversale sont complémentaires car à partir d'un élément en trois dimensions, échographié en mode B, nous obtenons une image en seulement deux dimensions. Ainsi, ici par exemple la coupe transversale renseigne sur la largeur du canal vertébral, ce qui n'est pas visible en coupe longitudinale.

Enfin, l'étude de l'espace atlanto-occipital propose une piste différente d'utilisation de l'échographie en médecine vétérinaire. L'échographie n'est ici pas présentée comme un outil diagnostique mais comme une aide pour la réalisation de certains actes. En effet, l'utilisation de cet examen complémentaire permet de

remédier à des situations pathologiques où la ponction du liquide cérébro-spinal est essentielle pour établir un diagnostic. Ainsi, en cas d'impossibilité de ponctionner le foramen lombo-sacré pour le prélèvement de LCS, l'échoguidage pour la ponction atlanto-occipitale présente un avantage. (Braun, Attiger, Brammertz 2015) démontre en effet que l'échoguidage diminue les risques de lésions nerveuses voire de mort de l'animal lors de la ponction atlanto-occipitale. De plus, la réalisation de cette ponction à l'aveugle nécessite de mettre la tête en ventroflexion marquée afin d'avoir plus de chance de récolter le liquide. Les auteurs ont alors montré que l'utilisation de l'échographie diminue l'angle de ventroflexion de la tête et permet également de limiter quasiment systématiquement les contaminations sanguines du liquide récolté.

# Partie 7 : Discussion générale

L'objectif de notre thèse est d'apporter une ligne directrice à un praticien rural avec quelques exemples d'images échographiques que l'on peut obtenir sur un animal vivant. Cependant, nos travaux présentent certains biais dont nous aimerions discuter.

Tout d'abord, l'idée de ce travail est d'apporter un référentiel complémentaire aux échographies existantes. En effet, nous avons regroupé différentes sources bibliographiques afin d'être le plus exhaustives possible sur les références physiologiques des articulations dans l'objectif d'aider au diagnostic des multiples pathologies énoncées. En lien avec cette idée, nous avons donc développé l'aspect anatomique, échographique et pathologique pour chacune des articulations synoviales. Malgré cela, notre étude guide l'opérateur pour réaliser une échographie articulaire sur le terrain en ne présentant que quelques exemples d'images qu'il peut obtenir et non la totalité des structures dans une articulation.

Ensuite, le choix des bovins échographiés entraîne un premier biais à cette étude.

D'abord, la présentation des repères anatomiques est à dissocier des échographies présentées car ces dernières sont transposables à n'importe quel animal. C'est pourquoi il nous arrive d'exposer des images les unes à la suite des autres venant d'animaux différents, alors que les instructions que l'on donne pour guider l'opérateur suggèrent d'être sur un même animal. Cela est possible car les structures échographiques identifiées ne dépendent pas de l'animal.

Comme cela a déjà été énoncé dans les parties précédentes, l'ensemble des sujets sont des animaux hospitalisés dont nombreux d'entre eux ont subi un amaigrissement, parfois chronique. Cela entraîne un biais à l'aspect physiologique des échographies, par une masse musculaire parfois moins développée et des repères anatomiques plus saillants qui ne se verraient pas forcément sur un animal bien conformé.

En lien avec la conformation, lorsque cela était possible, nous avons essayé d'échographier des bovins laitiers et allaitants, mais pour certaines articulations, cette

diversité n'est pas exposée dans l'étude. L'idée générale est de présenter les structures anatomiques communes aux bovins adultes malgré les spécificités de chaque animal.

Enfin, peu de mâles sont représentés dans notre étude du fait de leur infériorité numérique dans la population, et donc en hospitalisation à l'E.N.V.T.. Cela est aussi lié d'une part au manque de sécurité lors de la manipulation de ces animaux et d'autre part à la difficulté lors de la réalisation de l'échographie sur des animaux avec beaucoup de muscles.

Un autre biais concerne la contention des animaux. En effet, aucune sédation n'a été administrée lors de la réalisation des échographies afin de rester le moins invasif possible. Malgré la sélection d'animaux plus calmes, cela n'empêche pas les mouvements de l'animal lors de la manipulation. C'est pour cette raison que certaines échographies ont été réalisées dans une position non physiologique, même si cela faisait partie de nos critères initialement définis.

De plus, les repères anatomiques choisis peuvent comporter des erreurs. Nous les avons définis à partir d'une vue externe ainsi que d'une palpation de l'animal sans moyen de vérification autre qu'échographique. En effet, aucune radiographie ni dissection n'a été réalisée pour confirmer les structures. C'est pourquoi nous définissons nos repères comme une aire d'échographie et non une position précise.

