

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة ابن خلدون تيارت

Université Ibn Khaldoun Tiaret

معهد علوم البيطرة

Institut des Sciences Vétérinaires



***Polycopié de cours de la sémiologie  
propédeutique des maladies du sabot les  
plus fréquentes chez les bovins.***

Dr. BENIA AHMED REDHA

Maitre de conférences à l'institut des sciences vétérinaires  
Université de Tiaret-Algérie

2022 / 2023

## LA LISTE DES ABREVIATIONS ET DES SYMBOLES

AD	antérieur droit
AG	antérieur gauche
AP	aire paillée
Bl	bleime
CJ	corne jaune
CL	contrôle laitier
DD	dermatite digitée = Maladie de Mortellaro
DecS	décollement de la sole
Di ou DI	dermatite interdigitée = Fourchet
EH	ensilage d'herbe
ErT	érosion du talon
IC	intervalle de confiance
L	logettes
Li	limace
L1	première lactation
M5	cinquième mois de lactation
MB	Montbéliarde
NO	non observé
NS	non significatif
OLB	ouverture de ligne blanche
OPE	onglon postéro-externe
OR	odds ratio
Pa	panaris
PD	postérieur droit
PG	postérieur gauche
PH	Prim' Holstein
TRT	traitement
TLC	toutes lésions confondues
UIS	ulcère de la sole
UISouCe	ulcère de la sole ou cerise
VL	vache laitière (en production ou tari).

## LA LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

<b>1. <u>FIGURES :</u></b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1:</b> Rappels des nomenclatures de localisation dans l'espace	3
<b>Figure 2:</b> Rappels anatomique du pied des bovins	4
<b>Figure 3 :</b> Vue latérale d'un pied antérieur droit	5
<b>Figure 4 :</b> Vue de dessous d'un pied postérieur gauche	5
<b>Figure 5 :</b> coupe sagittale d'un pied en pince	6
<b>Figure 6 :</b> Tissus durs et mous d'un pied : coupe sagittale	7
<b>Figure 7 :</b> Schéma de la structure du coussinet plantaire d'un pied postérieur droit normal	8
<b>Figures 8a et 8b.</b> Schémas de la répartition des forces (poids et réaction du sol) exercées sur le vif	10
<b>Figure 9 :</b> Répartition différente du poids sur les membres et les pieds d'une vache	11
<b>Figure 10 :</b> Représentation des pressions verticales exercées sur le sol par un pied postérieur gauche	12
<b>Figures 11a et 11b :</b> Photographies des phalanges distales d'un pied postérieur gauche de vache	12
<b>Figure 12a :</b> Modélisation de la répartition des charges sur les onglons postérieurs	13
<b>Figure 12b:</b> Modélisation : nouvelles charges lors d'un mouvement de balancier de 2.5cm à droite	14
<b>Figures 12c et 12d :</b> Modélisation (i) d'une liaison souple entre onglons	14
<b>Figure 12 e :</b> Modélisation (ii) d'une liaison fixe entre les onglons, sur sol dur	15
<b>Figure 12f :</b> Modélisation réelle (iii) : intermédiaire entre (i) et (ii)	15
<b>Figure 13 :</b> Schéma des 6 régions de la sole	17
<b>Figure 14 :</b> Représentation graphique de la prévalence des boiteries en fonction du nombre de lactation	21
<b>Figure 15 :</b> Représentation de la probabilité pour une vache d'être boiteuse, d'avoir des maladies podales ou d'avoir des maladies podales excepté la dermatite digitée, en fonction du nombre de lactation	21
<b>Figure 16 :</b> Représentation graphique de la production de lait des vaches en fonction du score de locomotion d'après	23
<b>Figure 17 :</b> Représentation graphique du nombre de cellules somatiques dans le lait en fonction du score de locomotion d'après	23
<b>Figure 18 :</b> Part des différentes pertes économiques rencontrées lors de boiteries	24
<b>Figure 19 :</b> A. illustration du dos plat observé chez une vache saine ; B. Illustration du positionnement des postérieurs chez une vache saine	31
<b>Figure 20 :</b> Pourcentage indicatif des boiteries en fonction de leur localisation d'après	35
<b>Figure 21 :</b> Description des différents scores de locomotion	42
<b>Figure 22 :</b> Méthode cinématique utilisant des marqueurs positionnés sur les articulations	45
<b>Figure 23 :</b> Données obtenues lors de l'analyse de la marche d'une vache	45
<b>Figure 24 :</b> Postures observées pour un score statique de 0	47
<b>Figure 25 :</b> Postures observées pour un score statique de 1	48
<b>Figure 26:</b> Postures observées pour un score statique de 2	48
<b>Figure 27 :</b> Lésions d'ulcération granuleuse de dermatite digitée	50
<b>Figure 28 :</b> Lésions d'inflammation de la peau interdigitée lors de dermatite interdigitée	50
<b>Figure 29 :</b> Lésions d'érosion de la corne du talon	51
<b>Figure 30 :</b> Lésion de tyloma	51
<b>Figure 31 :</b> Lésions de panaris	52
<b>Figure 32 :</b> Lésions d'arthrite septique	52
<b>Figure 33 :</b> Lésions de maladie de la ligne blanche	53
<b>Figure 34 :</b> Lésion de décollement de la sole	54
<b>Figure 35 :</b> Lésion de seime cerclée	54

<b>Figure 36</b> : Lésion de seime longitudinale	55
<b>Figure 37</b> : Lésions de bleimes	55
<b>Figure 38</b> : Lésions d'ulcères de la sole	56

<b>2. <u>TABLEAUX</u> :</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1.</b> Résumé de l'influence des boiteries sur les paramètres de reproduction	24
<b>Tableau 2.</b> Présentation des 5 libertés à respecter pour assurer le bien-être des animaux d'élevages et des dispositions pour y parvenir	25
<b>Tableau 3.</b> Les principales lésions rencontrées sur les pieds des bovins	37
<b>Tableau 4.</b> Grille d'évaluation des lésions podales	38
<b>Tableau 5.</b> Les critères évaluant la démarche utilisée dans les SNM	39
<b>Tableau 6.</b> Les critères de la posture utilisés dans les SNM	40
<b>Tableau 7.</b> Les autres critères utilisés dans les SNM	40
<b>Tableau 8.</b> Les principaux Systèmes de Notation Manuelle	41
<b>Tableau 9.</b> Les différents critères analysés dans les SNA	43
<b>Tableau 10.</b> Avantages et limites des SNA dans l'évaluation des boiteries	46
<b>Tableau 11.</b> Les diverses combinaisons de posture et leur score de synthèse associé	49
<b>Tableau 12.</b> Grille de notation des boiteries en statique	49
<b>Tableau 13.</b> Avantages et limites des systèmes de notation statique	49

# SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS ET DES SYMBOLES	I
LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX	II
SOMMAIRE	IV

<b>INTRODUCTION</b>	<b>01</b>
---------------------	-----------

## CHAPITRE 1 : LES PARTICULARITES DU PIED DES BOVINS.

I- DESCRIPTION EXTERNE DES ONGLONS	03
• La couronne	04
• La paroi	04
• La sole	04
II- APERÇU DE L'ANATOMIE INTERNE	06
✓ Le pododerme	06
✓ La proéminence axiale	06
✓ L'appareil suspenseur de la 3 <sup>ème</sup> phalange	07
a. Structures tendino-squelettiques	07
b. l'épiderme	08
c. Le vif	08
III-CROISSANCE DE LA CORNE	09
IV-LA BIOMECHANIQUE	09
a) Répartition des charges entre les membres	10
b) Répartition des charges entre onglon externe et interne	11
c) Répartition des charges au sein de l'onglon	16

## CHAPITRE II : LES FACTEURS DE RISQUE ET L'IMPORTANCE ECONOMIQUE DES BOITERIES

1- Prévalence et incidence des boiteries en élevage bovin	18
2- Facteurs de risque	18
2-1- Facteurs extrinsèques	18
2-1-1 Risque lié à l'habitat	18
➤ <i>Confort de l'habitat</i>	18
➤ <i>Hygiène et humidité de l'habitat</i>	19
2-1-2 Risque lié à l'alimentation	19
2-1-3 Risque lié à la conduite des animaux	20
➤ <i>Manipulation des animaux</i>	20
➤ <i>Conduite sanitaire</i>	20
2-1-4 Saisonnalité	20
2-2 Facteurs intrinsèques	20
2-2-1 Production laitière	20
2-2-2 Génétique	22
2-2-3 Maladies du péri-partum	22
3- Importance économique des boiteries en élevage laitier	22
3-1 Influence des boiteries sur la production laitière	22
3-2 Influence des boiteries sur la reproduction	23
❖ <i>La mise à la reproduction</i>	23
❖ <i>La réussite de la fécondation</i>	24
3-3 Les coûts liés aux traitements	24
4- Importance pour le bien-être des animaux	25
4-1 Ne pas souffrir de la faim ou de la soif	25
4-2 Ne pas souffrir d'inconfort	25

4-3 Ne pas souffrir de douleurs, blessures ou maladies	25
4-4 Pouvoir exprimer les comportements naturels propres à l'espèce	26
4-5 Ne pas éprouver de peur ou de détresse	26

### **CHAPITRE III : LES METHODES D'EXAMEN ET D'EVALUATION DES BOITERIES**

1- Etude critique des conditions de logement	28
2- Attitude et comportement de l'animal au repos et en mouvement	29
3- La démarche et les postures normales des vaches	30
4- Les facteurs modifiant la démarche et la posture normale des vaches	31
5- Observation directe des lésions	31
6- Les grilles de notation des lésions	37
7- Observation de la locomotion des animaux	39
5-1- Les Systèmes de Notation Manuelle (SNM) en locomotion	39
5-1-1 Les critères utilisés dans les SNM	39
5-1-2- Les différents SNM décrits	40
5-1-3- Description du SNM le plus utilisé	40
5-2- Les systèmes de notation automatique (SNA)	43
5-2-1- Les critères évalués dans les SNA	43
5-2-2- Les différents SNA	44
5-2-2-1- <i>Les méthodes cinétiques</i>	44
5-2-2-2- <i>Les méthodes cinématiques</i>	45
5-2-2-3- <i>Les méthodes indirectes</i>	46
✓ <i>Critères comportementaux</i>	46
✓ <i>Critères zootechniques</i>	46
6- Observation des animaux en statique	47
6-1- Les critères utilisés dans les Systèmes de Notation Statique (SNS)	47
6-2- Présentation d'un SNS	47

### **CHAPITRE IV : LES PRINCIPALES BOITERIES DES BOVINS**

Description des principales maladies des pieds des bovins et des lésions associées	50
1- Les maladies d'origine infectieuse	50
1-1- Dermatite digitée (Maladie de Mortellaro)	50
1-2- Dermatite interdigitée (Fourchet, piétin d'hiver)	50
❖ <i>Érosion de la corne du talon</i>	51
❖ <i>Tyloma (Limace, hyperplasie interdigitée)</i>	51
❖ <i>Bleimes circonscrites</i>	51
❖ <i>Ulcère de la sole et cerise</i>	51
1-3- Phlegmon interdigité (Panaris)	52
1-4- Arthrite septique	52
2- Les maladies d'origine non infectieuse et leurs lésions associées	53
2-1- Fourbure	53
✓ <i>Ouverture de la ligne blanche (maladie de la ligne blanche)</i>	53
✓ <i>Décollement de la sole</i>	53
✓ <i>Coloration jaune de la corne</i>	54
✓ <i>Bleime circonscrite et diffuse</i>	54
✓ <i>Ulcère de la sole et cerise</i>	54
✓ <i>Seime cerclée</i>	54
2-2- Seime longitudinale (Fracture et Fissure de l'onglon)	54
2-3- Les lésions d'origine mixte	55
❖ <i>Bleime (Hémorragie de la sole)</i>	55
❖ <i>Ulcère de la sole et cerise</i>	56

<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>57</b>
------------------------------------	-----------

# Introduction

---

Les boiteries, notamment les affections podales, constituent, par leur fréquence et leur importance économique la troisième maladie en élevage bovin laitier (Delacroix, 2000), après les problèmes de la reproduction et les mammites. Les conséquences des boiteries sont multiples, les coûts et pertes économiques liés aux boiteries sont élevés (Fourichon et al., 2001a & b) et les soins aux animaux engendrant du travail supplémentaire (Centre d'Ecopathologie Animale, 1993). Les conséquences sont également à considérer au niveau de l'individu, un animal boiteux éprouvant plus de difficultés à se déplacer compte tenu de la douleur. Les boiteries constituent une des principales atteintes au bien-être des vaches laitières (Rushen, 2001). L'animal boiteux va moins s'alimenter et s'abreuver, et en conséquence produira moins de lait. Parallèlement, les performances de reproduction peuvent être altérées car la détection des chaleurs est rendue plus délicate du fait d'une limitation du chevauchement. Pour toutes ces raisons, le risque de réforme anticipée est 8,4 fois plus élevé chez un animal boiteux par rapport à un animal sain (Sprecher et al., 1997).

La fréquence des troubles locomoteurs chez les vaches laitières est en augmentation ces dernières années : en moyenne 10,9 cas pour 100 vaches présentes pendant 365 jours (Fourichon et al., 2001c) et 25-30 cas pour 100 vaches à un instant donné (Toczé, 2006). Cela tient à l'évolution des modes de logement (en particulier le développement des logements en logettes et en aire paillée non accumulée), des systèmes d'alimentation, à la charge de travail des exploitants qui induit une baisse de la qualité des soins aux animaux boiteux et enfin aux regroupements de troupeaux qui favorisent l'introduction puis la dissémination des maladies à composante infectieuse.

La gestion des boiteries est un enjeu majeur dans les élevages bovins laitiers. Les boiteries constituent une atteinte au bien-être animal (réforme anticipée, douleur, amaigrissement) (Sadiq et al. 2017), et ont un impact économique important en élevage (Stankov 2014). Environ 90% des cas de boiteries sont causés par des lésions podales (Van Amstel, Shearer 2006). Les ulcères de la sole, panaris, lésions de la ligne blanche et de dermatite digitée sont les plus susceptibles de faire boiter (Manske et al., 2002). Elles sont par ailleurs très fréquentes et leur gestion passe par une maîtrise collective qui repose sur le contrôle des facteurs de risque impliqués.

Le terme de boiterie correspond littéralement au signe clinique présenté par les animaux qui manifestent une suppression ou un allègement de l'appui sur un membre douloureux générant une marche atypique lors du déplacement. Plusieurs affections du pied peuvent notamment conduire à ces boiteries. Chez la vache laitière, trois maladies principales sévissent à l'état enzootique dans les troupeaux : la fourbure subaiguë, le fourchet (ou dermatite interdigitée) et la maladie de Mortellaro (encore appelée dermatite digitée). Les facteurs favorisant la survenue de la maladie dans le troupeau sont pour partie différentes pour ces trois affections. Ainsi une lutte efficace contre les boiteries implique l'établissement préalable du diagnostic de l'affection en cause dans le troupeau.

Les lésions podales sont habituellement classées en lésions d'origine infectieuse comme la dermatite digitée, d'origine non infectieuse comme l'ouverture de la ligne blanche et d'origine mixte comme les ulcères de la sole (Bareille et Roussel 2014). Les lésions podales font intervenir de multiples facteurs de risque, propres à chaque élevage, dont certains sont communément admis et d'autres non consensuels. Les facteurs de risque majeurs liés au système de production (confort, propreté, pâturage...) sont bien connus mais parfois peu modifiables. Depuis de nombreuses années, l'impact de l'alimentation ou de perturbations métaboliques (comme l'acidose ruminale sub-clinique par exemple) sur la survenue de lésions podales fait débat. Mais l'alimentation et/ou le métabolisme ont-ils réellement un impact sur les lésions podales ?

Il est donc capital pour un éleveur, dans un souci de santé et d'économie, de contrôler l'état des pieds de tout son troupeau.

Mais lever le pied d'une vache n'est pas aussi aisé que sur un cheval, habitué à « donner le pied » et aux soins du maréchal ferrant. C'est une des raisons qui pousse souvent l'éleveur à différer le lever du pied, même lors de boiterie franche. Parfois, un traitement antibiotique ciblant une affection

# Introduction

---

jugée probable (le panaris) est le traitement de première intention, avant même de regarder sous le pied !

Cependant, une autre approche, préventive, se développe, et consiste à parer systématiquement les pieds de toutes les vaches d'un troupeau, afin de réduire les défauts d'aplombs et d'éviter l'apparition de boiteries. Cette opération s'avère donc intéressante pour identifier les lésions des onglons à un stade précoce, et donner une image d'ensemble de la santé des pieds du troupeau.

Un examen clinique rigoureux est non seulement indispensable pour résoudre les cas pathologiques individuels, il est également nécessaire pour maîtriser les troubles collectifs. L'abord du troupeau ou du groupe de production suppose une perception parfaite de l'individu. Il n'est pas raisonnable de croire qu'il est possible de comprendre la pathologie de groupe sans une bonne formation clinique à l'échelon individuel en particulier dans l'espèce bovine. L'examen clinique reste le fondement de toute démarche médicale qu'il s'agisse d'animaux familiers ou d'animaux de rente, d'une médecine sociale ou d'une médecine économique.

La contribution de cet ouvrage à l'enseignement et au perfectionnement de la pratique devrait être considérable dont l'objectif est de présenter les différentes techniques de propédeutique et de sémiologie pour mieux examiner cliniquement un bovin boiteux et d'étudier les principales pathologies du sabot les plus rencontrées dans nos élevages bovins. Sachant qu'un examen clinique fondé sur des notions solides d'anatomie, de physiologie et de physiopathologie est la seule garantie d'un diagnostic cohérent avec ses conséquences favorables sur la précision du pronostic et le contrôle des maladies

Afin de pouvoir étudier les lésions podales, il est fondamental d’avoir des connaissances concernant les particularités du pied des bovins sur le plan anatomique et histologique et sur le plan biomécanique.

En anatomie stricte, le pied du bovin est la partie distale du membre postérieur. Il compte 5 parties de haut en bas ; le canon, le boulet, le paturon, la couronne et le sabot.

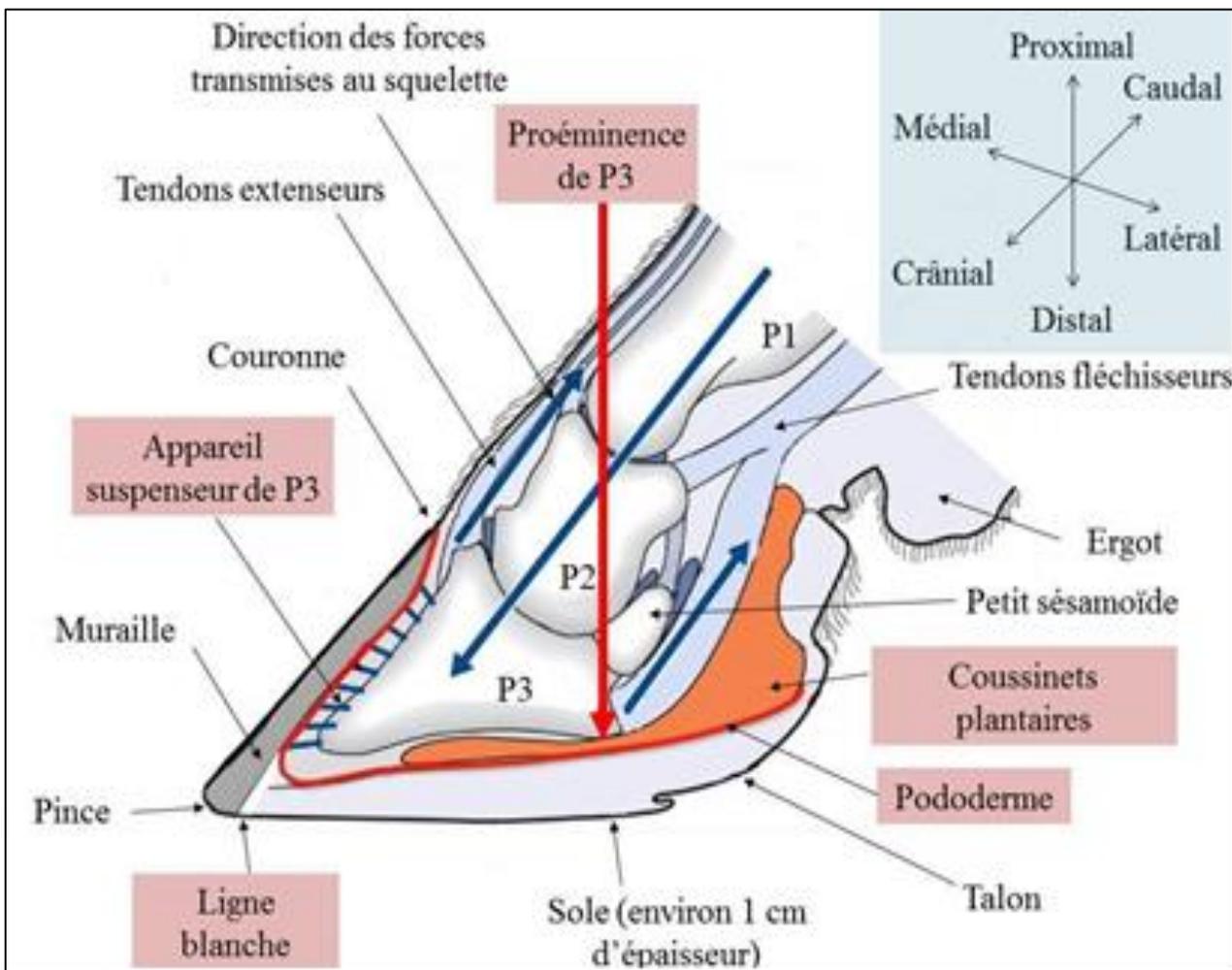
En zootechnie, c’est la partie terminale des quatre membres qui est appelé pied. Chaque pied comprend deux doigts fonctionnels ; le doigt III, externe ou latéral et le doigt IV, interne ou médial, ainsi que deux doigts accessoires, non fonctionnels, situés en face palmaire du pied, en regard de la deuxième phalange. Ils sont appelés **ergots** et sont les vestiges des doigts II pour l’interne et V pour l’externe.

Même si la majorité des affections concernent les membres postérieurs, les maladies podales, notamment infectieuses, sont communes aux membres antérieurs et postérieurs.

Un onglon est une modification de l’épiderme qui contient un ensemble de tissus, dont l’articulation inter-phalangienne distale. Il ne possède ni cartilage unguéal, ni fourchette, ni barre (FRANDSON et SPURGEON, 1992).

**I- DESCRIPTION EXTERNE DES ONGLONS**

Dans un premier temps avant toute description, il faut s'orienter correctement dans l'espace. La *Figure 1* (Toussaint Raven 1992 ; Desrochers et Anderson 2001) rappelle les règles de nomenclatures concernant les termes : axial, abaxial, dorsal, palmaire (sur les antérieurs) ou plantaire (sur les postérieurs), crânial, caudal, médial, latéral, proximal et distal.