Sur le terrain, ce biais est limité par l'utilisation dynamique de l'échographie. Nous présentons dans notre étude seulement des images figées nécessitant un premier examen global balayant l'ensemble de l'articulation concernée. Cette manipulation préalable permet ainsi de différencier les surfaces articulaires des artefacts, un tendon d'un ligament ou encore un espace articulaire d'un relief osseux.

L'échographie est un examen complémentaire opérateur dépendant qui nécessite des prérequis. En effet, la présentation des paramètres échographiques suite à nos recherches bibliographiques (citées en Partie 1 :Partie 2 :) ne permet pas de s'affranchir d'une formation échographique. D'une part pour la qualité des images, qui a été vérifiée durant notre travail : nos échographies en fin d'étude étaient de bien meilleure qualité que celles réalisées au début. D'autre part pour pouvoir discerner les détails qui ne sont pas cités dans ce manuscrit, notamment concernant les

interprétations des images pathologiques. C'est pour cette raison que nous avons essayé de rendre cela abordable, en détaillant l'utilisation des paramètres échographiques (choix de la fréquence, profondeur et focalisation) et du positionnement de la sonde.

Concernant la présentation finale, celle-ci n'est pas représentative de la totalité du travail réalisé.

D'abord, nous avons recueilli un grand nombre d'échographies sur plusieurs animaux. Les résultats obtenus ont ensuite été triés afin de visualiser un maximum de structures et d'obtenir des images de qualité. Initialement, cette sélection d'une qualité optimale est importante car elle se dégrade avec le traitement informatique des images.

Pour présenter au mieux la méthode de travail appliquée, nous avons fait concorder les échographies avec la position de la sonde correspondante dans une présentation globale. En effet, les photographies ont subi des modifications telles qu'un rognage et sont parfois de petites tailles ou zoomées excessivement.

Enfin, l'échographie connaît un développement timide dans la médecine vétérinaire rurale hors reproduction. Seuls certains pionniers, comme J. Kofler, offrent les outils pour l'appliquer. Notre étude s'ajoute à ses travaux et ceux de ses pairs, pour proposer des outils et résultats supplémentaires. De plus, nous vulgarisons certains de leurs propos afin de rendre la réalisation plus accessible.



## **Partie 8 : Conclusions**

Bien que majoritairement utilisée dans les centres hospitaliers vétérinaires, l'échographie articulaire des bovins prend peu à peu de l'ampleur. En effet, c'est un outil d'aide au diagnostic qui s'inscrit dans une dynamique florissante en raison de ses nombreux avantages tels que l'obtention de résultats rapides et une facilité d'utilisation notamment.

Cette étude décrit la méthodologie et apporte les connaissances nécessaires pour l'échographie des articulations des bovins. Tout d'abord, il est essentiel de connaître les principes de formation d'une image échographique. Ensuite, pour chaque articulation, la connaissance anatomique est indispensable pour identifier les repères externes et les structures observées à l'image. Il s'ajoute à cela, une connaissance du matériel utilisé afin d'obtenir des images de qualité.

Enfin, une fois l'ensemble de ces prérequis fixés, des conseils sont ajoutés sur le choix de la sonde, sa fréquence ainsi que son emplacement utilisé sur l'animal. Ce travail présente ensuite des images échographiques légendées des articulations synoviales saines du bovin adulte. De plus, les échographies obtenues sont comparées à des images d'articulations lésées rencontrées lors de l'étude ou tirées de la bibliographie. L'objectif est de montrer l'importance de reconnaître les structures physiologiques et de mettre en avant certains points clés d'orientation diagnostique.

Il reste néanmoins nécessaire de préciser que l'échographie présente certaines limites détaillées dans l'ensemble de cette étude. L'interprétation des résultats de cet examen complémentaire est indissociable du reste de l'examen clinique de l'animal, de la zone à échographier mais également de l'examen échographique dynamique.

# Bibliographie

ALTENBRUNNER-MARTINEK, Birgit, GRUBELNIK, Martina et KOFLER, Johann, 2007. Ultrasonographic examination of important aspects of the bovine shoulder – physiological findings. *The Veterinary Journal*. 1 mars 2007. Vol. 173, n° 2, pp. 317-324. DOI 10.1016/j.tvjl.2005.09.007.

ANDERSON, David E., DESROCHERS, André et ST. JEAN, Guy, 2008. Management of Tendon Disorders in Cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. novembre 2008. Vol. 24, n° 3, pp. 551-566. DOI 10.1016/j.cvfa.2008.07.008.

BARONE, Robert, 2020. *Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome deuxième. Arthrologie et myologie*. 4e édition. Paris : ACV. ISBN 978-2-9571960-1-2. A.01.00-BAR-A

BERNHARD, Johanna Karin, VIDONDO, Beatriz, ACHERMANN, Rahel Lisa, REDIGER, Rahel, MÜLLER, Kerstin Elisabeth et STEINER, Adrian, 2020. Carpal, tarsal, and stifle skin lesion prevalence and potential risk factors in Swiss dairy cows kept in tie stalls: A cross-sectional study. *PLoS ONE*. 12 février 2020. Vol. 15, n° 2, pp. e0228808. DOI 10.1371/journal.pone.0228808.

BLOND, Laurent et BUCZINSKI, Sébastien, 2009. Basis of Ultrasound Imaging and the Main Artifacts in Bovine Medicine. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 1 novembre 2009. Vol. 25, n° 3, pp. 553-565. DOI 10.1016/j.cvfa.2009.07.002.

BORGES, Naida, WEISSENGRUBER, Gerald, HUBER, Johann et KOFLER, Johann, 2015. Ultrasonographic examination of the elbow region in calves and cows - normal appearance. *Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift*. 1 septembre 2015. Vol. 128, pp. 416-424. DOI 10.2376/0005-9366-128-416.

BORGES, NC, 2016. Ultrasonographic imaging of the temporomandibular joint in healthy cattle and pathological findings. *New Zealand Veterinary Journal*. 2016.

BRAUN, Ueli, ATTIGER, Jeannette et BRAMMERTZ, Carina, 2015. Ultrasonographic examination of the spinal cord and collection of cerebrospinal fluid from the atlanto-

occipital space in cattle. *BMC Veterinary Research*. 2 septembre 2015. Vol. 11, n° 1, pp. 227. DOI 10.1186/s12917-015-0545-z.

BUCZINSKI, Sébastien et DESCÔTEAUX, Luc, 2009. *Échographie des bovins*. Rueil-Malmaison : Éditions du Point Vétérinaire. Atlas (Maisons-Alfort). X.04.02-BUC-E

BUDRAS, Klaus-Dieter et HABEL, Robert E., 2011. *Bovine Anatomy*. Schlütersche. ISBN 978-3-8426-8359-4.

DESROCHERS, André et FRANCOZ, David, 2014. Clinical Management of Septic Arthritis in Cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. mars 2014. Vol. 30, n° 1, pp. 177-203. DOI 10.1016/j.cvfa.2013.11.006.

DUCHARME, Norm G., 1996. Stifle Injuries in Cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 1 mars 1996. Vol. 12, n° 1, pp. 59-84. DOI 10.1016/S0749-0720(15)30437-0.

GRASMUCK, Nora, 2010. Affections des structures profondes des doigts - Le Point Vétérinaire expert rural n° 309 du 01/10/2010. *Le Point Vétérinaire.fr* [en ligne]. 2010. [Consulté le 3 juin 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article-rural/n-309/affections-des-structures-profondes-des-doigts.html>

GUATTEO, Raphaël, 2003. La ponction lombosacrée chez le bovin adulte - Le Point Vétérinaire n° 232. *Le Point Vétérinaire.fr* [en ligne]. 2003. [Consulté le 24 mai 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article/n-232/la-ponction-lombosacree-chez-le-bovin-adulte.html>

HAGAG, Usama, NAHAS, Ayman El, ALMOHAMAD, Zakriya Ali, BREHM, Walter et GERLACH, Kerstin, 2022. 3T Magnetic resonance imaging and computed tomography of the bovine carpus. *BMC Veterinary Research*. 22 juin 2022. Vol. 18, pp. 236. DOI 10.1186/s12917-022-03346-w.

HARTMANN, Sophie, 2017. L'échographie en médecine, de la théorie à la pratique. *Kinésithérapie, la Revue*. février 2017. Vol. 17, n° 182, pp. 12-19. DOI 10.1016/j.kine.2016.11.004.

HEPPELMANN, M., REHAGE, J., KOFLE, J. et STARKE, A., 2009. Ultrasonographic diagnosis of septic arthritis of the distal interphalangeal joint in cattle. *Veterinary Journal (London, England: 1997)*. mars 2009. Vol. 179, n° 3, pp. 407-416. DOI 10.1016/j.tvjl.2007.10.017.