**Figure 1:** Rappels des nomenclatures de localisation dans l’espace

Couramment, on nomme pied du bovin, l'extrémité distale au boulet. Il est constitué de deux onglons anatomiquement formés par les deux doigts fonctionnels III (onglon interne ou médial) et IV (onglon externe ou latéral), séparés par l'espace interdigité. On distingue extérieurement trois parties : la couronne, la paroi (ou muraille) et la sole : *Figure 1* (Toussaint Raven 1992; Desrochers, Anderson 2001)

- La **couronne** est la zone de transition entre la corne du sabot et la peau. Blanche et claire, d'1,5 à 2 cm, elle forme un bourrelet qui peut être comparé à la couche située à la base de nos ongles. La corne est souple à ce niveau, elle se superpose à la paroi qu'elle accompagne dans sa descente. En face plantaire, ce bourrelet fusionne avec les bulbes qui forment le talon. Ils sont formés d'une corne très molle, épaisse d'environ 1 à 1,5 cm.
- La **paroi** située distalement à la couronne s'étend jusqu'à la sole. Elle possède pour chaque onglon une face abaxiale et une face axiale avec une forme concave : le creux axial. Dorsalement on observe des cercles de croissance qui sont moins réguliers dans la partie axiale.
- La **sole**, située en face plantaire, est constituée d'une corne moins dure que la corne de la paroi. Elle mesure environ 7 mm en partie antérieure, et 5 mm au centre. Elle est normalement concave et cette concavité rejoint le creux axial dans l'espace interdigité. La jonction entre le bord d'appui de la paroi et la sole constitue la **ligne blanche** qui est relativement fragile et complexe, puisqu'elle permet de faire la liaison entre la corne dure de la paroi, et celle plus molle de la sole. Anatomiquement on nomme pince : la partie antérieure de la boîte cornée (sole et muraille).

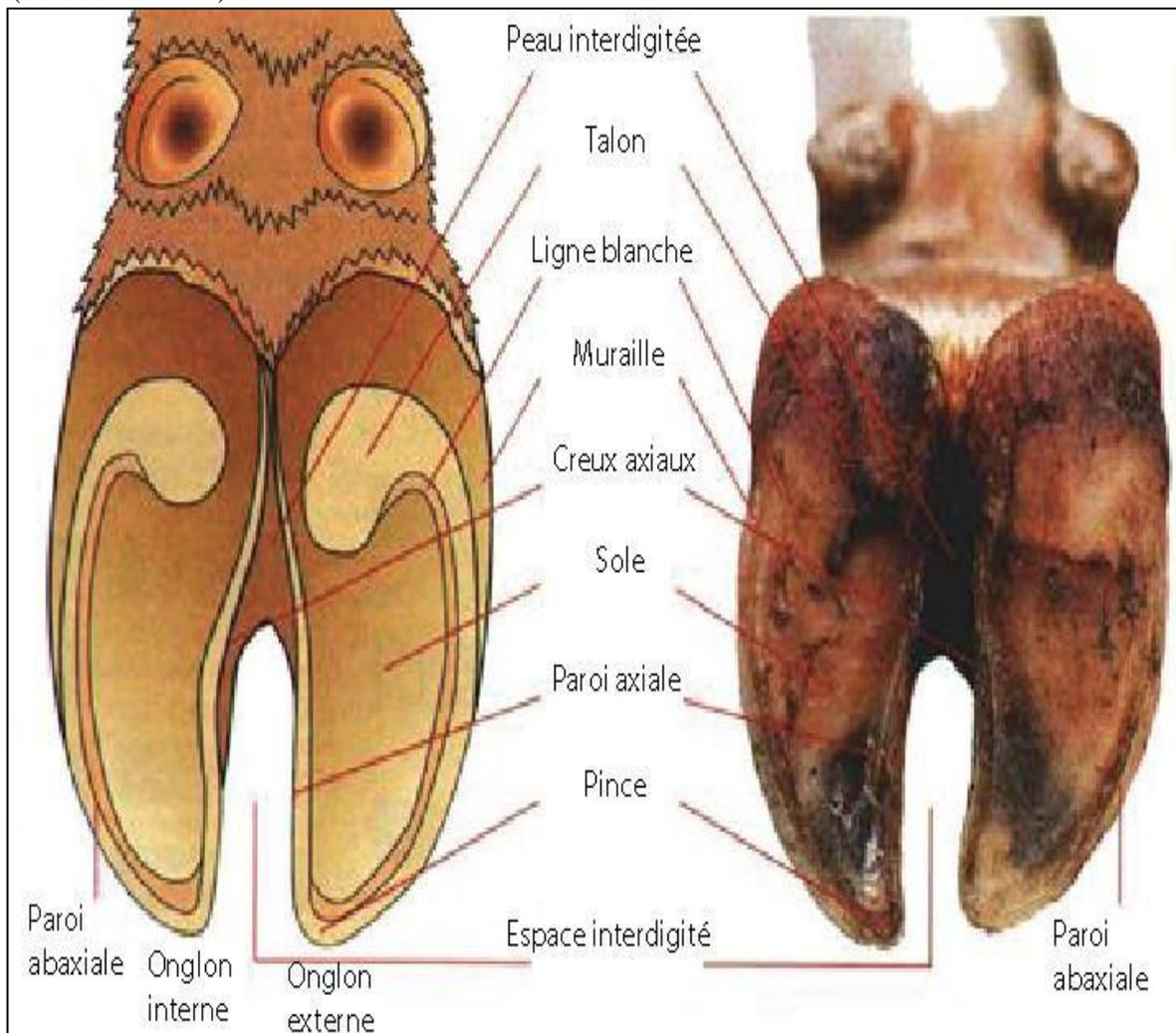
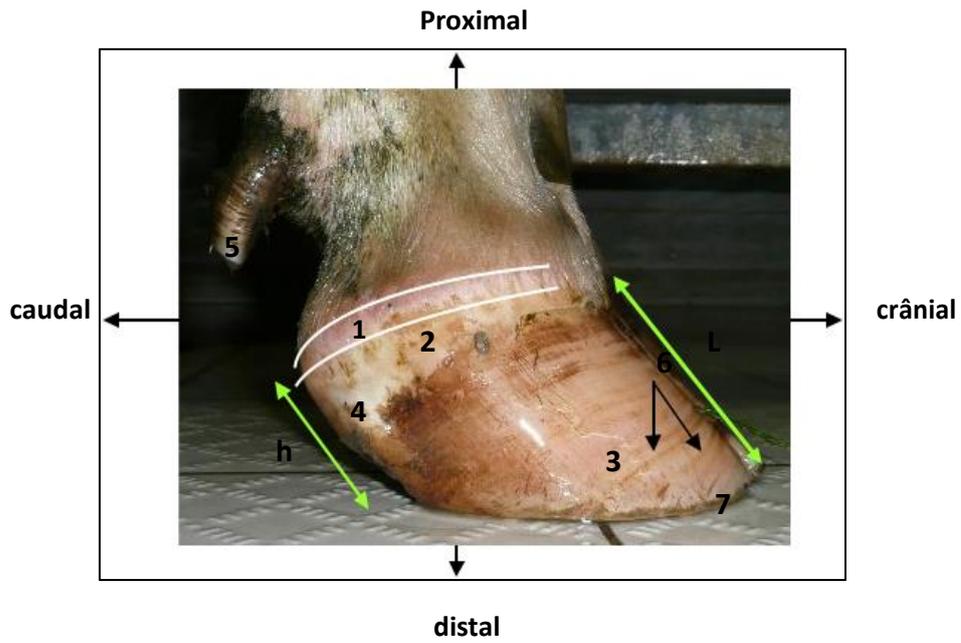
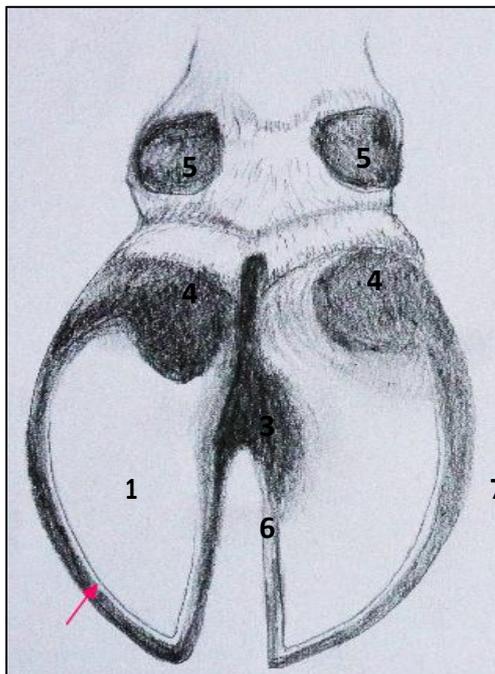


Figure 2: Rappels anatomique du pied des bovins.



- 1 : Bourrelet périoplique
- 2 : Couronne
- 3 : Bulbe
- 4 : Paroi
- 5 : Ergot
- 6 : L : Longueur    H : Hauteur
- 7 : Pince

**Figure 3 :** Vue latérale d'un pied antérieur droit.



Légende

- 1 : sole
- 2 : ligne blanche
- 3 : espace interdigital
- 4 : bulbe
- 5 : ergot
- 6 : face axiale
- 7 : face abaxiale

Source : dessin réalisé d'après  
TOUSSAINT RAVEN E, (1992)

**Figure 4 :** Vue de dessous d'un pied postérieur gauche.

Epidermes :

1 : tubulaire périoplique

2 : tubulaire coronaire

3 : lamellaire de la muraille

4 : tubulaire solaire

Pododerme : ■

5 : papille dermique

6 : capsule papillaire dermique proximale

7 : capsule papillaire dermique distale

Ligne blanche (LB) :

a : partie externe

b : partie moyenne

c : partie interne

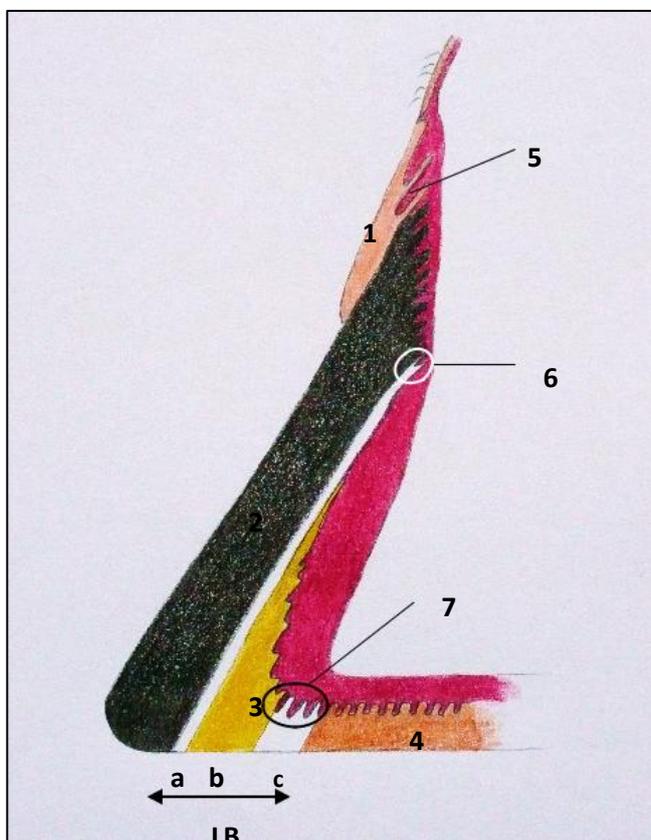


Figure 5 : coupe sagittale d'un pied en pince

## II- APERCU DE L'ANATOMIE INTERNE

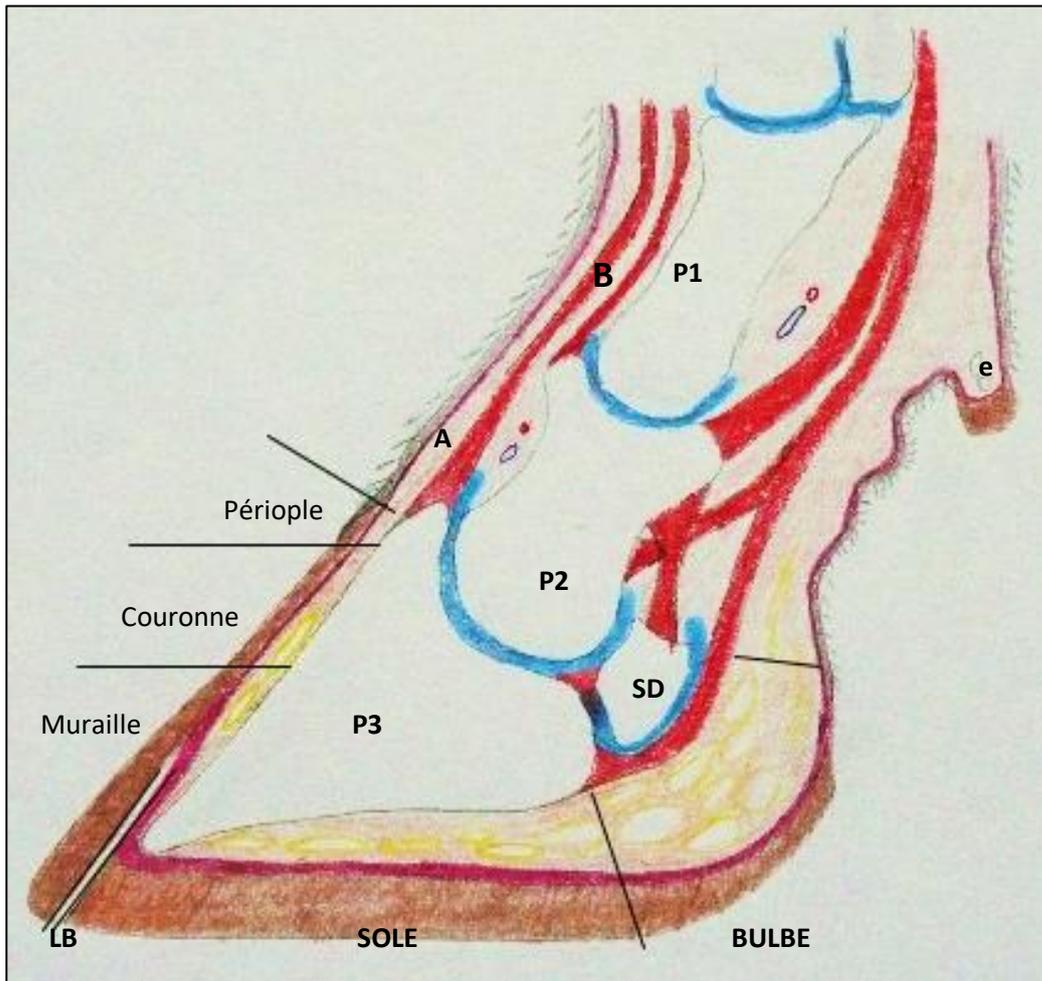
La jonction entre la corne et le tissu vif est très importante. Le vif est une ancienne dénomination pour désigner les tissus mous « vivants » à l'intérieur de la boîte cornée. Il est constitué de 3 couches : la couche germinative de l'épiderme, le pododerme, et le tissu sous-cutané. Les éléments anatomiques majeurs du pied sont les suivants :

- ✓ Le pododerme : surface d'échange avec un rôle important de nutrition et d'élimination des déchets grâce à son réseau capillaire très développé. (Guatteo et al., 2013).
- ✓ La proéminence axiale : c'est l'endroit où la pression est la plus importante à l'origine de l'ulcère typique de la sole. (Guatteo et al., 2013).

- ✓ L'appareil suspenseur de la 3<sup>ème</sup> phalange qui permet de maintenir P3 dans la boîte cornée grâce au tissu laminaire de l'épiderme qui s'imbrique dans les lamelles du corium et aux fibres de collagène qui vont de P3 à la membrane basale du pododerme.

**a. Structures tendino-squelettiques**

Le squelette du pied est constitué par la succession de trois phalanges (proximale, moyenne et distale), et de l'os sésamoïde distal, en arrière de la phalange distale. Ces os présentent les structures classiques d'une articulation synoviale. Plusieurs tendons viennent s'insérer sur ces os, permettant la flexion et l'extension du pied lors de la marche (fig. 6) (BUDRAS et HABEL, 2003)



- |   |                   |   |                                     |
|---|-------------------|---|-------------------------------------|
|  | Os                |  | Tendons :                           |
|  | épiderme          | A :   | de l'extenseur commun du doigt      |
|  | pododerme         | B :   | de l'extenseur latéral du doigt     |
|  | tissu sous-cutané | C :   | du fléchisseur superficiel du doigt |
|  | cartilage         | D :   | du fléchisseur profond du doigt     |

P1 : phalange proximale      P2 : phalange moyenne      P3 : Phalange distale  
 Sd : os sésamoïde distal      e : phalanges de l'ergot      LB : ligne blanche

**Figure 6 :** Tissus durs et mous d'un pied : coupe sagittale.

### b. L'épiderme

Il ne contient pas de vaisseaux ni de nerfs (une atteinte de l'épiderme seul ne provoque pas de douleur ni d'hémorragie). Vers l'extérieur, la corne va perdre sa structure et tomber en s'écaillant, ou s'user au contact du sol : on parle alors de corne morte. En revanche, les couches plus profondes de l'épiderme sont formées de cellules vivantes : elles font partie du vif et forment la couche germinative (Toussaint Raven 1992). C'est dans cette couche que la corne est produite.

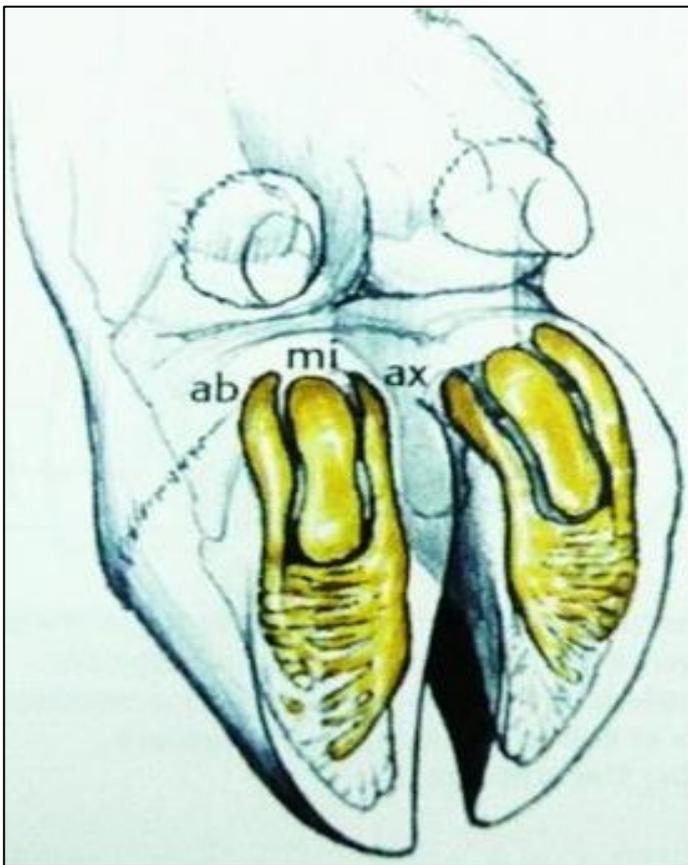
### c. Le vif

C'est un ensemble constitué par trois couches. De l'extérieur vers l'intérieur, on distingue : la couche germinative comme vu ci-dessus, le pododerme et le tissu sous-cutané, tous deux richement vascularisés et innervés (Toussaint Raven 1992).

- ❖ Le pododerme porte des papilles sur sa face externe, qui s'interpénètrent avec les couches profondes de l'épiderme. La grande surface d'échange ainsi créée permet à la couche germinative d'être nourrie par diffusion depuis le pododerme.
- ❖ Le tissu sous cutané (hypoderme) est présent entre le pododerme et l'os, mais seulement dans certaines parties. Il est constitué de fibres de collagène enserrant des lobules de gras (tissu adipeux). Il est particulièrement développé dans les bulbes et en région caudale de la sole d'une part et au niveau de la couronne d'autre part. On parle de coussinets plantaire et coronaire (fig. 7) (Agrest 2011 ; Toussaint Raven 1992).

Le coussinet coronaire contient un réseau de veines munies de valves, qui agirait comme une pompe favorisant le retour du sang lors de la marche (GREENOUGH PR, (2007).

*L'existence de zones avec ou sans tissu sous-cutané crée deux structures aux propriétés mécaniques différentes. Ces différences sont à l'origine de deux concepts clés du fonctionnement du pied : l'appareil supportant l'os du pied et l'appareil suspenseur du doigt.*



ab : partie abaxiale du coussinet  
mi : partie moyenne  
ax : partie axiale

Source : d'après (LISCHER et al, 2002)

**Figure 7** : Schéma de la structure du coussinet plantaire d'un pied postérieur droit normal

### III- CROISSANCE DE LA CORNE

La croissance de la corne est permise par des divisions cellulaires au sein de la couche germinative de l'épiderme. Les cellules sont ensuite kératinisées et subissent une différenciation poussée aboutissant à la mort cellulaire dans la couche cornée de l'épiderme (Tomlinson et al., 2004). Cette croissance cellulaire est tridimensionnelle et complexe. On distingue quatre régions de production de corne avec des structures de corne différentes (Van Amstel et Shearer 2006) : la corne périoplrique, la corne de la muraille, la ligne blanche, et la sole. La croissance de la paroi est estimée à 8-10 semaines (pour atteindre la surface du sol) soit environ 0,4 à 0,5 cm par mois (Vermunt et Greenough 1995). La production de corne est plus lente en talon et axialement : le pied a donc naturellement tendance à s'allonger et s'affaïsser vers l'arrière et axialement (Toussaint Raven 1992).

La couche basale, composée d'une matrice extracellulaire très développée, est située à l'interface entre le derme et l'épiderme (Van Amstel et Shearer 2006 ; Vermunt et Greenough 1995). Elle permet l'attachement des cellules épidermiques au derme. Elle doit résister à la charge tout en transférant les forces mécaniques. Elle permet aussi l'apport des nutriments et substances nécessaires au métabolisme des cellules épidermiques, ainsi que le transfert de signaux messagers chimiques et mécaniques (Mülling 2012).

### IV- LA BIOMECHANIQUE :

Les pieds d'une vache laitière supportent une masse  $m$  de 700kg en moyenne, assurant la station debout et les déplacements. Parce qu'il est question de poids vif soumis à la gravité terrestre ( $g=9.81 \text{ N.kg}^{-1}$ ) autrement dit de force  $P = m \times g$ , de corps en mouvement ou à l'arrêt, il est question de mécanique.

La biomécanique, c'est la mécanique appliquée à l'être vivant.

Le poids du corps est transmis au niveau des membres par les os, et se termine au niveau des phalanges distales des huit onglons de la vache. Comme nous l'avons vu précédemment, de par sa situation anatomique, lors de l'appui, le vif du pied est pris en étau entre la troisième phalange et le sabot. Or, l'os du pied est immobile en pince et en région abaxiale, tandis qu'il est relativement mobile en région caudale et axiale.