JONES, Susan A., WHITCOMB, Mary Beth, VAUGHAN, Betsy, GOORCHENKO, Georgette, BUSCH, Roselle, KILCOYNE, Isabelle et SPRIET, Mathieu, 2022. Ultrasonographic diagnosis of femoral fractures in large animals. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1 octobre 2022. Vol. 260, n° 13, pp. 1675-1682. DOI 10.2460/javma.22.02.0081.

KING, A. M., 2006. Development, advances and applications of diagnostic ultrasound in animals. *The Veterinary Journal*. 1 mai 2006. Vol. 171, n° 3, pp. 408-420. DOI 10.1016/j.tvjl.2004.10.014.

KOFLE, J., 1999. Ultrasonographic Examination of the Stifle Region in Cattle— Normal Appearance. *The Veterinary Journal*. 1 juillet 1999. Vol. 158, n° 1, pp. 21-32. DOI 10.1053/tvj.1998.0329.

KOFLE, J., 2000. Ultrasonographic Examination of the Carpal Region in Cattle— Normal Appearance. *The Veterinary Journal*. 1 janvier 2000. Vol. 159, n° 1, pp. 85-96. DOI 10.1053/tvj.1998.0339.

KOFLE, J., 2011. [Ultrasonographic examination of the musculoskeletal system in cattle]. *Tierärztliche Praxis. Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere*. 2011. Vol. 39, n° 5, pp. 299-313.

KOFLE, Johann, 2009. Ultrasonography as a Diagnostic Aid in Bovine Musculoskeletal Disorders. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 1 novembre 2009. Vol. 25, n° 3, pp. 687-731. DOI 10.1016/j.cvfa.2009.07.011.

KOFLE, Johann, GEISSBÜHLER, Urs et STEINER, Adrian, 2014. Diagnostic Imaging in Bovine Orthopedics. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 1 mars 2014. Vol. 30, n° 1, pp. 11-53. DOI 10.1016/j.cvfa.2013.11.003.

KOFLE, Johann et SULLMANN, Florian, 2021. Retrospective Evaluation of Septic Subtendinous Calcaneal Bursitis in 29 Cattle. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*. 18 mai 2021. Vol. 11, n° 5, pp. 1446. DOI 10.3390/ani11051446.

- LORIOT, Nathalie, 2011. *Vade-mecum d'échographie abdominale chez le chien et le chat*. 2011. Paris : Med'Com. ISBN 9782354030605. X.04.04-LOR-V
- MAILLARD, Renaud, BELBIS, Guillaume et MOGICATO, Giovanni, 2022. *Échographie des bovins: hors appareil génital*. Paris : Éditions Med'com. ISBN 978-2-35403-311-8. 636.089 607543
- MAILLARD, Renaud, SANS, Pierre et ROMANOS, Lola, 2017. Utilisation de l'échographie en pratique vétérinaire rurale (hors reproduction) : enquête auprès des vétérinaires praticiens ruraux. . 2017.
- MULON, Pierre-Yves, DESROCHERS, André et FRANCOZ, David, 2016. Surgical Management of Septic Arthritis. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 1 novembre 2016. Vol. 32, n° 3, pp. 777-795. DOI 10.1016/j.cvfa.2016.05.014.
- NUSS, K., 2003. Septische Arthritis von Schulter- und Hüftgelenk beim Rind: Diagnose und Therapie. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*. 1 octobre 2003. Vol. 145, n° 10, pp. 455-463. DOI 10.1024/0036-7281.145.10.455.
- NUSS, K., RÄBER, M., SYDLER, T., MUGGLI, E., HÄSSIG, M. et GUSCETTI, F., 2011. Bursitis mit schwerwiegenden Sehnen- und Muskelnekrosen an der Aussenseite der Kniegelenke beim Rind. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*. 1 novembre 2011. Vol. 153, n° 11, pp. 520-525. DOI 10.1024/0036-7281/a000264.
- NUSS, Karl, 2007a. Ultrasonography of musculoskeletal disorders in cattle: A practical tool for veterinary surgeons. *The Veterinary Journal*. 1 mars 2007. Vol. 173, n° 2, pp. 239-240. DOI 10.1016/j.tvjl.2005.12.011.
- NUSS, Karl, 2007b. Bursite suppurative dans la région de l'épaule - Le Point Vétérinaire n° 272 du 01/01/2007. *Le Point Vétérinaire.fr* [en ligne]. 2007. [Consulté le 17 octobre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article/n-272/bursite-suppurative-dans-la-region-de-l-epaule.html>
- POULSEN NAUTRUP, Cordula, 2005. *Guide pratique d'échographie canine et féline*. Paris : Éd. Med'com. ISBN 978-2-914738-45-3. X.04.04-NAU-G

REEF, Virginia B., WHITTIER, Mark et ALLAM, Lila Griswold, 2004. Joint Ultrasonography. *Clinical Techniques in Equine Practice*. 1 septembre 2004. Vol. 3, n° 3, pp. 256-267. DOI 10.1053/j.ctep.2005.02.003.