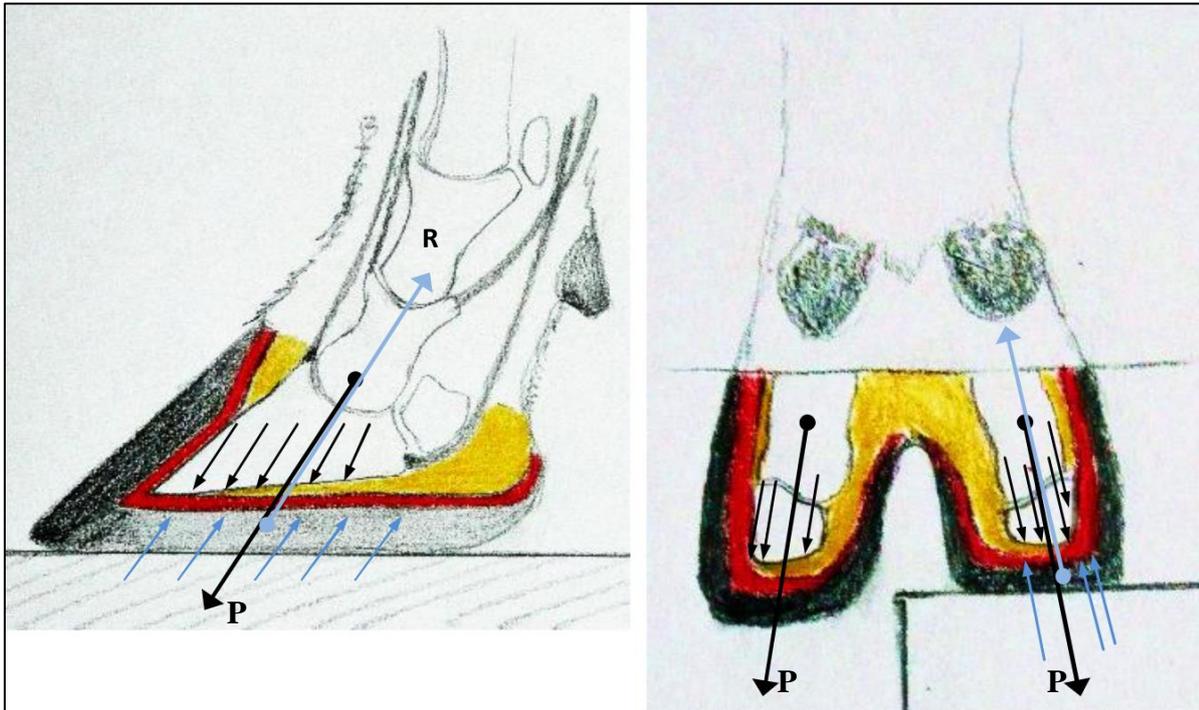
Sur une figure, nous pouvons représenter la force du poids de l'animal (**P**) exercée par l'os du pied par une flèche dont la direction est parallèle à l'axe de la phalange moyenne (Toussaint Raven 1992). Cette force peut-être décomposée en de nombreuses petites forces exercées sur toute la surface du vif de l'onglon, et dont la somme est égale à  $P$ . En retour, le sol exerce sur la sole une force de même intensité, et de direction opposée. La sole, immobile, transmet l'intégralité de cette force sur le vif (fig. 8a).

Bien qu'évident, il est important d'insister sur le fait qu'en l'absence d'appui, aucune force ne s'exerce par le sol sur le sabot en retour au poids de l'animal : le vif n'est pas « chargé » (fig. 8b).

*Du fait de la concavité de la sole, la surface du pied n'entre pas en contact avec le sol de façon homogène. Voyons donc comment la pression, c'est-à-dire le poids par unité de surface, se répartit sur les onglons.*

Figure 8a : Coupe sagittale d'un onglon chargé

Figure 8b : Coupe frontale d'un pied gauche, dont l'onglon externe n'est pas chargé.



- pododerme
- tissu sous-cutané
- force exercée par l'os sur le vif
- force exercée par la corne sur le vif

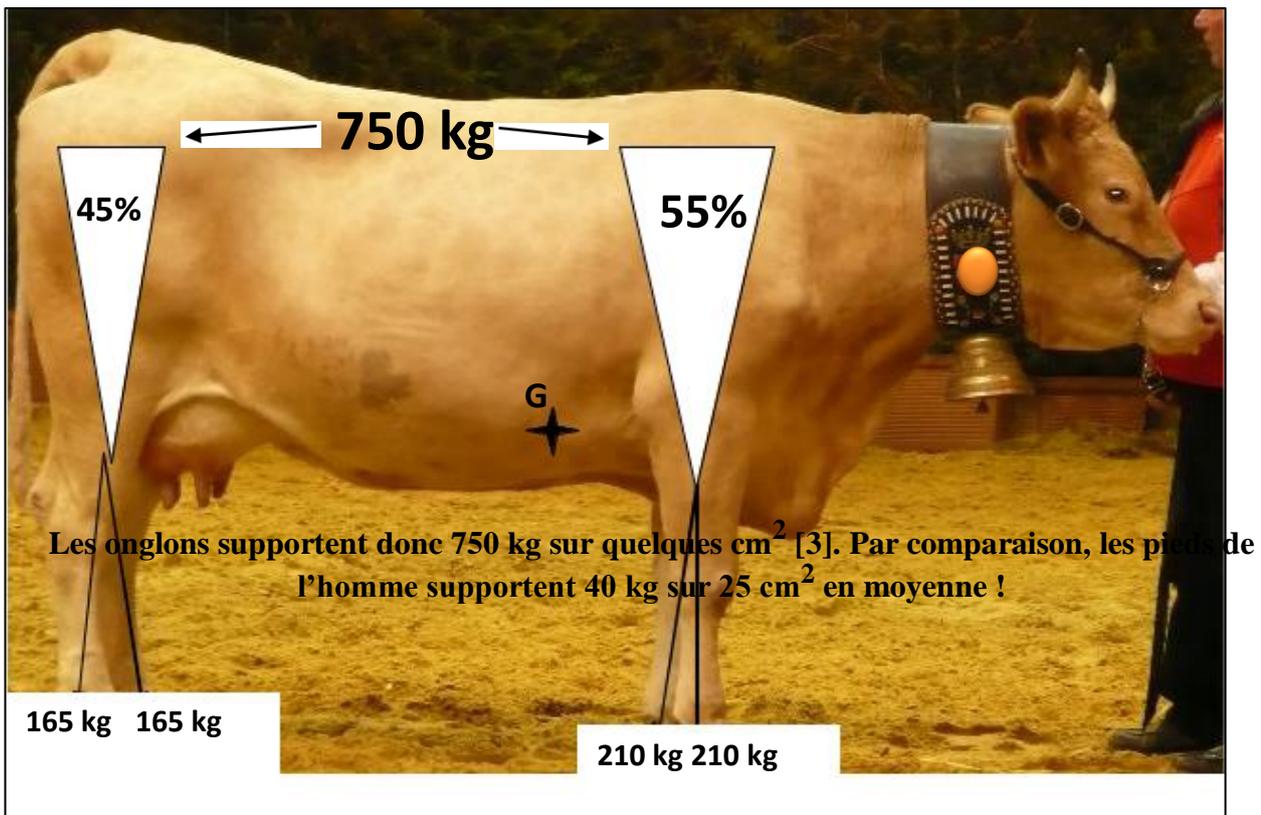
**P, P' et R'** : résultante des forces exercées sur le vif par l'os ou la corne

**Figures 8a et 8b.** Schémas de la répartition des forces (poids et réaction du sol) exercées sur le vif.

**a) Répartition des charges entre les membres**

Du fait de la répartition inégale du poids entre l'avant et l'arrière de l'animal, le centre de gravité d'un bovin adulte se situe au niveau de la poitrine. Les membres antérieurs supportent donc plus de poids que les postérieurs (TOUSSAINT RAVEN E 1976 ; TOUSSAINT RAVEN E 1992).

Par exemple pour une vache de 750kg : 55% du poids vif, soit 420kg, sont pris en charge équitablement par les 2 antérieurs, alors que 45% sont pris en charge par les postérieurs (fig. 9). Les antérieurs supportent donc 20% de poids de plus que les postérieurs (MONTMEAS et al., 2006) !



G : centre de gravité      Calcul adapté à partir de (TOUSSAINT RAVEN E 1992)

**Figure 9 :** Répartition différente du poids sur les membres et les pieds d'une vache

*Il est décrit plus haut qu'ongles interne et externe ne présentait pas la même concavité de la sole. Cette différence anatomique influence-t-elle la répartition du poids ?*

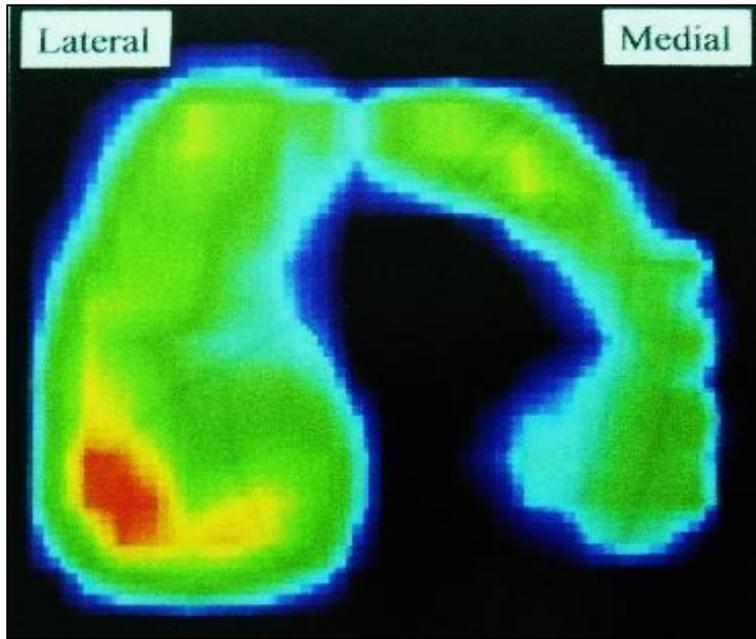
### **b) Répartition des charges entre onglon externe et interne**

Le relief de la sole détermine la surface d'appui au sol, c'est-à-dire la surface où va se répartir la pression engendrée par le poids de l'animal sur le sol, et sa réciproque de même intensité : la réaction du sol sur le pied. Van der Tol et al. (2002) ont réalisé des séries d'enregistrements de pression (500 mesures en 1.6s) sous les pieds de vaches laitières Holstein non boiteuses et immobiles, avec le Foot Scan Clinical Version.

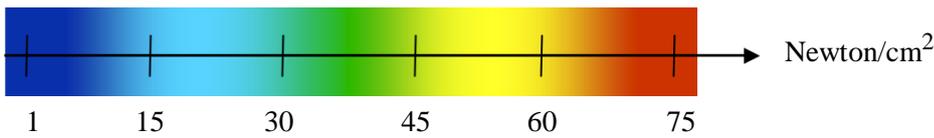
La moyenne des valeurs de pressions enregistrées est traduite par un code couleur. Tandis que les pressions verticales n'excèdent pas  $45 \text{ N/cm}^2$  pour l'onglon postéro-interne, elles atteignent  $75 \text{ N/cm}^2$  sur l'onglon postéro-externe (fig. 10).

L'ensemble des mesures a permis de conclure à la plus grande surface d'appui et la plus forte charge de l'onglon postéro-externe par rapport à l'onglon postéro-interne ( $p < 0.01$ ). Notons que l'inverse est observé pour les ongles antérieurs ( $p < 0.01$ ) (Van der Tol et al. 2002).

Les disparités entre les deux ongles postérieurs, se retrouvent au niveau des os du pied. On note en effet que la phalange distale de l'onglon externe présente une surface plus rugueuse, en raison de nombreuses exostoses (fig. 11a et 11b). Celles-ci se développent lorsque des forces importantes et/ou nombreuses s'appliquent. La rugosité augmente donc aussi avec l'âge de l'animal (TOUSSAINT RAVEN E 1992).



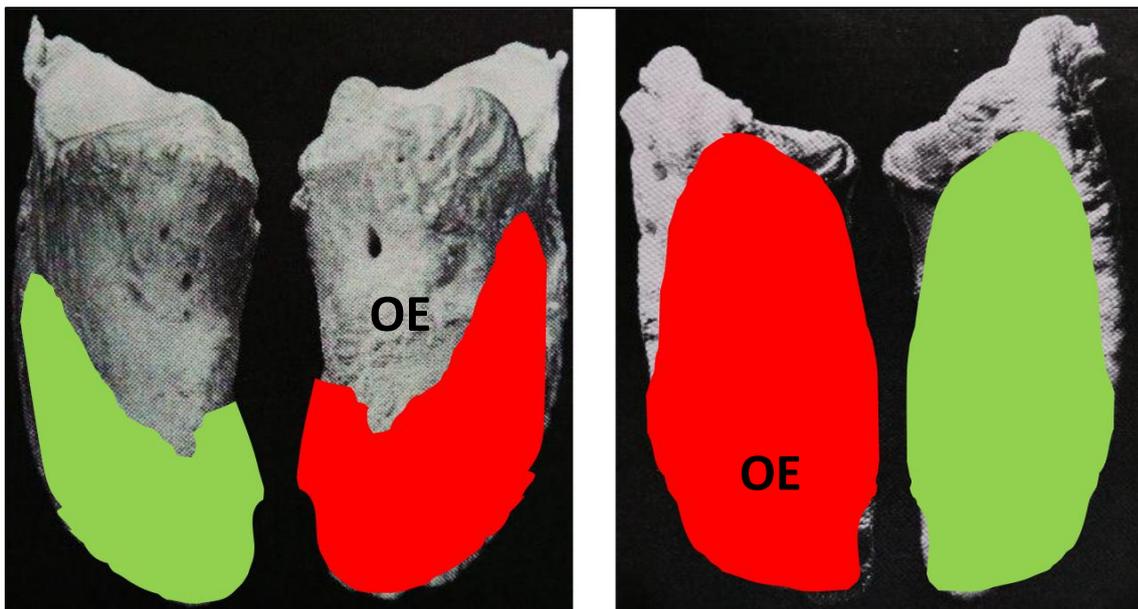
Medial : onglon interne ; Lateral : onglon externe  
 Echelle des pressions :



**Figure 10 :** Représentation des pressions verticales exercées sur le sol par un pied postérieur gauche. Source : d'après Van der Tol et al. (2002)

*Figure 11a : Face dorsale*

*Figure 11b : Face plantaire*



Légende

OE : onglon externe



périoste rugueux (exostoses)



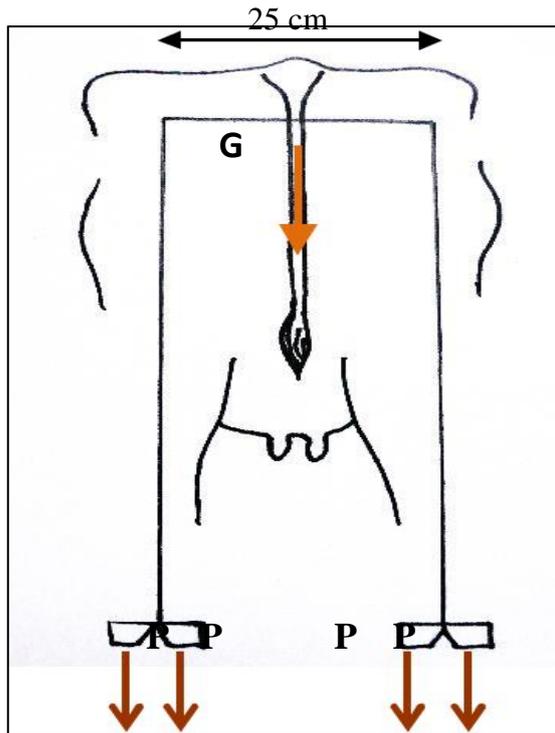
périoste lisse

**Figures 11a et 11b :** Photographies des phalanges distales d'un pied postérieur gauche de vache

Ces 2 constats, mécanique et anatomique, montrent qu'onglons externes et internes ne supportent pas la même charge.

La différence de conformation et de charge a été comprise et expliquée pour la première fois par le Dr Toussaint-Raven, en 1985 (TOUSSAINT RAVEN 1992).

Prenons l'exemple d'une vache de 730kg « au carré », et dont les onglons postérieurs externe et interne, stables, auraient la même hauteur. Le poids assuré par l'arrière train (45% soit environ  $m=330\text{kg}$ ) se répartit alors de façon égale entre les deux membres (165kg), qui délèguent eux-mêmes la moitié de la charge à chaque onglon, soit 82.5kg par onglon (fig. 12a).



Légende

- G** : gravité ( $g=9.81 \text{ m.s}^{-2}$ )
- poids **P** exercé par chaque onglon
- P**= $82.5 \times 9.81=809 \text{ N}$

Source : adapté d'après (Toussaint-Raven, 1992).

**Figure 12a** : Modélisation de la répartition des charges sur les onglons postérieurs

Dans ce modèle, nous considérons maintenant que le bassin de l'animal peut être comparé à une charnière fixe.

Lorsque l'animal se déplace, son bassin « tangue » légèrement d'un côté puis de l'autre. On applique le théorème des moments, la vache étant en équilibre. Calculons la masse supportée par chaque pied pour un déplacement de 2.5cm à droite (fig. 12b) : Soit  $m$  la masse supportée par les postérieurs,  $m_1$  la masse supportée par le postérieur gauche (point A) et  $m_2$  la masse supportée par le postérieur droit (point B), O le barycentre de AB (projection de G' au sol).

On obtient :

$$m_1 \times OA = m_2 \times OB$$

$$m_1 + m_2 = m$$

Soit le système :

$$m_1 = m \times OB / (OA + OB)$$

$$m_2 = m - m_1$$

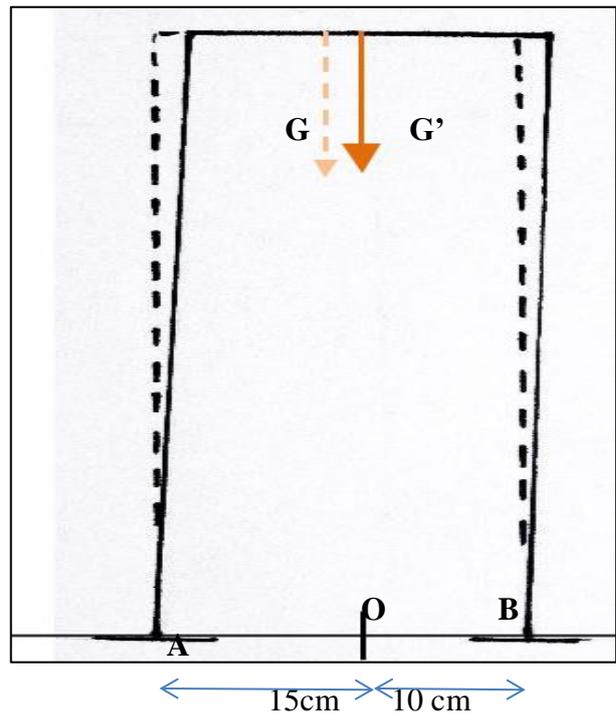
d'où :

$$m_1 = 330 \times 10 / (10 + 15) = 132 \text{ kg}$$

$$m_2 = 330 - 132 = 198 \text{ kg}$$

L'application algébrique donne 130 kg

environ à gauche, pour près de 200kg à droite.



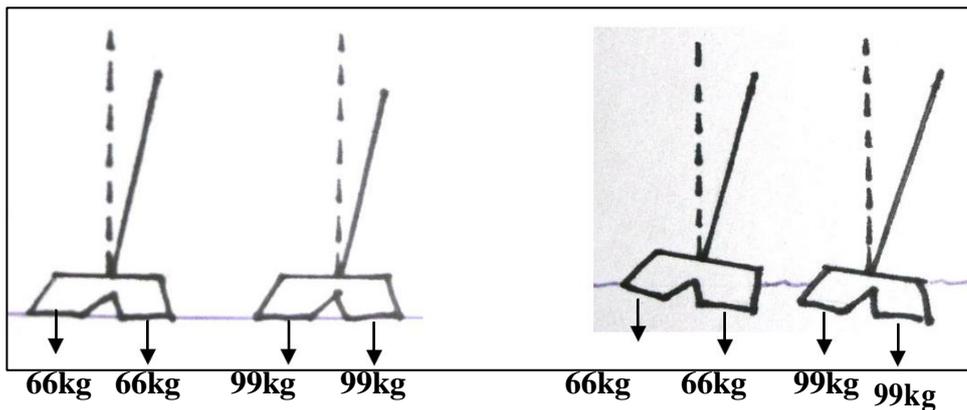
**Figure 12b:** Modélisation : nouvelles charges lors d'un mouvement de balancier de 2.5cm à droite.

Mais que se passe-t-il au niveau des onglons ?

- (i) si les onglons sont reliés entre eux de façon très souple, leur contact au sol sera toujours le même qu'avant de « tanguer », et ils se répartiront alors également la charge (fig. 12c et 12d). On obtient donc pour les onglons gauches :  $m=132/2=66 \text{ kg}$ , et pour les onglons droits :  $m=198/2=99 \text{ kg}$ .

Figure 12c. Onglon souple, sol dur.

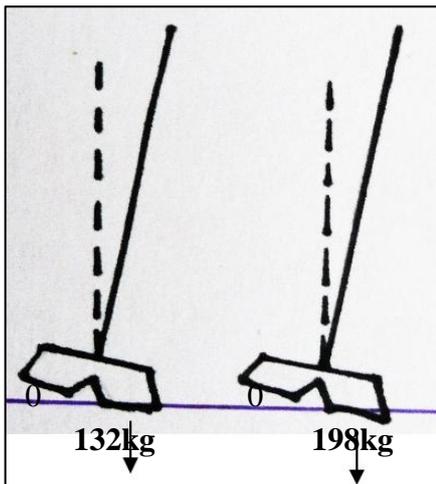
Figure 12d. Sol mou.



Source : adapté d'après (Toussaint-Raven, 1992).

**Figures 12c et 12d :** Modélisation (i) d'une liaison souple entre onglons

- (ii) si les onglons sont fixes l'un par rapport à l'autre, le mouvement effectué par le bassin va faire perdre le contact aux onglons opposés au sens du mouvement (fig. 12e). Seuls les onglons restés au sol seront chargés : l'onglon interne gauche et l'onglon externe droit supporteront donc la totalité du poids du membre, soit 132 kg et 198 kg respectivement. Les deux autres onglons ne supporteront pas un gramme.



Source : adapté d'après (Toussaint-Raven, 1992).

**Figure 12 e :** Modélisation (ii) d'une liaison fixe entre les onglons, sur sol dur

- (iii) en réalité, la liaison interdigitale assurée par des ligaments laisse une certaine souplesse entre les onglons, qui leur permet de s'adapter au sol dans une certaine mesure. On a donc une situation intermédiaire aux deux modélisations précédentes (i) et (ii). La répartition réelle se rapprocherait du rapport 40/60% d'après Toussaint Raven (1992) (fig. 12f).

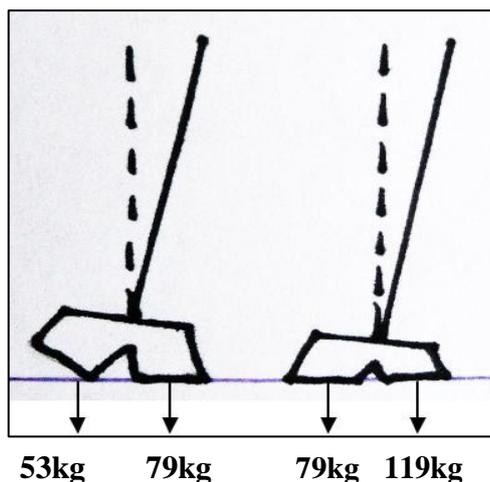
On obtient :

Pour les onglons gauches :

- $m=132 \times 0.4=52.8 \text{ kg}$
- $m=132 \times 0.6=79.2 \text{ kg}$

Pour les onglons droits :

- $m=198 \times 0.4=79.2 \text{ kg}$
- $m=198 \times 0.6=118.8 \text{ kg}$



Source : adapté d'après (Toussaint-Raven, 1992).

**Figure 12f :** Modélisation réelle (iii) : intermédiaire entre (i) et (ii).

Ainsi, les variations de charge lors d'un mouvement, aussi minime soit-il, sont beaucoup plus marquées sur les onglons externes qu'internes. De plus, la présence d'un sol dur accentuera cette tendance, en imitant l'effet « onglon fixe » (ii), augmentant ainsi les écarts de charge.

### Conséquence

Comme l'augmentation modérée de la pression sur le pododerme stimule la production de corne, les onglons les plus portants vont augmenter en taille et en épaisseur de manière plus importante que les onglons les moins portants. Or, l'onglon le plus grand, du fait de son excès de corne, porte davantage de poids de l'animal, et subit donc encore plus de variations de pressions stimulant la production de la corne. Il s'installe alors un cercle vicieux pression/production, beaucoup plus actif sur l'onglon qui porte à l'origine le plus de charge.

Cette inégale répartition des charges explique que 95% des boiteries concernant un pied postérieur aient pour origine l'onglon externe (DELACROIX M, 2006).

La situation fréquente pour ces lésions se trouve en regard de la zone d'insertion du tendon fléchisseur profond du doigt (DELACROIX M, 2006). Cette zone « typique » correspond à la proéminence axiale de la 3ème phalange, protégée par le coussinet plantaire (DELACROIX M, 2000). On parle d'ulcère typique (décrit pour la première fois en 1920 par Rusterholz) (LISCHER CJ et al, 2002).

Alors que les antérieurs supportent plus de poids que les postérieurs, la majorité des boiteries sont observées sur les postérieurs (DELACROIX M, 2010 ; DELACROIX M, 2006) Comment peut-on l'expliquer ?

La réponse est double d'après Toussaint Raven (1992) et se trouve à la fois dans la structure et le fonctionnement du pied, que nous allons préciser ici, et dans les circonstances favorables aux maladies du pied.

A l'avant, la ceinture scapulaire constituée entre autre par les muscles et ligaments permet une solidarisation « souple » des membres antérieurs qui diminue les modifications de charges entre les pieds. Cet assemblage n'est pas comparable à une charnière fixe comme pour les postérieurs. Les onglons des antérieurs ne connaissent donc pas de variations de charges aussi importantes que leurs arrières (Toussaint Raven (1992). Ils se rapprochent plus d'une répartition égale (cf IA5b, modélisation (i)). La comparaison de P3 entre l'onglon externe et l'onglon interne d'un antérieur ne montre pas de différence systématique de rugosité comme celle observée au niveau d'un postérieur, ce qui est conforme à la biomécanique (Toussaint Raven (1992).

De plus, au niveau des antérieurs, les talons étant plus hauts et la couronne plus horizontale, la charge serait mieux répartie sur les onglons. Ils travaillent ensemble et sont assez stables. Enfin, les conditions d'hygiène pour les antérieurs semblent meilleures (Toussaint Raven (1992). En effet, l'arrière train de l'animal expose plus les postérieurs aux fèces et à l'humidité, facteurs propices aux maladies.

*Ainsi, l'onglon postéro externe sera soumis à des charges plus défavorables que les autres onglons, le prédisposant aux lésions. Mais quelles parties de cet onglon seront les plus sujettes à problème ?*

#### **c) Répartition des charges au sein de l'onglon**

Nous avons vu plus haut que le coussinet plantaire n'est pas présent uniformément, et que là où il est absent, l'os est directement fixé de façon robuste à la corne par le pododerme, grâce à un système de lamelles. Cette fixation est meilleure dans la partie abaxiale antérieure de l'onglon. Le poids du corps fera donc « bouger » l'os là où il est le moins solidement arrimé à la corne, à savoir en région postérieure et axiale. A cette plus grande mobilité localisée s'ajoute la présence de la protubérance osseuse de la phalange distale où s'insère le tendon du muscle fléchisseur profond du doigt (fig. 4). Si, en conditions normales de charge un onglon sain le supportera, on comprend qu'il s'agit ici d'une zone de prédisposition aux lésions (dont la « lésion typique de la sole ».

Toussaint Raven (1992), sur ces considérations anatomiques, déduit que la pression exercée par la sole sur le pododerme est concentrée en partie axiale postérieure de la phalange distale.

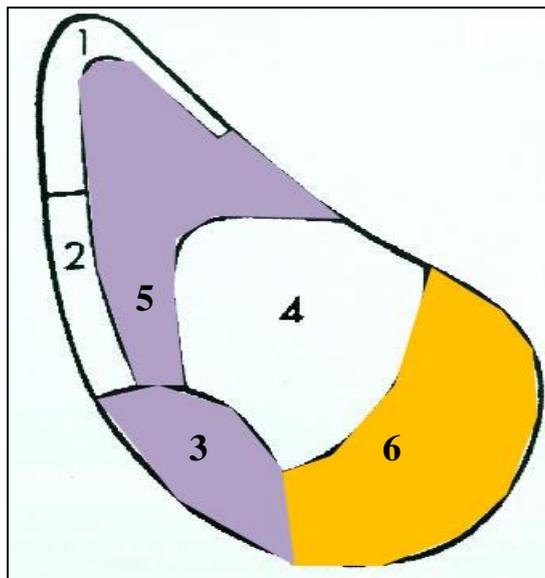
Cette hypothèse a été confirmée entre autre par une étude ayant permis de mesurer la distribution des pressions au niveau de chaque onglon (VAN DER TOL PPJ et al, 2002). Cette équipe de chercheurs, à l'aide du « Runners service Scanning » donne des valeurs chiffrées là où Toussaint Raven montrait un grand sens de l'observation.

Sur huit vaches Prim' Holstein à l'arrêt, des séries de mesures sur les quatre pieds ont permis de tirer plusieurs conclusions quant aux pressions subies par la sole (VAN DER TOL PPJ et al, 2002). Afin de faciliter la localisation des pressions, ils ont utilisé la nomenclature établie lors du 6<sup>ème</sup> Symposium International des Maladies du doigt des Ruminants de Liverpool de 1990 (fig.13).

- Pour un antérieur, les pressions maximales s'exercent le plus souvent en région 6, onglon externe comme interne.
- Pour un postérieur, les pressions maximales sont le plus souvent enregistrées en zone 3 de l'onglon externe et en zone 5 de l'onglon interne.

Légende

- Zone de pression maximale sous un onglon :



Source : d'après (VAN DER TOL PPJ et al, 2002).

**Figure 13 :** Schéma des 6 régions de la sole

Van der Tol et al avancent l'hypothèse de la localisation du centre de gravité (caudale aux antérieurs et crâniale aux postérieurs) pour expliquer la différence de localisation des pressions maximales entre pieds avant et arrière (VAN DER TOL PPJ et al, 2002).

On comprend donc pourquoi l'onglon postéro-externe est plus sujet aux lésions que l'onglon postéro-interne. L'anatomie prédispose également la vache à développer des lésions en certaines localisations, comme c'est le cas pour l'ulcère typique de la sole.

Nous voilà donc en possession des points forts et faibles des onglons des bovins. On peut aisément postuler que dans des conditions naturelles, ce pied est capable d'assurer son rôle de locomotion, mais que dès qu'un déséquilibre se crée, le pied accentue ce déséquilibre, ce qui peut être à l'origine de lésions.

La forme et la qualité du sabot dépendent de la répartition des pressions lors de l'appui, de l'état de santé du pododerme, de l'adéquation entre croissance et usure de la corne, et de l'âge de l'animal.

Malheureusement, les techniques modernes ne correspondent plus tout à fait à l'environnement naturel (sol en béton,...) et peuvent entraîner un déséquilibre de la répartition des pressions. Voyons quels sont les facteurs de la conduite d'élevage qui peuvent se répercuter sur la santé du pied.

Une boiterie est une démarche anormale résultant d'une blessure, d'une maladie ou d'un inconfort d'un ou plusieurs pieds et/ou membres. En élevage de bovins laitiers, les boiteries sont une dominante pathologique importante. Elles constituent la 3<sup>e</sup> affection derrière les mammites (1<sup>er</sup>) et les troubles de la reproduction (2<sup>e</sup>) (Enting et al. 1997). En plus de leurs répercussions économiques, les boiteries sont, per se une atteinte au bien-être de par la douleur et l'inconfort engendrés (Whay and Shearer 2017).

L'évaluation des boiteries au sein des élevages laitiers est un enjeu important pour le vétérinaire car elles peuvent révéler ou engendrer un dysfonctionnement dans l'élevage. Généralement les boiteries sont détectées, par l'éleveur, le pareur ou le vétérinaire, par observation d'une modification de la démarche, de la posture, du comportement de la vache ou directement de lésions podales. Pour prendre en charge efficacement le problème de boiteries, le vétérinaire doit connaître leur nombre et leur sévérité dans le troupeau. Certaines méthodes ont ainsi été développées dans le but de détecter les vaches boiteuses. Dans un premier temps les scores de locomotion ont été développés puis ils ont été très largement utilisés dans les travaux de recherche, à l'image du score de Sprecher et al (1997). Dans un second temps, des méthodes d'évaluation automatiques (nécessitant du matériel coûteux) et des scores statiques basés sur l'observation des postures des vaches au cornadis se sont développés, à l'image du score statique de Bareille et Roussel (2014). Les scores statiques sont davantage utilisés par le praticien que les scores de locomotion mais peu d'études se penchent sur la validité et les performances de ce type de méthode.

### **1- Prévalence et incidence des boiteries en élevage bovin**

Les prévalences rencontrées au sein de diverses études sont variables. Cependant à méthode de détection et seuil de détection comparables les prévalences moyennes ont tendance à converger vers l'intervalle 20-30% (Welfare Quality® 2010).

Les facteurs de variation de la prévalence et de l'incidence des boiteries rencontrées dans les études sont les suivants :

- La méthode de détection des boiteries employée
- Le seuil de détection des boiteries
- La race des vaches observées
- La taille des élevages
- La présence ou l'absence des facteurs de risques de boiteries.

### **2- Facteurs de risque**

Les facteurs de risque des boiteries peuvent avoir une origine extrinsèque : l'habitat, la conduite du troupeau, l'humidité, l'hygiène, la production, l'alimentation, la saisonnalité ; ou une origine intrinsèque : la génétique et les pathologies du peri-partum. La bonne santé des pieds est un reflet précis de conditions d'élevage maîtrisées. C'est pourquoi l'attention portée aux pieds doit faire partie du travail quotidien de l'éleveur.

#### **2-1- Facteurs extrinsèques**

##### **2-1-1 Risque lié à l'habitat**

###### *➤ Confort de l'habitat*

Les défauts de confort du logement ont une influence sur la santé des pieds des bovins car il est essentiel que les vaches passent à minima entre 12h/j et 14h/j couchées. Or une couche inconfortable entraînera une prolongation de la station debout qui à son tour diminuera l'efficacité de la rumination, fatiguera les vaches et augmentera les lésions des pieds et les boiteries (Grant and Albright 2000). Les temps de couchage sont plus longs en aires paillées qu'en logettes, en logettes avec sols moelleux qu'avec sols durs, en logettes avec matelas qu'avec tapis et sciure. Les blessures des membres sont nettement moins importantes en logettes paillées qu'en logettes avec tapis sans paille. Les vaches privilégient le confort de la couche par rapport aux dimensions de la logette. Le

## Chapitre II Les facteurs de risque et l'importance économique des boiteries

---

nombre de places couchées doit être supérieur au nombre de vaches, sinon la compétition est telle que les dominées et les primipares passeront moins de temps couchées (Delacroix 2008).

Les problèmes de boiteries augmentent avec les sols durs. L'amortissement à la pose du pied y est nul. Les pressions sur les onglons augmentent, lesquelles stimulent la production de corne qui accroît la grosseur et l'épaisseur des onglons, en particulier de l'onglon postéro-externe.

Le cercle vicieux pression/production est alors activé (Delacroix 2008). Les vaches montrent une nette préférence pour les sols souples (type caoutchouc) comme le montrent les travaux de Blowey : une bande de tapis en caoutchouc de 1,5m de largeur a été positionnée au centre d'un couloir d'accès à la salle de traite en béton. Bien que toutes les vaches pouvaient se déplacer librement dans tout le couloir, elles ont toutes préféré se déplacer sur le tapis en caoutchouc. En effet, l'enfoncement dans un sol mou diminue les forces encaissées par le pied (Blowey 2005).

Au-delà de la dureté des sols, c'est la qualité de leurs surfaces qui affecte le confort des animaux et doit retenir l'attention :

- Des sols trop lisses sont glissants et les vaches s'y déplacent avec prudence, et risquent des traumatismes. Le rainurage des bétons tente d'y remédier, mais le passage quotidien des racleurs tend à diminuer à terme son effet.
- Si les surfaces sont trop abrasives, elles usent exagérément la corne. Les bétons neufs peuvent être dangereux de ce point de vue.
- Les surfaces trop inégales, mal entretenues, présentant des cavités plus ou moins importantes, font trébucher les vaches et contribuent à léser la ligne blanche.
- Les sols couverts de gravillons rendent la marche très inconfortable. Les gravillons pénètrent dans la corne, en particulier au niveau de la ligne blanche et créent des abcès (Delacroix 2008).
  - *Hygiène et humidité de l'habitat*

Le manque d'hygiène et l'humidité de l'habitat sont des facteurs de risque majeurs pour les boiteries d'origine infectieuse, en particulier la dermatite digitée, la dermatite interdigitée et les panaris (Delacroix 2008). En effet selon Borderas et al (2004), les tissus composant les sabots des vaches absorbent l'eau rapidement et la dureté des sabots diminue avec l'augmentation de leur contenu en eau. Ces résultats suggèrent que l'exposition, même brève, des sabots à des surfaces humides résulte en une diminution de la dureté. Or les vaches ayant des onglons plus tendres ont tendance à présenter des lésions des onglons plus sévères.

### 2-1-2 Risque lié à l'alimentation

Pour fabriquer un étui corné de qualité, un apport des nutriments de base est nécessaire. Ainsi, un déséquilibre, même léger, dans la ration peut avoir des conséquences directes sur le développement de maladies podales.

En effet, des excès de concentrés riches en glucide hautement fermentescibles ou des excès d'azote dans la ration, peuvent entraîner respectivement le développement d'acidose subaigüe du rumen (ASR) ou d'alcalose du rumen. Ces troubles métaboliques favorisent l'apparition de fourbure (inflammation de la couche conjonctive profonde de la sole). (Delacroix 2008 ; Bouraoui et al. 2014). De plus, selon Nocek et al (1997) environ 62% des lésions podales pourraient être associées aux fourbures.

Une carence en minéraux, oligo-éléments ou vitamines peut avoir un effet néfaste sur la santé des pieds des bovins laitiers. En cas de déficit calcique, un accroissement des troubles osseux et des boiteries est mis en évidence. Une balance calcique négative durable induit une ostéoporose progressive et une plus grande fragilité du pied. Ainsi les animaux atteints de fièvre vitulaire sont prédisposés aux maladies du pied. Une carence en zinc, se traduit par une diminution de la dureté de la corne, rendant le pied plus sensible aux traumatismes et aux infections. Par ailleurs, on note en

## Chapitre II Les facteurs de risque et l'importance économique des boiteries

---

l'absence de complémentation minérale une incidence plus élevée des troubles métaboliques (fourbure aigue par exemple) (Faye et Barnouin 1988).

### 2-1-3 Risque lié à la conduite des animaux

#### ➤ *Manipulation des animaux*

La manipulation brutale des vaches est associée à une augmentation de l'incidence des boiteries. Clarkson et Ward (1991) ont montré que l'incidence des boiteries était significativement plus élevée dans les fermes où les vaches étaient menées dans la précipitation sur les allées de la ferme par l'éleveur, un chien ou un tracteur, que dans les fermes où les vaches pouvaient se déplacer librement à leur propre rythme. Dans le second cas les vaches pouvaient choisir leur propre rythme ce qui permettait d'éviter les coups sur la sole et le chorion. En effet, lorsque des vaches se déplacent sereinement, elles baissent la tête pour repérer une surface sécurisante et souple sur laquelle elles peuvent se déplacer. Si les vaches sont déplacées de force trop rapidement ou si elles sont entourées de trop de congénères, leur tête est maintenue en l'air et elles ne peuvent pas voir la surface sur laquelle elles se déplacent et il en résulte une augmentation des boiteries (Clackson et Ward 1991).

#### ➤ *Conduite sanitaire*

L'introduction de bovins sans mise en quarantaine peut être à l'origine de l'introduction d'agents pathogènes responsables de boiterie. Par exemple la maladie de Mortellaro est une maladie qui « s'achète ». Le contrôle à l'achat des 4 pieds devrait désormais être une habitude, quand on sait les problèmes posés par cette maladie et l'impossibilité pour le moment de s'en débarrasser une fois le troupeau atteint. Une période de quarantaine de deux semaines devrait être obligatoirement mise en place pour déceler le développement d'éventuelles lésions (Delacroix 2008).

Des mesures portant sur la conduite d'élevage peuvent être mises en place afin de prévenir l'apparition des boiteries. L'amélioration du confort et de l'hygiène du logement, la sortie en pâturage des animaux, la réalisation de parages à intervalle régulier ou la limitation de l'introduction de génisses de renouvellement peuvent diminuer les affections podales, comme par exemple la dermatite digitée. Afin d'élaborer des stratégies efficaces et rentables, il est nécessaire de mettre en place une approche globale intégrant protocoles de traitement et pratiques d'élevage (Seegers et al. 2013).

### 2-1-4 Saisonnalité

Les variations au cours de l'année sont difficiles à interpréter car certaines maladies, comme le panaris, sont indépendantes de la saison, alors que d'autres y paraissent liées (fourbure, fourchet, dermatite). En hiver les animaux sont rentrés dans les étables, la densité de bovin et la pression infectieuse sont alors à leur maximum. Quel que soit le type de bâtiment, plus la durée en stabulation hivernale est longue, plus les animaux semblent sales et boiteux (Bosquet et al 2012). L'étude de Cook (2003) réalisée dans 30 élevages de Prim Holstein dans le Wisconsin a mis en évidence que la prévalence des boiteries passe de 21,1% en été à 23,9% en hiver. Par ailleurs, une pluviométrie élevée favorisait l'apparition des boiteries (Faye et al. 1988).

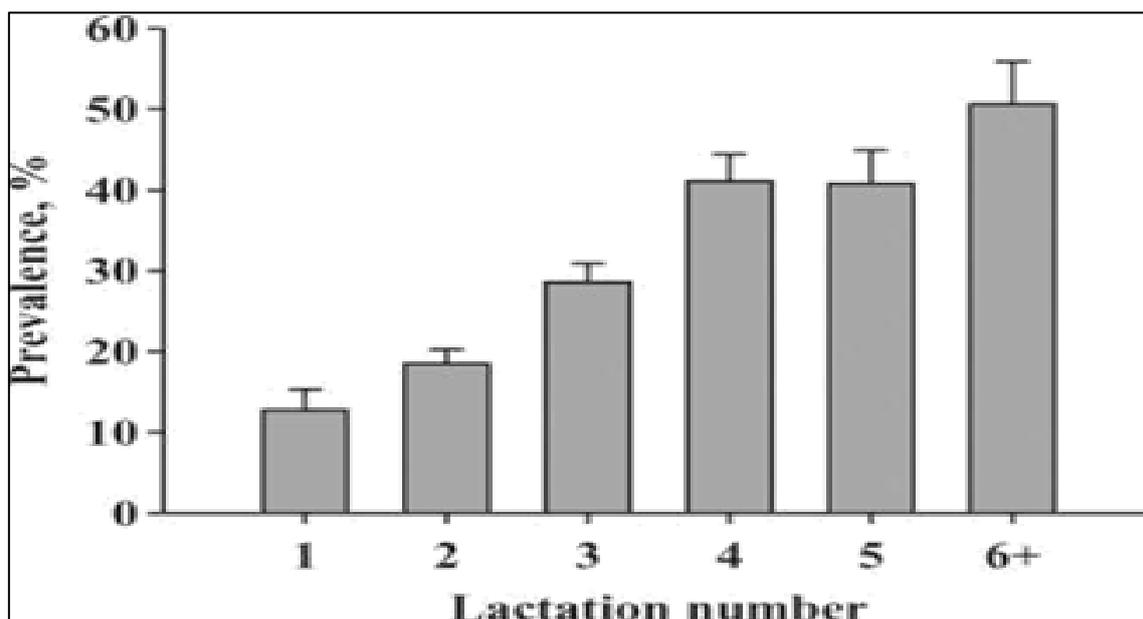
## 2-2 Facteurs intrinsèques

### 2-2-1 Production laitière

Les vaches hautes productrices sont plus sujettes au développement de boiterie. L'étude de Green et al (2002) a mis en évidence que les vaches boiteuses produisaient en moyenne 1,2kg de lait par jour de plus que les vaches non boiteuses, avant de déclarer cette affection (Green et al. 2002). L'incidence des boiteries augmente aussi avec l'accroissement du rang de lactation (Figure 14). En effet, dans l'étude d'Espejo et al (2006) ainsi que dans celle de Weber et al (2013) la plus faible prévalence de boiterie a été observée chez les vaches en première lactation (Espejo et al. 2006 ; Weber et al. 2013). La prévalence de boiterie la plus élevée a été observée chez les vaches en 6e lactation ou plus. De plus, à chaque nouvelle lactation une vache avait en moyenne 1,3 fois plus de

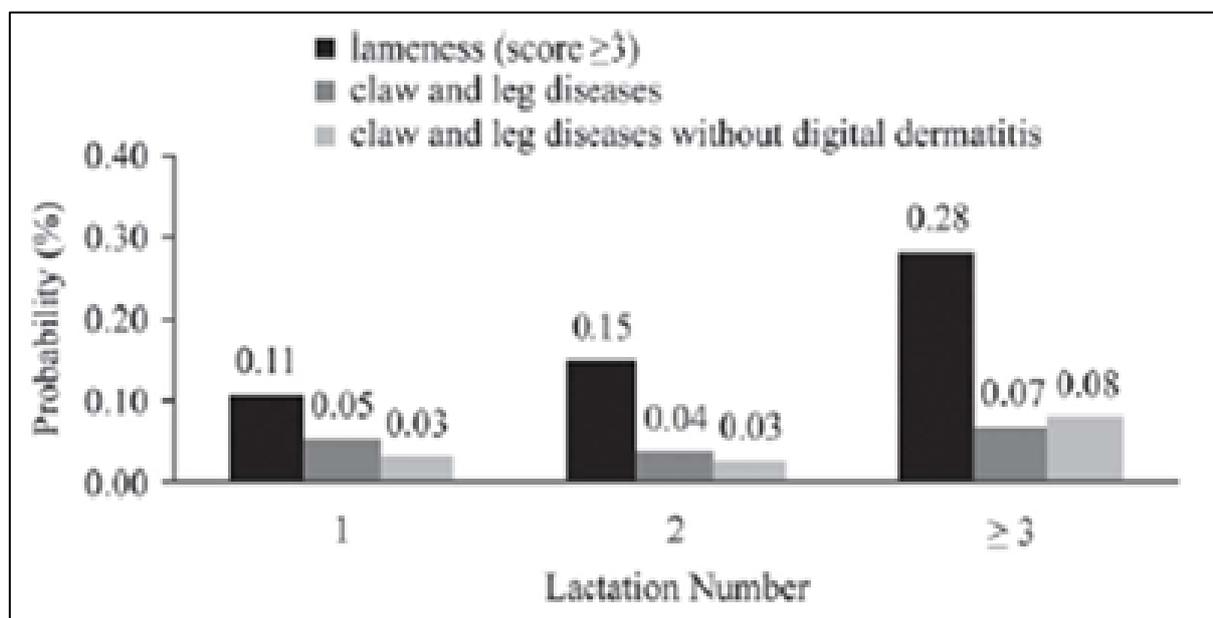
## Chapitre II Les facteurs de risque et l'importance économique des boiteries

risque de devenir boiteuse et la prévalence des boiteries a augmenté de 8% à chaque nouvelle lactation (Espejo et al. 2006).