STARKE, Alexander, HERZOG, Kathrin, SOHRT, Jan, HAIST, Verena, HÖHLING, Andrea, BAUMGÄRTNER, Wolfgang et REHAGE, Jürgen, 2007. Diagnostic Procedures and Surgical Treatment of Craniodorsal Coxofemoral Luxation in Calves. *Veterinary Surgery*. 2007. Vol. 36, n° 2, pp. 99-106. DOI 10.1111/j.1532-950X.2006.00224.x.

THEUBET, Grégoire, MUGGLI, Evelyne et NUSS, Karl, 2007. Drainage d'une ténosynovite de l'extenseur commun des doigts - Le Point Vétérinaire n° 277 du 01/07/2007. *Le Point Vétérinaire.fr* [en ligne]. 2007. [Consulté le 30 mai 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article/n-277/drainage-d-une-tenosynovite-de-l-extenseur-commun-des-doigts.html>

TRYON, Kimberly A. et CLARK, Chris R., 1999. Ultrasonographic Examination of THE Distal Limb of Cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. juillet 1999. Vol. 15, n° 2, pp. 275-300. DOI 10.1016/S0749-0720(15)30183-3.

UNITÉ D'ANATOMIE DE L'E.N.V.A., 2016. Ostéologie Comparée des Carnivores Domestiques, des Equidés et des Bovins. [en ligne]. 2016. [Consulté le 6 mai 2024]. Disponible à l'adresse : [https://theses.vet-alfort.fr/Th\\_multimedia/mraffaelli/index.php](https://theses.vet-alfort.fr/Th_multimedia/mraffaelli/index.php)

WELLER, Renate, TAYLOR, S., MAIERL, J., CAUVIN, E. R. J. et MAY, S. A., 1999. Ultrasonographic anatomy of the equine temporomandibular joint. *Equine Veterinary Journal*. 1999. Vol. 31, n° 6, pp. 529-532. DOI 10.1111/j.2042-3306.1999.tb03863.x.

WENZINGER, Beatrice, HAGEN, Regine, SCHMID, Tanja et NUSS, Karl, 2012. Coxofemoral Joint Radiography in Standing Cattle. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2012. Vol. 53, n° 4, pp. 424-429. DOI 10.1111/j.1740-8261.2012.01927.x.

**Nom** : Desvignes

**Nom** : Dubois

**Prénoms** : Amandine Constance

**Prénoms** : Amandy Cathy

**Titre** : Guide pratique de l'échographie articulaire chez le bovin adulte.

**Résumé** : Cette étude propose aux praticiens vétérinaires un référentiel d'échographies articulaires tout en guidant leur réalisation sur le terrain. Les affections articulaires des bovins, bien que fréquentes, sont rarement diagnostiquées précisément. L'échographie est une technique d'examen rapide, non traumatique et peu coûteuse permettant d'identifier la nature des structures touchées. Cette étude a été réalisée sur des bovins adultes hospitalisés à l'E.N.V.T. avec les échographes ExPad® et MyLabOne®. Le choix de la sonde, son emplacement ainsi que la fréquence utilisée sont précisés pour chaque échographie d'articulation synoviale saine exposée. Les résultats sont enfin comparés à des images pathologiques décrites dans la littérature.

**Mots clés** : échographie, articulations, bovin adulte, physiologie, guide pratique.

**Title**: Practical guide to joint ultrasonography of the adult cattle.

**Summary**: This study provides a referential of joint ultrasounds to veterinarians in a bovine practice, and advices to process on the field. Bovine orthopedic disorders are common but rarely diagnosed with precision. Ultrasonography is a rapid, affordable and non-invasive clinical diagnostic technique, that allows determining the nature of the affected tissue. This study was carried out on adult cattles hospitalized at the E.N.V.T. ruminant pathology department using the ExPad® and MyLabOne® scanners. Then, the ultrasound images illustrate the synovial joints, and we specify the choice, frequency and location of the right probe. Thoses physiological ultrasounds are compared with pathological cases described in the literature.

**Key words**: ultrasonography, joints, adult cattle, physiological, practical guide.