**Figure 14 :** Représentation graphique de la prévalence des boiteries en fonction du nombre de lactation (d'après Espejo et al., 2006)

En revanche la probabilité d'apparition de lésion des pieds et des membres ne variait pas en fonction du nombre de lactation (Figure 15). De plus les vaches en deuxième lactation vont présenter des signes de boiterie plutôt en fin de lactation, alors que le pourcentage de vaches boiteuses en 3<sup>e</sup> lactation est maximal en début de lactation (Weber et al. 2013).



**Figure 15 :** Représentation de la probabilité pour une vache d'être boiteuse, d'avoir des maladies podales ou d'avoir des maladies podales excepté la dermatite digitée, en fonction du nombre de lactation (d'après Weber et al. 2013).

*En noir : La probabilité pour une vache d'être boiteuse en fonction du nombre de lactation ; En gris foncé : La probabilité pour une vache d'avoir une maladie des onglons ou du membre en fonction du nombre de lactation ; En gris clair : La probabilité pour une vache d'avoir une maladie des onglons ou du membre sans lésion de dermatite digitée en fonction du nombre de lactation*

### 2-2-2 Génétique

La race Holstein semble être la plus fréquemment atteinte par les boiteries. L'expérience et la simple observation en élevage montrent que certaines lignées de mères sont beaucoup plus systématiquement touchées par les boiteries (Delacroix 2008).

Capion et al (2008) ont mis en évidence qu'une mauvaise conformation des postérieurs ainsi qu'une asymétrie des onglons postérieurs chez les génisses, étaient associés avec les hémorragies de sole, les maladies de ligne blanche et les boiteries (Capion et al. 2008). D'après Onyiro et al (2008), la conformation des postérieurs et des pieds a une forte corrélation génétique avec la locomotion. D'après Greenough et al (2017), les lésions ont différents degrés d'héritabilité. Weber et al (2013) ont obtenu une héritabilité modérée pour la résistance aux boiteries indiquant que la sélection génétique directe pour réduire la prévalence des boiteries pourrait être moyennement fructueuse. En suède un « Bull Index » a été créé pour que les éleveurs puissent sélectionner les semences donnant une progéniture faiblement prédisposée aux boiteries (Weber et al. 2013).

### 2-2-3 Maladies du péri-partum

De nombreuses maladies du péri-partum telles que : les métrites puerpérales, les mammites graves, l'acétonémie, la rétention placentaire, l'œdème mammaire ou l'acidose subaiguë du rumen ont un rôle déclencheur de fourbure, en particulier de fourbure subaiguë, dont les signes cliniques vont se manifester 6 à 8 semaines plus tard (Delacroix 2008 ; Blowey 2005).

## 3- Importance économique des boiteries en élevage laitier

Les boiteries ont un impact économique très important. Elles se positionnent en troisième position dans les affections engendrant les plus fortes pertes économiques au sein des élevages, juste derrière l'infertilité et les mammites (Enting et al. 1997). Les pertes économiques liées aux boiteries sont attribuables au coût direct et indirect des traitements, à la diminution de la production laitière (Hernandez et al. 2002), à la diminution des performances de reproduction et à l'augmentation du nombre de vaches réformées (Melendez et al. 2003) (Figure 18). Les pertes économiques moyennes par vache boiteuse ont été estimées à 305€ (273£) au Royaume-Uni (Kossaibati et Esslemont 1997).

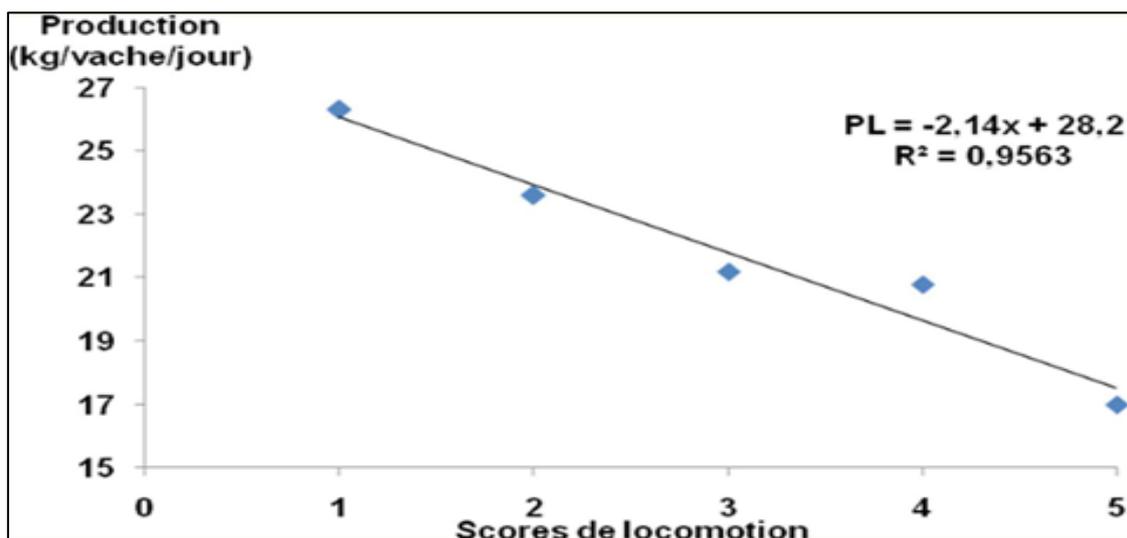
### 3-1 Influence des boiteries sur la production laitière

La production laitière est influencée par les problèmes de boiterie autant en termes de quantité qu'en termes de qualité. Les boiteries entraînent une diminution de la production laitière. Toutes les maladies podales touchant plusieurs animaux dans le troupeau (dermatite digitée, fourchet et fourbure), et parfois enzootiques (panaris), provoquent au moins un inconfort ou bien des boiteries qui génèrent une baisse de production laitière individuelle, et une diminution du volume de lait livré du fait des délais d'attente liés aux traitements. De plus, le niveau de production maximum d'une vache peut ne plus jamais être atteint si elle a souffert de panaris. Hernandez et al (2002) ont montré que les vaches atteintes de panaris produisaient en moyenne 10% de lait en moins qu'une vache saine (Hernandez et al. 2002). L'étude de Bouraoui et al (2014) a permis d'établir une relation linéaire entre la gravité des boiteries et la diminution de la production (Figure 16). L'augmentation d'une unité de score de locomotion induisait une diminution de 2,14Kg de lait/vache/jour. (Bouraoui et al. 2014).

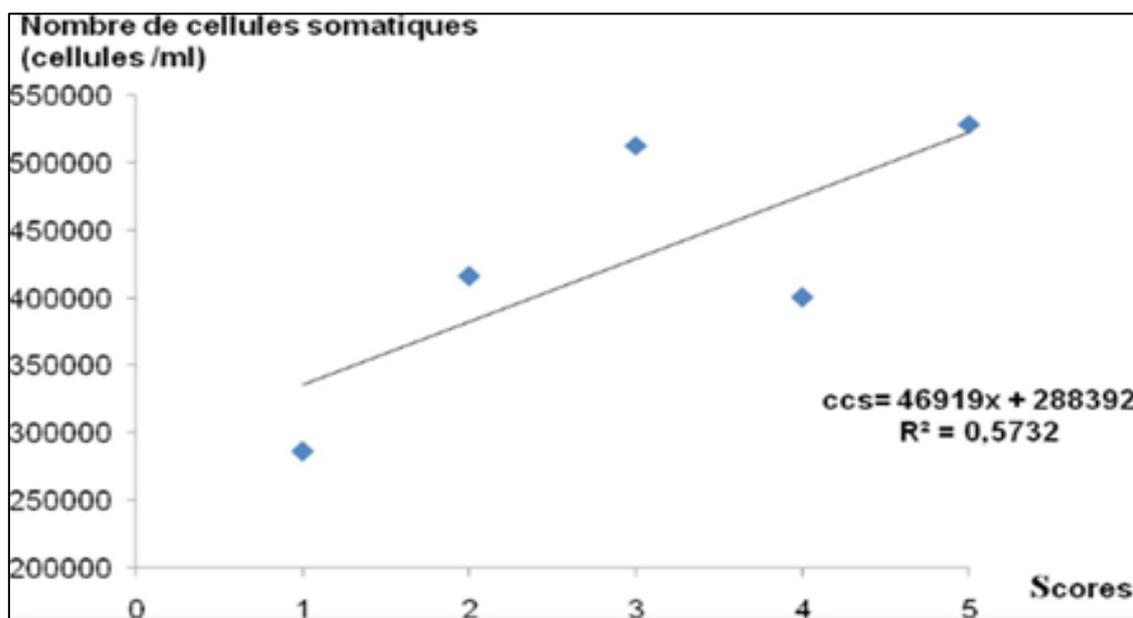
D'après Green et al. (2002), les vaches boiteuses ont une baisse de production significative dans les 4 mois avant le diagnostic de la boiterie et pendant les 5 mois suivant son traitement. Ils ont aussi identifié une perte significative de 1,7 kg de lait/jour sur le mois suivant le diagnostic de la boiterie. (Green et al. 2002). Au Royaume-Uni, on estime la perte de production laitière imputable aux boiteries à 360 Kg sur 305 jours (Green et al. 2002).

Une détérioration de la qualité du lait a été observée chez les vaches boiteuses. En effet, comme dans le cas de la production, la concentration cellulaire du lait varie linéairement en fonction du score

locomoteur (Figure 17). Ainsi des concentrations cellulaires plus élevées que chez les vaches saines ont été observées chez les vaches boiteuses. (Bouraoui et al. 2014)



**Figure 16 :** Représentation graphique de la production de lait des vaches en fonction du score de locomotion d'après (Bouraoui et al. 2014).



**Figure 17 :** Représentation graphique du nombre de cellules somatiques dans le lait en fonction du score de locomotion d'après (Bouraoui et al. 2014).

### 3-2 Influence des boiteries sur la reproduction

Le contrôle de la reproduction est un des enjeux majeurs de l'élevage laitier. L'optimisation des paramètres de reproduction est nécessaire pour améliorer les performances de l'élevage. Les boiteries sont responsables d'une altération de ces paramètres de reproduction (Tableau 1).

En effet, Les boiteries ont à la fois un impact sur :

#### ❖ *La mise à la reproduction :*

Elles empêchent les vaches d'exprimer correctement leur chaleur. De ce fait, les éleveurs ont des difficultés à identifier les vaches à inséminer (Sprecher et al., 1997). On observe alors une augmentation de l'intervalle vêlage-première insémination (IV-IA1) (Barkema et al. 1994).

## Chapitre II Les facteurs de risque et l'importance économique des boiteries

De plus, d'après Morris et al (2009), en faisant abstraction des autres affections intercurrentes, le taux d'ovulation chez les vaches boíteuses est plus faible que chez les vaches saines (respectivement 30/42 et 30/32 ;  $p < 0,05$ ) (Morris et al. 2009). Cette diminution du taux d'ovulation peut s'expliquer par une augmentation des troubles ovariens tels que : des défauts d'ovulation ou la formation de kystes ovariens (Melendez et al. 2003).

### ❖ La réussite de la fécondation :

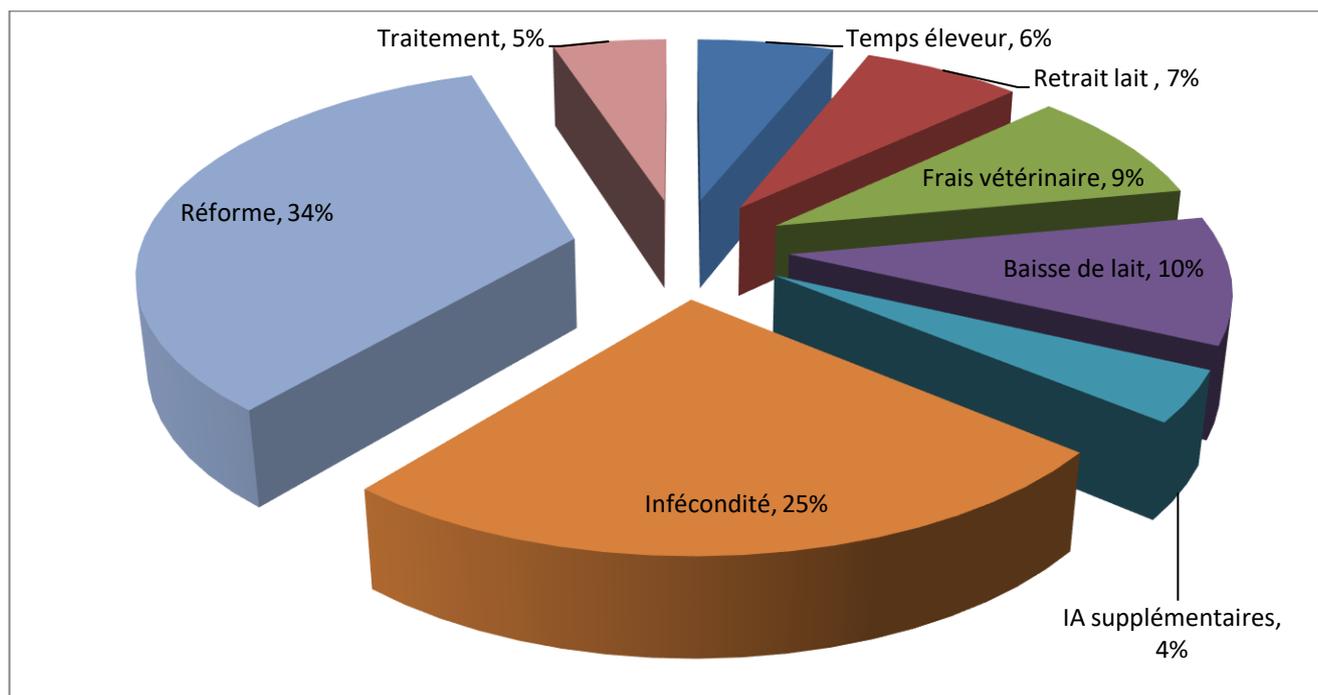
Les boiteries sont responsables d'une diminution du taux de réussite en première insémination (Melendez et al. 2003) d'une augmentation du nombre d'inséminations (Collick et al., 1989) et d'une augmentation de l'intervalle vêlage-insémination fécondante (Hernandez et al. 2001 ; Bicalho et al. 2007).

**Tableau 1.** Résumé de l'influence des boiteries sur les paramètres de reproduction

PARAMETRES	Interval velage – interval IA1	%Réussite IA1	Nombre IA	Interval velage – interval IA Fécondante
<b>Vache boíteuse</b>	+ 2,9 à 4,6 jours	-25,1%	+ 0,42	+31 à 40 jours
<b>Références</b>	(Barkema et al. 1994)	(Melendez et al. 2003)	(Collick et al., 1989)	(Hernandez et al., 2001) (Bicalho et al., 2007)

### 3-3 Les coûts liés aux traitements

D'après Kossabaiti et Esslemont (1997), les pertes économiques moyennes liées aux traitements des boiteries ne représentent que 5% des pertes économiques totales (15€/vache/an en moyenne) (Figure 18). Le prix du traitement d'un cas de boiterie variait en fonction de l'affection rencontrée. En effet, les affections digitales (abcès de ligne blanche, corps étranger dans la sole et ponction de la sole) représentant 47% des cas de boiteries de l'étude coûtaient en moyenne 14,7€. Les affections interdigitales (panaris, tyloma et dermatite interdigitale) représentant 22% des boiteries coûtaient en moyenne 12,2€ et enfin les ulcères de soles représentant 31% des cas de l'étude coûtaient en moyenne 17€ (Kossabaiti et Esslemont 1997).



**Figure 18 :** Part des différentes pertes économiques rencontrées lors de boiteries d'après (Kossabaiti and Esslemont 1997).

### 4- Importance pour le bien-être des animaux

Les boiteries ont un impact considérable sur le bien-être des bovins. Premièrement, lors de boiterie, les vaches peuvent être soumises à de sévères douleurs et à un important inconfort. Deuxièmement, une conséquence moins reconnue est la suppression de certains comportements naturels secondaires à la réduction de la mobilité (Galindo et Broom 2002).

Une méthode utile pour évaluer l'impact des boiteries sur le bien-être des bovins consiste en l'évaluation des 5 libertés (Tableau 2). Elles correspondent aux besoins fondamentaux permettant de fournir aux animaux un bien-être de base de bon niveau :

**Tableau 2.** Présentation des 5 libertés à respecter pour assurer le bien-être des animaux d'élevages et des dispositions pour y parvenir (d'après Whay and Shearer 2017)

LIBERTES	DISPOSITIONS
Ne pas souffrir de la faim ou de la soif	Alimentation en accord avec les besoins des animaux Accès facile à de l'eau fraîche
Ne pas souffrir d'inconfort	Environnement comprenant un abri et une aire de repos confortables
Ne pas souffrir de douleurs, blessures ou maladies	Diagnostic et traitement rapides des maladies et blessures
Pouvoir exprimer les comportements naturels propres à l'espèce	Espace suffisant, installations appropriées et compagnie d'animaux de la même espèce.
Ne pas éprouver de peur ou de détresse	Conditions d'élevage et traitements évitant la souffrance mentale

#### 4-1 Ne pas souffrir de la faim ou de la soif

Les boiteries entraînent un amaigrissement des vaches. La diminution de l'état corporel via une association de perte d'appétit, un manque de temps d'alimentation, une incapacité à entrer en compétition pour la nourriture et une consommation d'énergie par l'organisme pour combattre la cause de la boiterie, peut être perçu comme un indicateur de faim (Whay et Shearer 2017).

L'étude de la modification du budget temps engendré par les boiteries a permis de mettre en évidence que les vaches boiteuses présentaient une diminution de la prise de boisson (Gomez et Cook 2010).

#### 4-2 Ne pas souffrir d'inconfort

La boiterie est un signe d'inconfort. Les vaches boiteuses ont plus de difficulté à se coucher, à se lever et à se tenir debout. Il faut donc leur fournir une zone spéciale propre, sèche et tendre pour se reposer et favoriser la récupération. Un box prévu à cet effet ou le pâturage offrent une liberté de mouvement permettant l'expression des comportements naturels de lever et de coucher sur un sol confortable (Gomez et Cook 2010).

#### 4-3 Ne pas souffrir de douleurs, blessures ou maladies

Les affections responsables de boiteries sont pour les grandes majorités douloureuses. Le phénomène d'hyperalgésie est commun chez les vaches souffrant de boiterie chronique. Ceci est caractérisé par une réaction exagérée à un stimulus douloureux. Non seulement les boiteries chroniques exacerbent

la souffrance de l'animal par le phénomène d'hyperalgésie mais elles sont aussi difficiles à traiter. Whay (1998) ont reporté une persistance de l'hyperalgésie pendant 28j après que la lésion d'origine ait été traitée et que les signes comportementaux de boiterie aient disparu (Whay, 1998).

### **4-4 Pouvoir exprimer les comportements naturels propres à l'espèce**

Les boiteries entraînent une modification du budget temps de la vache. En effet, les vaches boiteuses passent plus de temps couchées que les vaches saines, elles allongent la durée de leur session de couchage et réduisent le nombre de sessions de couchage. Elles passent donc moins de temps en appui sur leurs pieds et réduisent le nombre de passages en position couchée et debout (Ito et al. 2010).

La rumination semble aussi affectée. Le taux de rumination chez les vaches boiteuses était réduit dans une étude anglaise (Miguel-Pacheco et al. 2014) mais inchangé dans d'autres (Thorup et al. 2016). Ceci indique que des recherches supplémentaires devraient être envisagées à ce sujet.

Les boiteries ont aussi une influence sur le comportement social des bovins car les vaches boiteuses sont moins susceptibles de répondre à une agression et seront plus facilement dominées donc plus facilement écartées de l'aire d'alimentation (Grant RJ, 2011 ; Galindo and Broom 2002). L'étude de Galindo et al (2002) a mis en évidence que les vaches boiteuses sont plus fréquemment léchées par leurs congénères que les vaches saines. Il a alors été suggéré que le léchage joue un rôle important dans le réconfort des membres du troupeau souffrant de douleur ou atteints d'une maladie. (Galindo and Broom 2002).

A cause d'une augmentation du temps de couchage et d'une réticence pour chevaucher les autres vaches, l'expression de certains comportements sexuels tels que les chaleurs sont diminués chez les vaches boiteuses et compromettent les capacités de détection des chaleurs par les éleveurs (Whay and Shearer 2017)

### **4-5 Ne pas éprouver de peur ou de détresse**

Le processus d'inspection et de traitement des boiteries engendre du stress et de la peur chez les animaux concernés. La simple séparation des vaches boiteuses du reste du troupeau entraîne une augmentation du taux de cortisol (Whay et Shearer 2017). Les vaches ont une bonne mémoire des mauvaises expériences. L'entrée des cages de parage leur rappelle rarement une bonne expérience. Par conséquent, les vaches hésitent à entrer dans celles-ci. Parfois ceci donne lieu à l'emploi de méthode agressive telle que des cris, des poussées, des coups de bâton afin de faire avancer l'animal.

De plus, le parage et le traitement des boiteries entraînent souvent un inconfort instantané et transitoire. Tout ceci ne fait que renforcer l'expérience négative associée à la cage de parage. Certains de ces problèmes peuvent être résolus en améliorant la conception des installations et en formant le personnel à la manipulation correcte des animaux.

Aucune des 5 libertés n'est épargnée par les boiteries. En élevage, l'homme a un contrôle complet sur les animaux. En effet, il gère la nourriture et l'eau, il contrôle les conditions de vie et il gère les « expériences » que les animaux endurent. Ce sont donc les décisions et comportements des hommes qui ont la plus grande influence sur le bien-être des vaches. De plus, les hommes ont la possibilité de réduire la douleur et les effets débilissants des boiteries par la détection précoce, un traitement rapide et un environnement confortable pendant la période de guérison.

D'après Gustav Rosemberger (1977) Les différents éléments de l'appareil locomoteur des bovins sont atteints en général *de façon indépendante*. Ils sont aussi touchés dans le cadre de certaines maladies générales, par exemple troubles du métabolisme, carences (ostéomalacie, calcinose enzootique, myodystrophie), intoxications (fluor, sélénium), infections purulentes sepliques (polyarthrite avec métastases). A l'inverse, une affection localisée aux membres, représente parfois *le point de départ de graves troubles généraux* (fièvre, pyémie) et entraîne la dissémination de germes pyogènes à d'autres organes (endocardite valvulaire, abcès hépatique, pulmonaire ou rénal). Pour toutes ces raisons, il importe *de reconnaître à temps* les affections de l'appareil locomoteur.

On obtient souvent des indications intéressantes dès l'anamnèse en particulier pour les troubles locomoteurs apparaissant sur tout le cheptel : siège supposé de la maladie, nombre de cas observés annuellement, pertes subies (production, abattages d'urgence, mortalité) ; groupes d'âge et de production atteints de préférence (gestation, lactation ou engraissement) ; syndrome concernant la totalité ou une partie de l'étable, type de stabulation actuelle et antérieure y compris les éventuelles transformations ; nature et quantité de litière ; technique et fréquence de l'évacuation du fumier et des urines ; état des allées et des couloirs de dégagement, de sortie ou île la prairie ; qualité et périodicité des soins aux onglons ; alimentation précédente et actuelle ; précisions sur tous les faits annexes observés, en particulier ceux en rapport chronologique avec l'apparition de la maladie (influences météorologiques, changements de personnel, transports ou achats d'animaux) ; mesures prises pour le traitement et/ou la prévention.

Les symptômes décrits ci-dessous, observés à *l'examen général*, et surtout au moment de la vérification de l'attitude et du comportement de l'animal doivent suggérer au vétérinaire d'examiner plus à fond l'appareil locomoteur : raideur, faiblesse, boïterie ou paralysie, port anormal, position et soulagement d'un ou de plusieurs membres (piétinement) ; zone d'appui, augmentation de volume ou perte de substance du tégument au niveau des extrémités, etc... En outre l'examen général apporte au vétérinaire des informations concernant *l'état de l'animal et celui des organes autres que ceux de l'appareil locomoteur*, éléments importants pour le pronostic de l'affection.

Il faut utiliser toutes les techniques d'examen nécessaires pour permettre un diagnostic (en appliquant des méthodes de contention appropriées, mécaniques ou médicamenteuses, observation de l'attitude et du comportement du ou des patients couchés, relevés, debouts, en marche (évolution du mouvement) ; palpation, percussion, mouvements passifs (éventuellement auscultation, sondage ou ponction) de la partie corporelle atteinte ou soupçonnée d'être atteinte ; mensurations comparatives des longueurs et des épaisseurs ; vérification de la sensibilité cutanée, anesthésie diagnostique ; radiographie, stimulation électrique, électro-myographie, électro-neurographie ; diagnostic thérapeutique médical ou chirurgical. S'il n'est pas possible d'établir un diagnostic à l'aide de ces méthodes, il est indiqué surtout pour une maladie affectant l'ensemble d'un cheptel de procéder également à des examens de laboratoire à partir d'échantillons de sang (hémogrammes rouge et blanc, taux des éléments minéraux et des oligo-éléments du sérum, des enzymes sériques), d'urines (myoglobine, corps cétoniques, de jus de rumen (acide lactique), de fourrages (teneur en substances minérales, vitamines et oligo-éléments) ou de tissus (muscle, os). En revanche, si les lésions observées indiquent une origine traumatique liée aux conditions d'élevages (certaines maladies des onglons, plaies de décubitus ou zones de pression), il faut vérifier la stabulation.

En présence *d'un problème de troupeau*, le praticien doit d'abord se faire une idée de l'état du cheptel en effectuant une visite de contrôle de l'ensemble de l'exploitation avant d'entreprendre l'examen minutieux d'un animal. A cette occasion, examiner les points suivants et rechercher toutes les *anomalies* susceptibles de provoquer des affections des membres ou des onglons : type de stabulation, épaisseur de la litière et propreté de l'étable, état des chemins et des prairies ; zone préférée de stationnement de l'animal et nature de sa surface, nature du sol de la stalle ; comportement du malade au coucher et au lever ; état de nutrition et d'entretien des animaux sains et des animaux malades ; emplacement réservé aux soins des onglons.

Toujours dans le cas d'une maladie de groupe, il est très important, en dehors du diagnostic, de déterminer les causes souvent complexes de cette maladie, pour en réaliser la prévention. Dans ce but, examiner minutieusement plusieurs animaux malades présentant les mêmes symptômes. Ainsi la fréquente apparition d'un *phénomène de nécrose entre les onglons* (dermite intra-digitée) indique la multiplication des agents pathogènes de la nécrose dans l'étable (litière putréfiée) ou dans la terre de l'enclos (terre imbibée et ramollie autour de l'abreuvoir) ; par contre, de nombreux cas d'ulcères de la sole (ulcère de Rusterholz) et de fourmillière signifient l'existence d'une charge mécanique anormale due à un manque de soins des onglons et/ou à un défaut de certaines zones de la stalle. Les anomalies alimentaires peuvent se traduire par l'apparition répétée cas de fourbure ou de myodystrophie enzootique (quantité excessive de glucides facilement fermentescibles dans la ration, approvisionnement en vitamines E ou en sélénium insuffisant) l'alimentation des cheptels atteints d'ostéomalacie est la plupart du temps déficiente en phosphore. Il est souvent difficile d'élucider les causes d'une affection de l'appareil locomoteur (par exemple une affection des onglons frappant l'ensemble du cheptel) car ce type de pathologie va souvent de pair avec d'autres troubles sanitaires (en particulier l'acétose). Parfois, le propriétaire de ruminant met en avant les symptômes locomoteurs alors que ceux-ci ne sont que secondaires de telle sorte qu'après un examen minutieux ils sont remis dans leur contexte. La plupart du temps il faut procéder à un examen systématique du fonctionnement du troupeau pour appréhender tous les facteurs participant à la pathogénie de la maladie si sa fréquence d'apparition est élevée. On accordera une importance particulière à l'examen des conditions de stabulation.

### **1- Etude critique des conditions de logement (Gustav Rosemberger (1977))**

La rationalisation de l'élevage a conduit à l'apparition de *formes nouvelles de stabulation et de systèmes d'alimentation.* Aussi le vétérinaire praticien est-il souvent confronté à des affections des onglons et/ou des membres apparaissant fréquemment sur l'ensemble du troupeau. Afin de reconnaître ces maladies, en relation avec le mode de stabulation et de pouvoir donner des conseils permettant leur prévention, il importe de vérifier les conditions de logement des animaux dans le cadre de l'examen global du cheptel. Ne pas oublier non plus que les exigences se rapportant au logement des bovins d'élevage, laitiers ou à l'engrais, ne constituent pas seulement un impératif économique mais sont encore une nécessité justifiée par la législation sur la protection animale.

L'observation de ces exigences n'est pas une garantie suffisante du bon fonctionnement de l'appareil locomoteur, celui-ci dépend également d'autres facteurs (soins aux onglons, alimentation etc...). Par ailleurs, la restructuration de l'élevage apportera certainement de nouvelles données sur les conditions de stabulation rationnelle les mieux adaptées aux ruminants.

*Les erreurs* ci-après sont particulièrement nocives pour l'appareil locomoteur des bovins, s'ils sont maintenus longtemps dans de telles conditions :

- *Etable à veaux* : boîtes trop étroites ; fixation trop courte ; en stabulation sur caillebotis, espaces trop larges entre les lattes, lattes en bois devenues trop lisses par usure ou souillure par les excréments.
- *Stabulation libre* : mangeoires et stalles trop étroites (— luttes sociales) ; possibilités d'excès de mouvements ( — les animaux se poussent, se chevauchent) ; poutres du caillebotis inégales, avec angle tranchant, fendu ou brisé, surface au sol trop étroite ou trop lisse ou intervalles du caillebotis trop larges (— blessures des onglons et/ou des membres) ; boîtes trop petites pour un décubitus normal ou avec séparations latérales inutiles ou espace libre sous la séparation latérale inférieur à 30 cm de hauteur (contusions et blessures provoquées par l'animal voisin) ; loquette sans rebord d'appui pour l'épaule (— relevé difficile rappelant celui du cheval) ; aire de repos inégale, dure (•lésions par pression en région dorsale du carpe sur la surface latérale des tarses cl des grassetts) ; couloir de défécation inégal (— accumulation des urines, lésions des onglons dues à l'humidité ; espaces trop larges entre les éléments d'un système d'enlèvement du fumier en accordéon ( — blessures des onglons) ;

manque de paille dans une étable à litière profonde, pollution du sol au niveau de la mangeoire ou de l'abreuvoir ( — multiplication du bacille de la nécrose).

- *Stabulation entravée* : surface de la stalle trop courte ( — recul plus fréquent des membres postérieurs vers les parties latérales, la rigole ou la grille d'évacuation du lisier ; usure inégale et lésions par pressions de la corne de la sole, ramollissement et macération des onglons) ; mauvaise fixation, mangeoire trop basse et/ou litière insuffisante ( — tuméfactions, excroissances de décubitus, au niveau du carpe ; chez les bovins à l'engrais, à croissance rapide, déformations des membres antérieurs et myasthénie des muscles extenseurs de l'articulation carpienne : illustration 313) ; bords de la mangeoire tranchants, présence d'une conduite entre la mangeoire et l'animal ( — excroissances carpiennes) ; aire de repos dure et inégale ( — lésions de décubitus) ; trop forte pente du sol de la stalle ( — hyperextension des tendons des doigts au niveau des membres antérieurs) ; bord postérieur de la stalle trop dur et tranchant, zone de passage irrégulière de la stalle à la grille du lisier, grille à barreaux rugueux, tranchants, trop espacés ( — surmenage mécanique des onglons, lésions par pressions latérales au niveau du jarret).

## 2- Attitude et comportement de l'animal au repos et en mouvement Gustav Rosemberger (1977)

Inspection de l'animal couché : En présence d'un sujet boiteux ou paralysé examiné en position couchée, on peut déjà reconnaître par une observation minutieuse certaines anomalies de l'appareil locomoteur. Dans ce but, on examinera le port de la tête et de l'encolure, la position et l'angulation des articulations des membres et de la queue ; noter également les augmentations de volume, les blessures, les mouvements inhabituels et l'aspect des onglons. Normalement, le bovin est couché, en position sterno-abdominale les membres antérieurs repliés, à droite et à gauche de la cage thoracique, les membres postérieurs légèrement repliés, placés tous les deux du même côté du corps.

Les animaux sains sont parfois couchés à plat sur le côté avec les extrémités des membres postérieurs et antérieurs complètement étendus ; plus fréquemment cette "position sur le côté" est l'expression d'une affection douloureuse des membres ou d'une maladie générale. Une position "en grenouille" avec extrémités postérieures tendues unilatéralement ou bilatéralement indique une déchirure des muscles adducteurs ou une luxation de l'articulation de la hanche, le maintien d'un membre postérieur replié, indique une paralysie du nerf obturateur. Les animaux atteints d'une inflammation (myosite) ou d'une dégénérescence (myodystrophie) des extenseurs de l'articulation carpienne, ne ramènent pas la plupart du temps leurs membres en position latérale sous la poitrine, mais les étendent vers l'avant. Le retrait brutal et caractéristique d'un ou de plusieurs membres vers le tronc, est le signe d'une affection très douloureuse des onglons (par exemple fourbure ou fracture). Une déviation anormale de l'encolure vers le côté (torticolis) permet de conclure à l'existence d'une maladie des vertèbres cervicales, des muscles, des tendons ou des nerfs de cette région. Toute déviation de l'axe normal d'un membre est une indication de fracture ou de déchirure des ligaments articulaires (luxation) dans la région concernée. Pour les onglons, il faut fixer son attention sur la forme et l'état d'entretien du sabot, sur les éventuelles augmentations de volume, sur les limites entre la paroi, la sole et la peau de l'espace interdigité.

*Inspection de l'animal au relever* : après l'examen de l'animal couché, on l'oblige à se relever. Normalement, un bovin se relève rapidement en commençant d'abord par son train arrière puis - en repliant la tête et l'encolure pour se donner de l'élan - la partie antérieure du corps se redresse. Le relever à la manière d'un cheval (membres antérieurs d'abord), peut découler d'une fixation inadaptée (crèche à bords élevés, manque de liberté de mouvements vers l'avant), d'un excès de poids corporel (taureau à l'engraissement ou d'élevage lourd) ou d'un trouble moteur des membres postérieurs. Un long "agenouillement" sur les surfaces articulaires antérieures du carpe est un symptôme qui s'observe lors d'affections douloureuses du squelette (ostéomalacie, fluorose, calcinose), des onglons des membres antérieurs (fourbure, fracture, abcès) ou des tendons articulaires (tendinite de

surcharge). Des anomalies du relever de l'arrière-train ("position en chien assis", chancellement, flexion du jarret ou du paturon, position jambes écartées, effondrement) peuvent être la conséquence d'une paralysie d'origine nerveuse, d'une déchirure musculaire, d'une fracture du bassin ou d'une lésion à la colonne vertébrale.

*Inspection de l'animal en position debout* : L'animal debout, examiner la position des membres les uns par rapport aux autres et leur maintien par rapport au tronc ; surveiller également les mouvements spontanés. Les extrémités peuvent être dirigées vers l'intérieur (= adduction ou réduction du polygone de sustentation), ou vers l'extérieur (= abduction ou élargissement du polygone de sustentation), vers l'avant ou vers l'arrière. Pour les membres antérieurs, on distingue en outre une position en " X " et en " O ", des membres déformés vers l'avant et écartés pour les membres postérieurs, une position dite de la "vache de Hesse", les jambes arquées, comme un tonneau ou comme les pieds d'une chaise (= raide ou spastique).

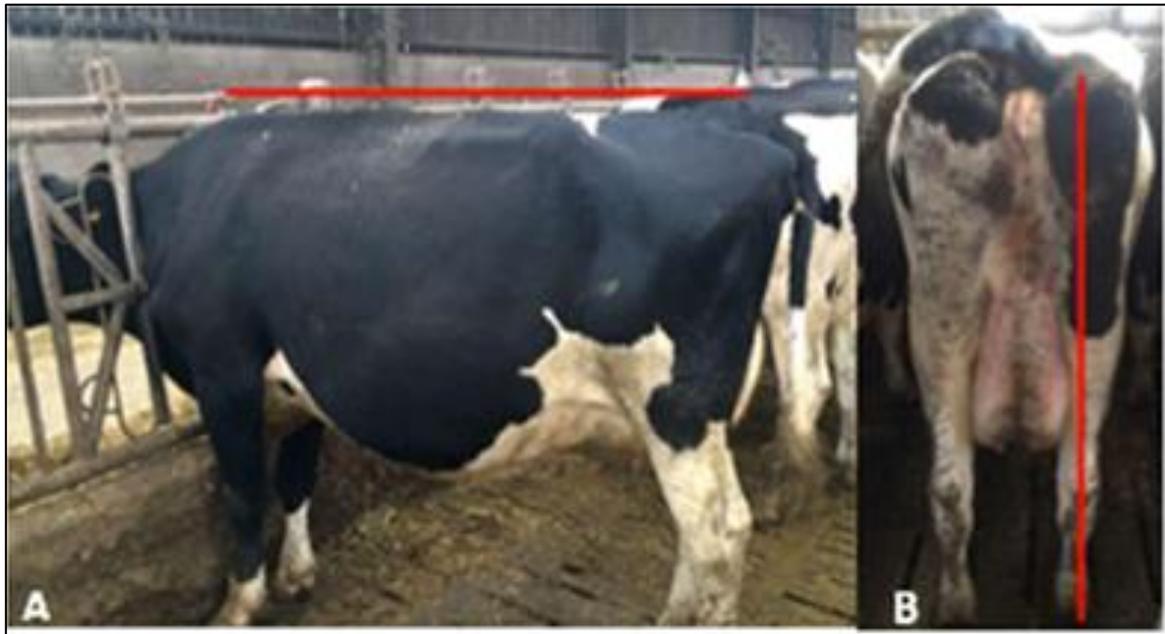
Les déviations de l'axe du membre -décelables latéralement, sont décrites sous le nom de "bouletures" ; les anomalies observables de face correspondent à une "position étroite ou large du pied" (animal cagneux ou panard), un animal "sous lui" du devant ou du derrière a une douleur au niveau de la région antérieure des onglons (fourbure, abcès de la pointe des onglons, exongulation chronique), dans la position inverse il s'agit de lésions douloureuses des talons ou de la sole. Lors de tétanos et de contractures (mais aussi dans les processus douloureux de l'abdomen), le malade adopte une position "en tréteau" ; le croisement des membres antérieurs est un symptôme typique de la fracture des doigts au niveau de l'onglon interne. On reconnaît une augmentation de volume, une atrophie musculaire ou une blessure d'un membre par un examen minutieux (perte de symétrie à l'endroit intéressé). Un bovin atteint d'une affection de l'appareil locomoteur soulève souvent ses membres alternativement (soulagement de l'extrémité touchée), effectue des mouvements constants de flexion, chancelle ou chute. L'appui alternatif des membres postérieurs destiné à soulager l'un deux, représente l'expression d'une inflammation bilatérale du tissu kératogène ou d'une maladie du squelette (ostéomalacie, fluorose, calcinose). Enfin, il faut également prêter attention au port de la tête, de l'encolure et de la queue. L'animal ne doit les tenir ni constamment baissés et raides (emprostotonos = indication d'une affection dans la région de l'encolure), ni fortement tendus et rejetés vers l'arrière (opisthotonos = indication d'une augmentation de la pression du liquide céphalo-rachidien). En temps normal, le bovin soulève la queue en déféquant ou en urinant (voir page puis la laisse pendre avec un certain tonus (= "queue de mouton"). Un relâchement de la queue peut être un des éléments du tableau symptomatique de la paralysie de "la queue de cheval" (neuritis caudae equinae) qui s'accompagne d'un affaissement bilatéral du jarret et du paturon (paralysie du nerf tibial ou parésie de l'arrière main d'origine centrale). On trouvera d'autres déviations pathognomoniques de la position et du maintien des diverses parties du corps décrites dans l'ouvrage consacré aux maladies des bovins, des mêmes auteurs.

### **3- La démarche et les postures normales des vaches**

De toutes les allures la marche est la plus lente. C'est une allure en quatre temps sans phase de suspension (la phase durant laquelle l'animal avance sans qu'aucun membre ne touche le sol), comportant une alternance de phase de support sur deux ou trois membres. La succession usuelle des pas durant la marche est : PG-AG-PD-AD (où P, A, G, D sont respectivement postérieur, antérieur, droit et gauche). Ceux-ci se succèdent dans un rythme régulier et avec le même espacement entre eux. Par convention on débute toujours le cycle de la marche par le postérieur gauche (Van Nuffel et al. 2015).

Les enjambées d'une vache saine sont longues et les empreintes de ses postérieurs se placent dans celles des antérieurs ipsi-latéraux (Sprecher et al. 1997). Les mouvements du corps tels que les mouvements de la tête, de la colonne vertébrale et des articulations sont aussi des caractéristiques à prendre en compte lorsqu'on évalue la locomotion des vaches. Une vache saine se déplace avec un dos droit et la tête haute. Une vache saine se tenant debout à l'arrêt positionne ses postérieurs à la

verticale des tubérosités ischiatiques avec un angle inférieur à  $17^\circ$  (Bulgarelli-Jiménez et al. 1996), présente une ligne du dos rectiligne (Sprecher et al. 1997), répartit le poids sur les deux postérieurs de manière égale (Leach et al. 2009) et présente un écartement « normal » des postérieurs (écartement équivalent à la largeur du bassin) (Figure 19) (Toussaint-Raven 1985).



**Figure 19** : A. illustration du dos plat observé chez une vache saine ; B. Illustration du positionnement des postérieurs chez une vache saine

#### **4- Les facteurs modifiant la démarche et la posture normale des vaches**

Des facteurs environnementaux ou liés aux vaches elles-mêmes peuvent modifier la locomotion sans pour autant que celles-ci ne présentent d'atteinte de l'appareil locomoteur. Un sol humide ou glissant, un environnement sombre, une session de parage préventif, l'âge, la dimension de la vache ou encore les stades de lactation et de gestation sont autant de facteurs qui peuvent entraîner une modification « normale » de la démarche de la vache (Maertens et al. 2011). Une vache qui mange lorsqu'elle est positionnée au cornadis peut avoir un dos arqué sans présenter de lésion des pieds. Des cornadis inadaptés à la taille des bovins peuvent aussi modifier la posture de ceux-ci. Des « jarrets serrés » d'origine génétique peuvent imiter la modification des aplombs observée lors de boiterie (Schlageter-Tello et al. 2014).

Il n'y a pas de protocole standard pour évaluer la locomotion des bovins. Cependant plusieurs études convergent vers le fait qu'il est important d'évaluer la locomotion des vaches dans les meilleures conditions possibles : en ligne droite, sur un sol non glissant, non vulnérant et avec une luminosité suffisante et continue (Schlageter-Tello et al. 2014).

#### **5- Observation directe des lésions**

Avant l'examen, les onglons sales devront être *grattés* (avec le dos d'une rénette), il est même préférable *de les nettoyer à fond avec de l'eau et une brosse* pour dénuder les lésions cachées sous les croûtes d'excréments, de terre ou d'exsudats ; en outre, ce nettoyage est une opération préliminaire importante devant précéder toute intervention.

Pour l'inspection des sabots, commencer par examiner leur forme (régulière), leur taille (rapport avec le poids de l'animal). La paroi antérieure et les parois latérales doivent se développer de façon rectiligne de la couronne jusqu'au bord d'appui. L'angle entre la paroi antérieure et la surface de la sole est au moins de  $50^\circ$  environ ( $45^\circ$  à  $55^\circ$ ) ; le rapport entre la longueur de la paroi antérieure et la sole de deux à un environ. Les onglons des membres postérieurs sont souvent un peu plus longs et

plus pointus que les onglons antérieurs ; les onglons externes des membres postérieurs sont eux aussi souvent un peu plus larges que les onglons internes. La corne des onglons sains est ferme, offre une surface unie, lisse ; elle présente habituellement plusieurs sillons réguliers correspondant aux "anneaux de nutrition" équidistants (= parallèles au bord de la couronne) et disposés en cercles concentriques sur le pourtour du sabot.

La croissance de la corne des onglons est de l'ordre de 6 à 7 mm par mois en moyenne (3 et 9 mm pour les extrêmes). Elle est influencée par divers facteurs : nutrition, habitat, hygiène du pied. La peau de la couronne, et de l'espace interdigité doit être intacte, sèche, ferme, adhérente au sabot, en zone para-axiale et abaxiale. L'axe du pied, ligne virtuelle traversant le milieu des trois phalanges est à l'état normal parfaitement rectiligne vu de face.

*Les modifications de forme du sabot* liées à une négligence dans l'hygiène du pied (usure lente ou inégale de la corne, troubles de la nutrition ou anomalies de position), sont décelables sur l'animal debout, après avoir soulevé le membre. Selon le cas, on parle d'onglon de stabulation, d'onglon en pantoufle, en ciseaux, d'onglon de bois, etc.... L'anomalie peut intéresser un seul onglon, les deux onglons d'un membre, les onglons internes ou externes ou encore les 8 onglons en même temps. Dans les deux dernières éventualités, les lésions peuvent résulter d'une maladie générale (acidose lactique du rumen, fièvre aphteuse) ou d'une prédisposition héréditaire. Ainsi on connaît une forme acquise et une forme héréditaire d'une déformation souvent bilatérale appelée "onglons en tire-bouchon" qui intéresse régulièrement les onglons externes des deux postérieurs dans le second cas. Les augmentations de volume nettes des talons observées sur l'animal debout, peuvent être la seule indication de l'existence d'un processus inflammatoire chronique (ulcère de la sole ou de Rusterholz).

Le clinicien devra fixer son attention sur *les ruptures ou les pertes de substance de l'étui corné* : fentes, failles ou crevasses se développant verticalement près de la couronne ou du sol, fentes circulaires, cassures de la corne en région abaxiale ou de la pointe de l'onglon parallèles à la couronne. La présence d'anneaux circulaires divergents, profonds, évoluant, contrairement aux "anneaux de nutrition" vers le bord d'appui, ou de véritables fentes de la paroi cornée abaxiale, font conclure - dans la mesure où on les retrouve simultanément sur plusieurs ou l'ensemble des onglons - à une inflammation du podophylle achevée ou récidivante, diffuse et non purulente (= fourbure faisant suite par exemple à une indigestion grave, à une fièvre aphteuse guérie ou à un processus allergique).

En revanche, si l'on constate les mêmes modifications uniquement sur un onglon, on peut supposer que la maladie résulte d'un processus inflammatoire limité localement (phlegmon de la couronne). La corne de la sole doit parfois être examinée pour rechercher la présence d'un ramollissement excessif ou de crevasses (macération), d'un ulcère de la sole (la plupart du temps dans la région proche de l'axe des onglons externes des membres postérieurs ou à la limite entre le talon et la sole = ulcère en talon de Rusterholz), d'une fissure entre le talon et la paroi, de la formation d'un double talon ou d'une coloration de la corne de cette région. On n'observe cependant ces changements qu'après avoir enlevé les couches superficielles de la corne.

D'autres lésions sont facilement observées à l'inspection de la couronne et de la sole : rougeurs et tuméfactions inflammatoires, poils collés ou recouverts de croûtes, déchirures de la peau, exsudats purulents, fistules. Il convient d'examiner attentivement toute modification de volume afin de savoir si elle englobe uniformément la couronne (phlegmon du bord de la couronne, "panaris") ou bien si elle est limitée à la synoviale de l'articulation 2-3 phalangienne.

La peau de l'espace interdigité est assez souvent le siège de modifications pathologiques; nécrose superficielle ou profonde (= nécrose interdigitée), formation hyperplasique (= limace). Ces dernières, lorsqu'elles sont unilatérales ont' habituellement un rapport avec une inflammation chronique du derme de l'onglon, lorsqu'elles sont bilatérales sur les deux antérieurs ou les deux postérieurs, elles sont préparées par une prédisposition héréditaire, des erreurs alimentaires ou une prise de poids excessive.

Des onglons particulièrement écartés correspondent à un défaut acquis ou héréditaire.

Au cours de *la palpation manuelle* qui fait suite à l'inspection, et après avoir soulevé le membre correspondant le vétérinaire saisit, avec la main, la couronne et la paroi abaxiale des deux onglons, afin de comparer leur température. Puis il examine le bord de la couronne, les soles et les talons des onglons internes et externes en pressant vigoureusement avec le pouce pour apprécier leur consistance et leur sensibilité. Cette palpation-pression fournit souvent des informations sur l'identité de l'onglon malade.

Ensuite, l'un des onglons maintenus normalement, l'autre est *replié, étiré et mobilisé* au maximum autour de son axe longitudinal ; on note alors les réactions de l'animal (tressaillement, rétraction des membres, défense). Si tous les mouvements passifs cités précédemment se révèlent fortement douloureux, l'existence d'une maladie primaire ou secondaire de l'articulation 2-2 phalangienne est à envisager. Une défense plus violente lors du test de flexion et d'extension que lors de la rotation, indique l'existence d'une fracture de la 3<sup>e</sup> phalange. La prépondérance de la douleur à l'épreuve de la torsion est le signe d'une entorse.

En présence d'une boiterie d'appui d'un membre antérieur mal localisée, la participation des onglons ne pourra être appréciée en certaines circonstances, *qu'en comparant les pulsations des artères médianes* ; l'observation d'une augmentation de la force du pouls requiert néanmoins une certaine expérience.

L'examen de l'étui corné par pression, à l'aide d'une pince, est à entreprendre chaque fois qu'il n'existe pas de modifications morphologiques du sabot.

On utilise une pince à sabot traditionnelle ou la pince combinée de Knezevic qui, en dehors de l'examen du sabot du cheval, permet également celui des onglons chez les bovins. Tout d'abord on place une branche de la pince sur la sole et l'autre sur la paroi abaxiale de l'étui corné et on sonde systématiquement le sabot, de la pointe jusqu'au talon en serrant moyennement ; ensuite, on comprime latéralement la paroi paraaxiale et abaxiale avec la pince placée distalement à plusieurs endroits. Une corne molle ou mince au niveau de la sole ou de la paroi, entraîne des réactions de défense.

Il faut toujours entreprendre cette pression sur les deux onglons pour pouvoir conclure avec certitude à l'existence d'une sensibilité supérieure de l'un d'eux, en comparant les réactions observées. Dans d'autres cas, malgré la vigoureuse compression exercée sur la pince, on a la sensation (fausse) qu'il n'existe pas de douleur, surtout au niveau des onglons antérieurs, à cause de l'épaisseur particulière et de la dureté de l'étui corné. On recommande alors, de maintenir l'extrémité du membre pendant 24 heures dans un bandage arrosé plusieurs fois, et d'enlever une partie de la corne du talon jusqu'à ce qu'elle atteigne une épaisseur normale puis de répéter le test.

La recherche avec la pince, de la sensibilité à la palpation et à la pression devrait toujours être complétée par la *percussion* comparée de la paroi et du talon de l'onglon malade et de son voisin. Pour cela, on utilise un marteau à onglons, un marteau à percussion (retourné) ou la pince à examen appliquée dorsalement.

Relever non seulement la sensibilité aux coups, mais également les variations du son traduisant l'existence d'espaces creux au niveau de la corne (double talon, paroi creuse).

Les résultats obtenus à l'aide de la palpation, et de la pression à la pince apportent en général des informations claires permettant de localiser le processus douloureux à l'ensemble du sabot (pododermatite diffuse) ou à des régions bien définies (pododermatite circonscrite). Une forte sensibilité, de la pointe de l'onglon, provient souvent d'une inflammation purulente localisée à la sole, à la paroi ; la fracture de la 3<sup>e</sup> phalange se caractérise habituellement par une zone douloureuse dans le tiers postérieur de la sole ou au niveau de la paroi.

L'amincissement de la corne apporte une aide importante à l'appréciation du siège et du type des lésions. Cette opération est souvent indispensable si les onglons sont trop longs et non régulièrement parés. On utilise une reinette à onglons ou une meule pour enlever la corne soit uniquement dans la région sensible, soit sur toute la surface de la sole que l'on amincit. Le parage de la sole doit être poursuivi dans les endroits suspects jusqu'à la rosée sanguine et l'on constate parfois la sortie de pus (abcès du pododerme) ou l'ouverture d'un espace creux rempli de sang coagulé. Cette intervention représente alors le début de l'intervention curative.

L'observation de déchirures de l'étui corné au bord de la couronne, nécessite après nettoyage et désinfection soigneuse de leur entourage une exploration à l'aide d'une sonde stérile en métal ou en matière plastique pour préciser leur importance et la participation éventuelle des tissus placés plus profondément. Il faut de très bonnes connaissances anatomiques, un excellent doigté et beaucoup d'expérience pour apprécier au cours du sondage la nature des structures (os, articulation, tendon, / gaine tendineuse, bourse synoviale) touchées par le processus pathologique. Afin d'éviter toute incertitude topographique, on pourra présenter la sonde dans la même direction et à la même profondeur sur un pied témoin (conservé dans du formol et scié dans le sens longitudinal) pour se faire une représentation dans l'espace de l'étendue de la zone malade.

Dans le cas où les méthodes décrites ci-dessus n'ont pas permis de préciser la localisation de l'affection, on peut essayer de caractériser l'onglon malade (douloureux), en réalisant un appui successif des deux sabots du membre atteint sur un bloc de bois ou en fixant ce bloc aux onglons : la boiterie s'aggrave quand le bloc de bois est placé en dessous de l'onglon malade et disparaît lorsqu'on soulève l'onglon sain, l'onglon malade n'étant plus à l'appui. La mise en place d'une cothurne correspondant à la surface de la sole à l'aide d'une résine synthétique polymérisée à le même effet.

Une autre possibilité de diagnostic différentiel, consiste à mettre en place pendant plusieurs jours une compresse de Priessnitz : pansement bien rembourré, étanche grâce à une feuille de matière plastique ou de caoutchouc, arrosé 2 à 3 fois par jour avec de l'alcool à 40 ou 50 °C (alcool à brûler dilué).

L'anesthésie de conduction des nerfs du pied apporte des informations sûres pour une boiterie d'appui. On intervient successivement sur les branches dorsales et plantaires de l'onglon externe, puis de l'onglon interne (à 2 à 3 largeurs de doigt au-dessus de l'articulation du paturon, latéralement et médialement au tendon extenseur-rétracteur), en utilisant chaque fois 10 à 15 ml d'un anesthésique local usuel (Tableau 2). On peut également supprimer la sensibilité des deux onglons en même temps grâce à l'anesthésie intraveineuse régionale de l'extrémité du membre doté d'un garrot élastique (bande d'Esmarch). Si la boiterie disparaît après ces épreuves, il faut chercher son siège dans les régions anesthésiées ou proximales. Dans les cliniques vétérinaires bien équipées l'examen radiologique des onglons (latéro-médian et dorso-palmaire ou dorso-plantaire) est intéressant pour préciser les affections de l'onglon, de l'avant dernière phalange, du sésamoïde ou de l'articulation de l'onglon.

Pour compléter les résultats obtenus, les recherches suivantes sont surtout indiquées dans le cadre d'une pathologie collective ou d'une expérimentation scientifique : mesure de la surface de contact et de la charge supportée par les onglons (d'après Fessler, 1973), de l'angle entre les parois antérieure, latérale et interne du sabot et la sole, de la dureté de la corne (au moyen du test de rebondissement), de sa teneur en eau (calculée par pesée après déshydratation ou après une mesure de la conductivité), de sa composition chimique (en particulier teneur en acides aminés soufrés et en lysine), de sa résistance au frottement (au moyen d'un disque polisseur), enfin évaluation de sa structure tissulaire fine (comptage des tubes cornés par mm<sup>2</sup>, mesure de leur diamètre, de l'épaisseur de leur zone externe, de leur membrane médullaire et de la couche cornée située entre eux).

La grande majorité des boiteries a pour origine une affection podale (95%). De plus 90% des affections podales concernent les postérieurs et plus particulièrement les onglons externes des postérieurs (Figure 20). L'observation directe des lésions podales est donc indispensable pour déterminer les causes de boiterie dans un élevage (Delacroix 2008).

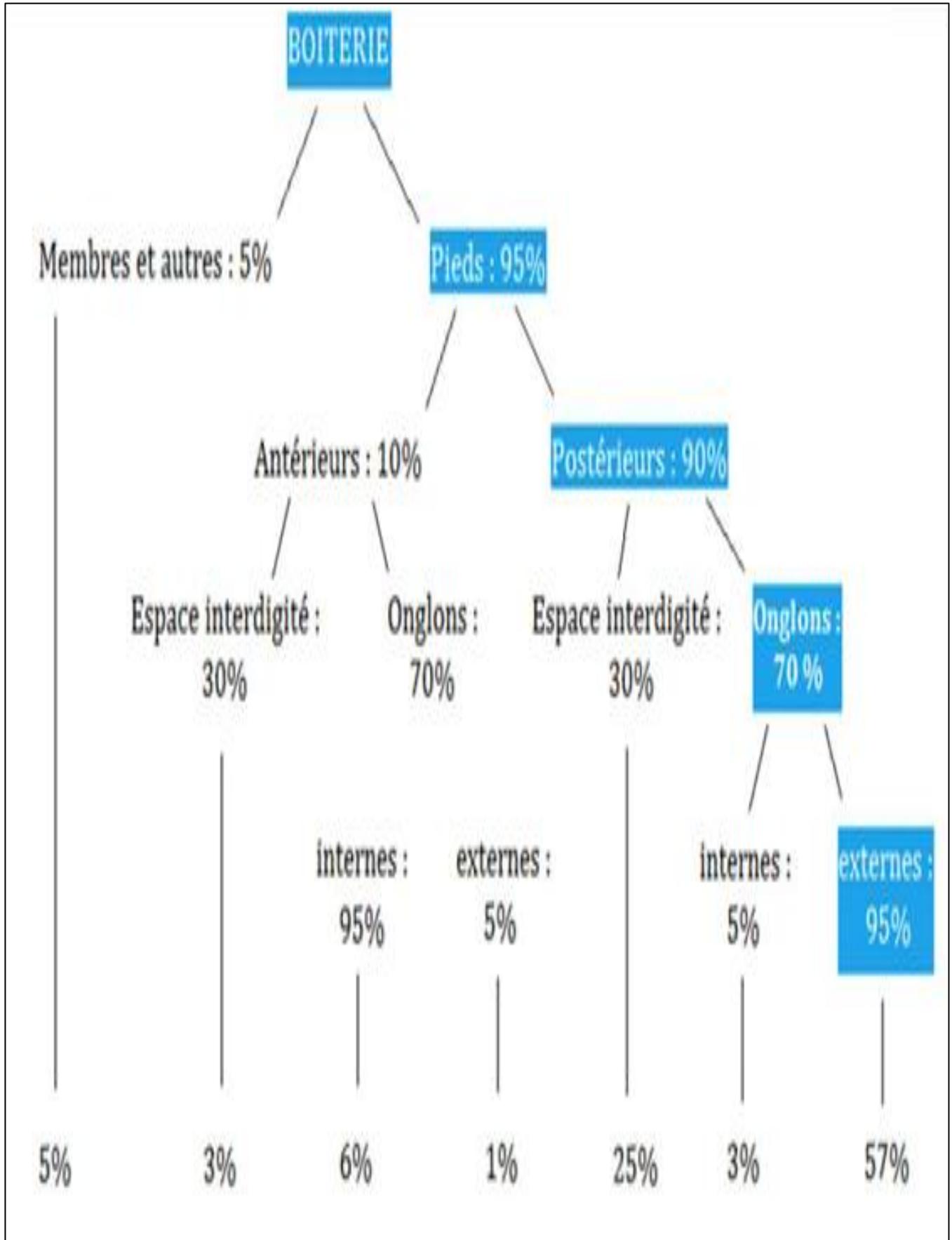


Figure 20 : Pourcentage indicatif des boiteries en fonction de leur localisation d'après (Delacroix 2008)

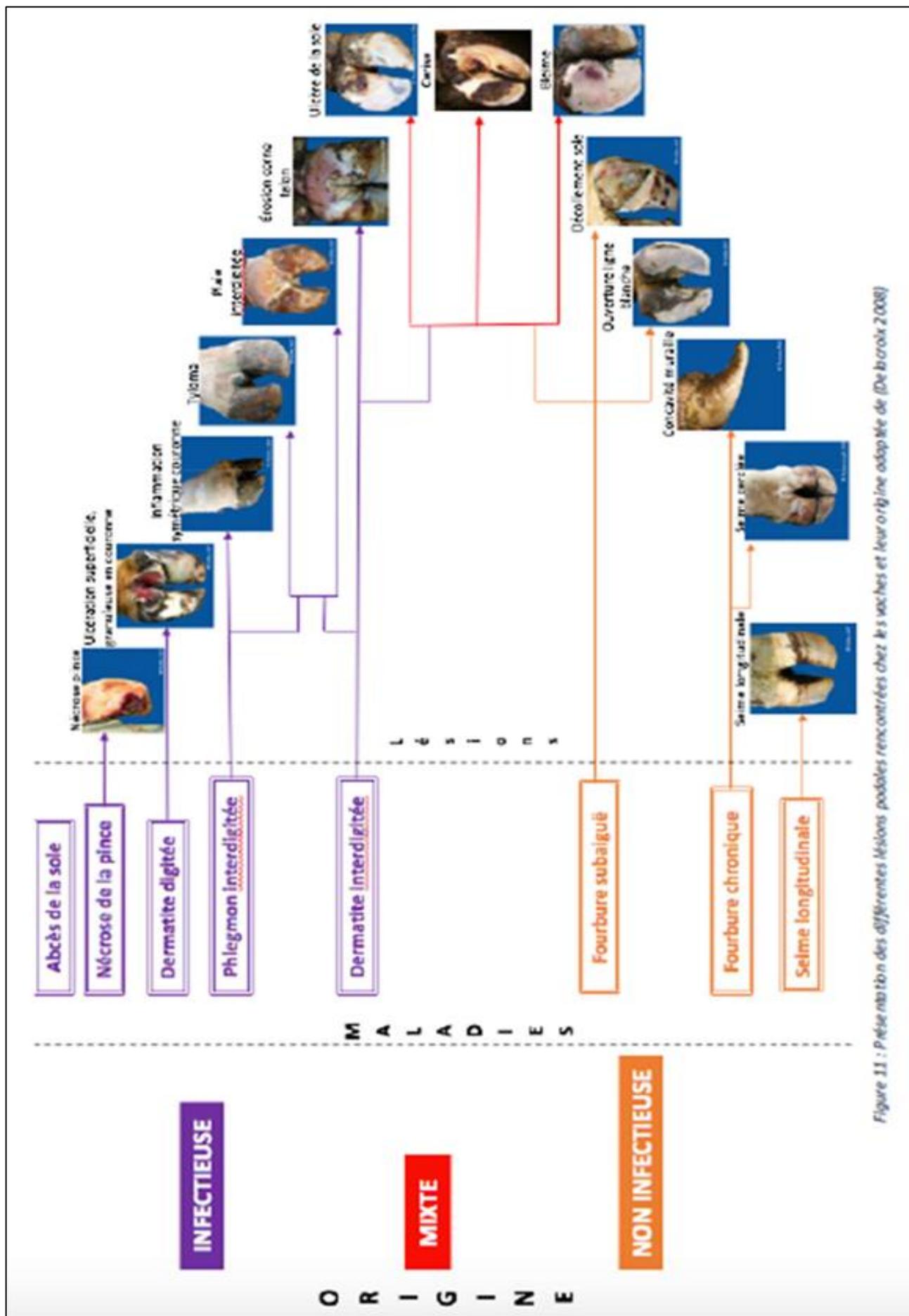


Figure 11 : Présentation des différentes lésions podales rencontrées chez les vaches et leur origine adaptée de (De laroix 2008)

L'observation directe des lésions semble permettre l'estimation de la prévalence des boiteries. En effet, dans l'étude de Sadiq et al (2017) 31,1% (16,3-40%) des vaches présentaient des lésions et la prévalence des boiteries au sein de l'étude était de 19,1% (10-33,3%). De plus, 87,5% des vaches boiteuses présentaient des lésions podales (Sadiq et al. 2017). Cependant toutes les lésions des pieds ne sont pas responsables de boiteries et certaines lésions (lésions de dermatite digitée et interdigitée) entraînent une boiterie à partir d'un certain degré d'atteinte (Frankena et al. 2009). L'observation des lésions permet d'identifier leur origine et d'agir dans le but de les contrôler.

Les lésions observées sur les pieds des bovins peuvent être regroupées en trois grandes catégories (Tableau 3) : les lésions d'origine infectieuse, les lésions d'origines non infectieuses (traumatiques et métaboliques) et les lésions d'origine mixte (Delacroix 2008).

**Tableau 3.** Les principales lésions rencontrées sur les pieds des bovins (adapté à partir de Delacroix 2008).

Origine	Maladies	Lésions
<b>INFECTIEUSE</b>	<i>Dermatite digitée</i>	Ulcération superficielle en couronne, granuleuse rouge vif et circonscrite
	<i>Nécrose de la pince</i>	Nécrose de la pince
	<i>Phlegmon interdigité</i>	Inflammation symétrique de la couronne et du paturon Plaie interdigitée Limace
	<i>Dermatite interdigitée</i>	Décollement de la corne du talon Érosion de la corne du talon Limace Plaie interdigitée
	<i>Abcès de la sole</i>	Abcès de la sole
<b>MIXTE</b>	<i>Dermatite interdigitée</i>	Cerise
	<i>Fourbure subaiguë</i>	Ulcère de la sole Bleime circonscrite
<b>NON INFECTIEUSE</b>	<i>Fourbure subaiguë</i>	Bleime diffuse Coloration jaune sale de la sole Ouverture de la ligne blanche Décollement de la sole
	<i>Fourbure chronique</i>	Concavité de la muraille Corne friable Seime cerclée
	<i>Seime</i>	Seime longitudinale

### 6- Les grilles de notation des lésions

Afin de mieux cerner un problème de boiterie dans un élevage, il est indispensable de lever le pied d'au moins quinze d'animaux (quatre vaches saines, quatre vaches sévèrement boiteuses et sept vaches modérément boiteuses) : l'inventaire de l'ensemble des lésions décelées permet un diagnostic plus précis. Les lésions podales ont été classées en fonction de leur sévérité dans le tableau 4 afin d'identifier avec précision les principales lésions sévissant dans les élevages ainsi que la gravité de celles-ci (Bareille and Roussel 2014).

Les ulcères de sole, abcès de pied et maladies de la ligne blanche sont les lésions les plus fréquentes, les plus douloureuses et les plus susceptibles d'induire de fortes pertes économiques. Elles représentent à elles seules 65% des lésions observées sur les vaches boiteuses (Bicalho and Oikonomou 2013). Les maladies podales d'origine infectieuse sont, elles-aussi douloureuses en fonction du degré d'atteinte (Dermatite digitée, interdigitée et érosion du talon) (Frankena et al. 2009).

**Tableau 4.** Grille d'évaluation des lésions podales d'après (Bareille and Roussel 2014).

	<b>Note 1</b>	<b>Note 2</b>	<b>Note 3</b>
<b>Abcès de la sole</b>	NA	Étendue limitée	Lésion affectant toute la sole et/ou atteintes profondes
<b>Fracture de la corne</b>	Cassure uniquement de la corne	Situation intermédiaire	Cassure jusqu'au vif engendrant une boiterie
<b>Fissure de la muraille</b>	Lésion touchant uniquement la corne	Lésion atteignant le vif et associée à une boiterie	Lésion atteignant la couronne et associée à un chéloïde (interne)
<b>Corne friable</b>	Corne friable sur une petite zone (1cm <sup>2</sup> )	Situation intermédiaire	Corne friable sur une zone très étendue (moitié de la sole et plus)
<b>Concavité et cerclage de la muraille</b>	Concavité et cerclage légers	Situation intermédiaire	Concavité et cerclage très marqués
<b>Décollement ou dédoublement de la sole</b>	Décollement peu étendu et limité (1 cm <sup>2</sup> )	Décollement s'étendant sur le quart de la surface de la sole	Décollement touchant toute la sole
<b>Ouverture de la ligne blanche</b>	Trace d'ouverture plus ou moins étendue avec fistulisation présent mais très peu profonde	Ouverture profonde avec début de fistulisation	Ouverture profonde avec fistulisation, jusqu'à la couronne et complications infectieuses
<b>Coloration Jaune sale de la corne</b>	Coloration jaune pâle et peu étendue	Coloration jaune assez étendue	Coloration jaune foncée et très étendue (moitié de la sole et plus)
<b>Bleime diffuse</b>	Coloration rose pâle et peu étendue	Coloration rose foncé et assez étendue	Coloration foncée et, noirâtre et très étendue (moitié de la sole et plus)
<b>Bleime circonscrite</b>	Coloration rose pâle	Coloration rose foncé	Coloration foncée, noirâtre
<b>Ulcère de la sole</b>	NA	Lésion nette, sans complications infectieuses	Lésions très marquée avec complications infectieuses Profondes (arthrite)
<b>Cerise</b>	NA	Bourgeonnement limité (0,5 cm environ)	Bourgeonnement volumineux (2cm environ)
<b>Décollement de la corne du talon</b>	Décollement superficiel (par exemple, 3mm de profondeur)	Situation intermédiaire	Décollement profond (par ex : 3cm de profondeur) avec ulcère au fond

<b>Erosion de la corne du talon</b>	Érosion limitée en profondeur	Situation intermédiaire	Sillon en V très marqué profond et large, avec hypertrophie des glomes
<b>Limace</b>	Petite limace (< 1cm)	Limace de taille moyenne (environ 2cm)	Limace longue et large
<b>Plaie interdigitée</b>	Simple excoriation superficielle	Situation intermédiaire	« Éclatement » de la peau avec plaie sur plusieurs cm
<b>Lésion typique de panaris</b>	NA	Inflammation symétrique modérée de la couronne du et du paturon	Inflammation symétrique très marquée de la couronne et du paturon
<b>Lésion typique de dermatite digitée</b>	Petite lésion non suintante	Situation intermédiaire	Lésion suintante très entendue et douloureuse avec exsudat grisâtre recouvrant une zone de peau à vif
<b>Nécrose de la pince</b>	NA	Lésion nécrotique en pince de faible étendue n'atteignant pas la 3 <sup>ème</sup> phalange	Lésion nécrotique en pince avec atteinte de la troisième phalange

**7- Observation de la locomotion des animaux**

Différentes méthodes d'évaluation de la locomotion des vaches sont capables de différencier avec succès les vaches boiteuses des non boiteuses. Celles-ci peuvent être classées en deux catégories : les systèmes de notation manuelle (SNM) et les systèmes de notation automatique (SNA).

**5-1- Les Systèmes de Notation Manuelle (SNM) en locomotion**

**5-1-1 Les critères utilisés dans les SNM**

Les différentes méthodes d'évaluation manuelles utilisent une combinaison de critères de la démarche et de la posture afin de détecter au mieux les vaches boiteuses. Les principaux critères de la démarche sont des critères observables sur une vache en train de marcher de préférence, en ligne droite sur un sol plat et non glissant (Tableau 5).

**Tableau 5.** Les critères évaluant la démarche utilisée dans les SNM (Schlageter-Tello et al. 2014).

<b>Critères</b>	<b>Définitions</b>
<b>Abduction-adduction (AA)</b>	Rotation des membres postérieurs vers l'extérieur et des jarrets vers l'intérieur (Abduction) ou rotation des membres postérieurs vers l'intérieur et des jarrets vers l'extérieur (Adduction).
<b>Démarche asymétrique (DA)</b>	Asymétrie dans la distance/le temps au niveau des empreintes de deux foulées consécutives.
<b>Flexibilité des articulations (FA)</b>	Rigidité évidente d'une articulation caractérisée par un manque de flexion.
<b>Réticence à prendre appui sur un membre (RM)</b>	Vache réticente à mettre du poids sur le membre affecté.
<b>Longueur des foulées (LF)</b>	Diminution de la distance/ du temps entre les empreintes du pied droit et du pied gauche.
<b>Distance entre les empreintes de l'antérieur et du postérieur du même côté (DEAP)</b>	Distance entre les empreintes de l'antérieur et du postérieur ipsi-latéraux lors de la foulée.

Les principaux critères de la posture sont des critères pouvant être observés sur une vache debout à l'arrêt ou lorsque la vache marche (Tableau 6).

**Tableau 6.** Les critères de la posture utilisés dans les SNM (d'après Schlageter-Tello et al. 2014).

Critères	Abréviations	Définitions
<b>POSTURE</b>		
<b>Dos arqué</b>	DAQ	Convexité de la ligne du dos partant de la base de la queue pour rejoindre le garrot.
<b>Inclinaison ligne des Hanches</b>	IH	Inclinaison de la ligne horizontale imaginaire rejoignant les deux hanches. (Vue de derrière)
<b>Balancement de la tête</b>	BT	Mouvement exagéré de la tête lorsque la vache soulève du sol le membre affecté.

D'autres critères se concentrent sur des points ne pouvant pas être classés dans les catégories précédentes (Tableau 7) :

**Tableau 7.** Les autres critères utilisés dans les SNM (d'après Schlageter-Tello et al. 2014)

Critères	Abréviations	Définitions
<b>AUTRES</b>		
<b>Difficulté à Tourner</b>	DT	Difficulté à changer de direction en marchant
<b>Difficulté à se Relever</b>	DR	Augmentation du temps de relevé
<b>Vitesse de Marche</b>	VM	Diminution de la vitesse de marche

### 5-1-2- Les différents SNM décrits

Différents SNM ont été décrits dans la littérature, on en distingue deux grands types : les SNM à échelle continue très peu utilisés (2,4%) et les SNM à échelle ordinale majoritairement utilisés (97,6%). Parmi les SNM à échelle ordinale on rencontre des échelles avec des échelons plus ou moins nombreux (2 à 13). Ce sont les échelles à 5 échelons qui ont eu le plus de succès car elles permettent de lier facilité d'utilisation avec précision de notation. Les principaux SNM sont décrits dans le Tableau 8.

### 5-1-3- Description du SNM le plus utilisé

Le système de notation manuelle le plus utilisé est celui décrit par Sprecher et al en 1997 (utilisé dans 27,9% des publications (Schlageter-Tello et al. 2014)). Cette méthode repose sur l'observation d'une association de modification de la démarche et de la posture aboutissant à l'établissement d'un score reporté sur une échelle ordinale à 5 échelons (1-5). Le score de locomotion reflète la sévérité de la boiterie. En effet, un score de 1 correspond à une vache saine ayant un dos plat en position debout et en marche, et posant son postérieur dans l'empreinte de l'antérieur ipsi-latéral. Tandis qu'un score de 5 correspond à une vache extrêmement boiteuse ayant un dos courbé et refusant de prendre appui sur un membre et/ou ayant beaucoup de difficultés à se lever. Une vache est considérée comme étant boiteuse lorsque le score de locomotion est supérieur ou égal à 3. Cette méthode permet aussi de classer les vaches dans trois catégories : les vaches saines (score de 1 et 2), les vaches modérément boiteuses (score de 3) et les vaches gravement boiteuses (score de 4 et 5) (Sprecher et al. 1997). La description détaillée des scores est présentée dans la figure 21.

Tableau 8. Les principaux Systèmes de Notation Manuelle d'après (Schlageter-Tello et al. 2014).

SNM	Échelle	Démarche	Posture	Autres	Utilisation (%)*
<b>CONTINUE</b>					<b>2,4</b>
<i>Flower and Weary (2006)</i>	0-100	DA, RAM, FA, DEAP	DAQ, BT		1,6
<i>Engel et al. (2003)</i>	0-1				0,4
<i>Tuytens et al. (2009)</i>	0-10	DA, RAM, AM, DEAP	DAQ, BT	VM	0,4
<b>ORDINALE</b>					<b>97,6</b>
<b>13 niveaux</b>					<b>0,4</b>
<i>O'Callaghan et al. (2003)</i>	1-5 avec +/-	DA, RAM, DEAP	DAQ, BT	DR	0,4
<b>9 niveaux</b>					<b>29,6</b>
<i>Flower and Weary (2006)</i>	1-5 de 0,5 en 0,5	DA, RAM, DEAP, FA	DAQ, BT		14,2
<i>ICAR-Interbull</i>	9-1	DA, AM, LF			2,4
<i>Manson and Leaver (1988)</i>	1-5 de 0,5 en 0,5	DA, AM, RAM			13,0
<b>6 niveaux</b>					<b>4,0</b>
<i>Kestin et al. (1992)</i>	1-6				1,2
<i>Garbarino et al. (2004)</i>	0-5	DA, LF, RAM	DAQ, BT		2,0
<i>Fitzgerald et al. (2000)</i>	0-5				0,8
<b>5 niveaux</b>					<b>42,9</b>
<i>O'Callaghan et al. (2003)</i>	1-5	DEAP, AM	DAQ, BT	VM	3,6
<i>Sprecher et al. (1997)</i>	1-5	<b>DA, LF, RAM</b>	<b>DAQ</b>		<b>27,9</b>
<i>Thomsen et al. (2008)</i>	1-5	DA, LF, RAM	DAQ, BT		1,2
<i>Thomsen (2009)</i>	1-5		DAQ		0,4
<i>Wells et al. (1993)</i>	0-4	DA		DR, DT	2,8
<i>Winckler and Willen (2001)</i>	1-5	DA, LF, RAM			6,9
<b>4 niveaux</b>					<b>8,5</b>
<i>Breuer e al. (2000)</i>	0-3	DA, RAM	BT		1,2
<i>Cook (2003)</i>	1-4	LF, RAM	DAQ	VM, DT	2,0
<i>DairyCo. (2007)</i>	0-3	DA, LF, RAM	DAQ	VM	4,9
<i>Vokey et al. (2001)</i>	1-4	DA, LF, AM	DAQ, BT, IH	VM	0,4
<b>3 niveaux</b>					<b>6,9</b>
<i>Amory et al. (2006)</i>	1-3		DAQ		1,2
<i>Welfare Quality (2009)</i>	0-2	DA, LF, RAM			2,4
<i>Sogstad et al. (2005)</i>	0-2	DA, RAM			1,6
<i>Van Nuffel et al. (2005)</i>	1-3	DA, DEAP, AM, RAM	DAQ, BT	VM	1,6
<b>2 niveaux</b>					<b>5,3</b>
<i>Groehn et al. (1992)</i>	0-1	Boiteuse/ Non-Boiteuse			5,3

Pourcentage d'utilisation des différents SNM dans la littérature d'après (Schlageter-Tello et al. 2014) Définition des critères dans les Tableau 4, Tableau 5 et Tableau 6.



Figure 21 : Description des différents scores de locomotion (d'après Sprecher et al., 1997)

Les SNM permettent de différencier les vaches saines des vaches boiteuses mais aussi de distinguer les vaches modérément boiteuses des vaches gravement boiteuses. Ils fournissent un résultat immédiat sans équipement technologique supplémentaire, mais se basent sur des critères subjectifs dont l'interprétation peut être variable. En revanche, les SNA fournissent des données précises, fiables et objectives, mais nécessitent l'utilisation de matériel sophistiqué et coûteux limitant ainsi leur utilisation en élevage (Flower and Weary 2006).

### 5-2- Les systèmes de notation automatique (SNA)

L'évaluation régulière de la locomotion devrait être une priorité pour l'éleveur au regard des conséquences sur son élevage. Cependant, en raison de l'augmentation de la taille des troupeaux et l'automatisation des techniques d'élevage, le temps d'observation individuel des vaches diminue ce qui peut compliquer l'utilisation des grilles d'évaluation manuelle. C'est la principale raison pour laquelle les techniques d'évaluation automatique ont été développées. Ces méthodes collectent les données directement à la ferme à l'aide de capteurs. Les données sont ensuite analysées grâce à des algorithmes mathématiques.

#### 5-2-1- Les critères évalués dans les SNA

Les critères mesurés dans les SNA sont des critères relatifs à la démarche, à la posture ou au comportement pouvant être quantifiés par un système de mesure automatique. Ces critères sont présentés dans Tableau 9.

**Tableau 9.** Les différents critères analysés dans les SNA (d'après Schlageter-Tello et al. 2014)

Critères	Abréviations	Définitions
Asymétrie de la longueur du pas	ALonP	Différence de longueur de pas entre les empreintes des pieds gauches et droits
Asymétrie de la durée du pas	ADP	Différence de la durée de pas entre les empreintes des pieds gauches et droits
Asymétrie de la largeur du pas	ALarP	Différence de largeur de pas entre les empreintes des pieds gauches et droits
Asymétrie de la durée de la phase d'appui	Adupa	Différence entre les pieds gauches et droits de la durée pendant laquelle le pied est en appui sur le sol.
Force de réaction du sol	FRS	Force transmise par les pieds au sol pendant la marche
Nombre de levée	NL	Levée du membre lorsque le poids descend sous les 5kg
Ratio du poids des membres	RPM	Ratio entre le membre le plus léger et le plus lourd
Durée d'appui	Dapp	Temps durant lequel un pied est en contact avec le sol
Déviations standard du poids des postérieurs	DSPP	Déviations standard du poids des postérieurs
Nombre de pas	Npas	Levée du membre lorsque le poids descend sous les 5 et 20kg
Longueur de foulée	Lfou	Distance entre 2 empreintes consécutives du même pied
Mesure de la distance entre les empreintes de l'antérieur et du postérieur ipsi-latéraux	MDEAP	Distance entre l'empreinte de l'antérieur et celle du postérieur ipsi-latéraux lors du même pas.

<b>Angle d'appui</b>	Aapp	Angle entre les os métacarpien/métatarsien et une ligne verticale durant la phase d'appui du pied
<b>Variance de l'accélération</b>	Vac	Variance de l'accélération latéro-horizontale, verticale et l'accélération vers l'avant relatif au membre de la vache en marche
<b>POSTURE</b>		
<b>Mesure de la courbure du dos MCD</b>	MCD	Mesure de la courbure du dos
<b>Mesure de la courbure du dos MC</b>	MD	Coefficient obtenu en mesurant différents angles et distances de la posture de la vache
<b>COMPORTEMENT - PRODUCTION</b>		
<b>Activité</b>	Act	Indicateurs d'activité dépendant de la localisation de l'accéléromètre (ex : sur le cou ou le membre)
<b>Concentré non consommé CNC</b>	CNC	Quantité de concentré laissée dans le distributeur
<b>Visite des mangeoires</b>	VMan	Nombre de visites de la mangeoire
<b>Temps d'alimentation</b>	TA	Temps passé à la mangeoire
<b>Nombre d'épisode de couchage</b>	NECou	Nombre d'épisode de couchage durant la journée
<b>Durée des épisodes de couchage</b>	DECou	Moyenne de durée des épisodes de couchage
<b>Temps de couchage</b>	TCou	Moyenne de durée de couchage total durant la journée
<b>Fréquence de traite</b>	FTr	Nombre de passages au robot de traite
<b>Durée de traite</b>	DTr	Temps nécessaire à la traite de la vache
<b>Ordre de traite</b>	OTr	Ordre de passage à la traite
<b>Production laitière</b>	PL	Production laitière quotidienne
<b>Vitesse de déplacement</b>	VD	Durée nécessaire pour parcourir une distance connue
<b>Temps Debout</b>	TDeb	Temps passé en position debout (en mouvement ou

### 5-2-2- Les différents SNA

#### 5-2-2-1- Les méthodes cinétiques

Deux méthodes ont jusqu'à présent été décrites. La première (Rajkondawar et al. 2006) repose sur l'utilisation de 2 plateformes parallèles qui mesurent les forces engendrées par les onglons lorsque la vache marche sur celles-ci. La seconde (Pastell et al. 2008) utilise une unique plateforme permettant de mesurer la distribution du poids entre les quatre membres de la vache. Dans les deux cas les plateformes contiennent des cellules de charge qui envoient un signal électrique lorsque l'animal marche dessus. Les signaux électriques enregistrés sont ensuite analysés pour donner la position et la force réactionnelle des pas permettant ainsi de reconstruire les caractéristiques du mouvement des

quatre membres. Ces données de force permettent d'obtenir des informations sur la qualité de la démarche de manière objective, quantifiable et répétable (Pastell et al. 2008).

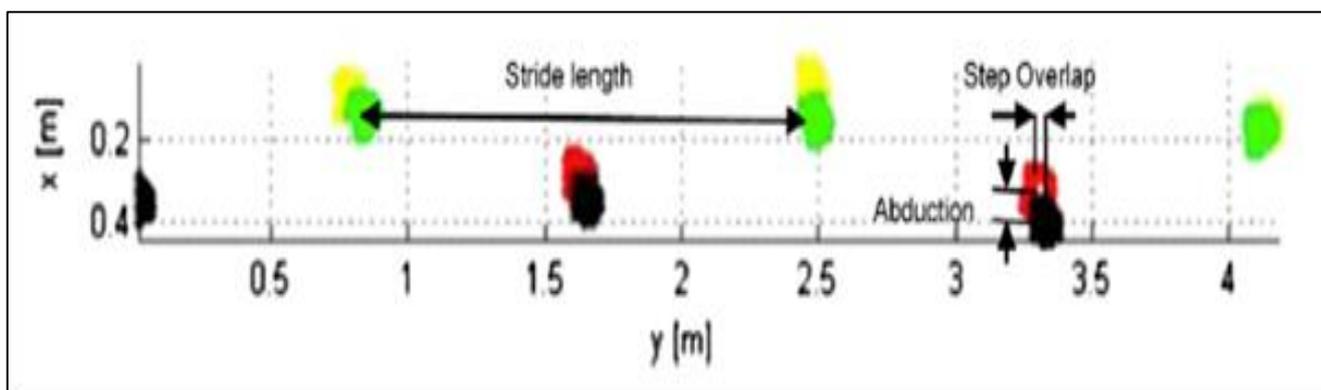
#### 5-2-2-2- Les méthodes cinématiques

Cette méthode consiste à filmer les animaux en mouvement. La séquence vidéo est ensuite analysée par un logiciel de traitement d'image et les paramètres désirés ont la possibilité d'être évalués. Plusieurs techniques ont été développées dans l'approche cinématique. Une première technique (Flower et al. 2005 ; Blackie et al. 2013) utilise des marqueurs positionnés sur les onglons, les articulations des membres, le garrot, ou la ligne du dos (Figure 22). Les mouvements des marqueurs les uns par rapport aux autres peuvent ensuite être analysés pour mettre en évidence des anomalies dans la démarche des vaches.



**Figure 22 :** Méthode cinématique utilisant des marqueurs positionnés sur les articulations.

Une seconde technique utilise une passerelle constituée de capteurs de pressions qui enregistre les empreintes des vaches qui marchent dessus pour ensuite les analyser en tant que variable cinématique (Figure 23) (Maertens et al. 2011).



**Figure 23 :** Données obtenues lors de l'analyse de la marche d'une vache (d'après la méthode cinématique de Maertens et al. 2011).

Ces données représentent les coordonnées (x : transverse ; y : longitudinale) des empreintes de chaque membre dans la zone de prise de mesure (rouge=antérieur droit ; noir=postérieur droit ; jaune=antérieur gauche ; vert=postérieur gauche).

Enfin une dernière technique utilise des accéléromètres connectés fixés aux membres des vaches et mesurant l'accélération des membres dans les trois dimensions lorsque la vache se déplace (Pastell et al. 2009).

5-2-2-3- Les méthodes indirectes

Les SNA indirects se basent sur l'analyse de paramètres comportementaux et/ou de critères zootechniques comme indicateurs de troubles de la locomotion.

✓ Critères comportementaux

Les accéléromètres en 2 dimensions ou 3 dimensions sont fréquemment utilisés pour détecter des altérations du comportement de couchage des vaches. Ils sont fixés à l'encolure ou aux membres des animaux. Les comportements étudiés dans le cadre de l'évaluation des boiteries sont : la durée des périodes de couchage, le temps de station debout, et le temps total de couchage (Ito et al. 2010). L'étude d'Ito et al (2010) a mis en évidence qu'une augmentation du temps de couchage, de longues périodes de couchage et une variation dans les durées de périodes de couchage sont associées aux boiteries (Ito et al. 2010 ; Alsaod et al. 2012).

✓ Critères zootechniques

Une diminution de la consommation des concentrés (Mol et al. 2013), une diminution de la production laitière quotidienne (King et al. 2017) et une diminution de la fréquence de passages dans le robot de traite (Borderas et al. 2008 ; Deming et al. 2013) sont des critères associés à la présence de boiterie. Dans une étude de King et al (2017) les vaches boiteuses produisaient en moyenne 1,6 kg de lait/jour en moins par rapport aux vaches non boiteuses et présentaient une diminution de la fréquence de traite, un temps de couchage augmenté de 38 min en moyenne sur une journée ainsi qu'un ratio activité nocturne/activité diurne augmenté. En revanche, aucune différence significative n'a été mise en évidence pour la durée quotidienne de rumination (King et al. 2017).

Les avantages et les limites des SNA sont présentés dans le Tableau 10 :

**Tableau 10.** Avantages et limites des SNA dans l'évaluation des boiteries (d'après DeVries et al. 2011 ; Van De Gucht et al. 2017).

SNA	AVANTAGES	LIMITES
<b>Cinétique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évaluation rapide</li> <li>- Evaluation quantifiable et répétable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mauvais positionnement des onglons sur les plateformes</li> <li>- Vitesse de déplacement trop rapide.</li> <li>- Coût de la technologie.</li> <li>- Déplacement des marqueurs</li> </ul>
<b>Cinématique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évaluation rapide</li> <li>- Évaluation quantifiable et répétable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mauvaise calibration de l'espace de contrôle.</li> <li>- Coût de la technologie</li> </ul>
<b>Indirect</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évaluation rapide</li> <li>- Évaluation quantifiable et répétable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comportement et production affectés par d'autres maladies fréquentes (mammites et cétoses).</li> <li>- Coût de la technologie</li> </ul>

## 6- Observation des animaux en statique

### 6-1- Les critères utilisés dans les Systèmes de Notation Statique (SNS)

Certaines modifications de la posture des vaches ont été associées aux boiteries. Celles-ci peuvent être observées lorsque la vache se tient debout dans le cornadis. Les systèmes de notation de la locomotion qui ont été validés par corrélation avec les lésions des pieds et des membres (Flower et Weary 2006) utilisent fréquemment l'évaluation de la courbure de la ligne du dos comme critère révélateur de boiterie. Par exemple dans l'un des systèmes d'évaluation de la locomotion les plus utilisés (Sprecher et al. 1997) les vaches non boiteuses ( $\text{Score} \leq 2$ ) se tiennent debout avec une ligne du dos plate, alors que les vaches boiteuses ( $\text{Score} \geq 3$ ) se tiennent debout avec un dos courbé. Le dos courbé a aussi été associé aux ulcères de sole (Flower et Weary 2006) et à d'autres lésions douloureuses des pieds (O'Callaghan et al. 2003).

D'autres modifications de la posture telles que la qualité des aplombs et la réticence à prendre appui sur un membre ont été associées aux boiteries (Hoffman et al. 2014). Leach et al (2009) ont démontré que les postures suivantes : une réticence à prendre appui sur un membre, les piétinements, une rotation des pieds, le repos d'un pied, des mouvements plus rapides pour passer d'un pied à un autre et l'appui en pince pouvaient indiquer la présence d'une boiterie (Leach et al. 2009). Selon Toussaint-Raven (1985) une augmentation de l'écartement des postérieurs serait associée aux boiteries (Toussaint-Raven 1985). Cependant l'étude de Hoffman et al (2014) a mis en évidence que l'écartement des postérieurs et les boiteries n'étaient pas associés (Hoffman et al. 2014).

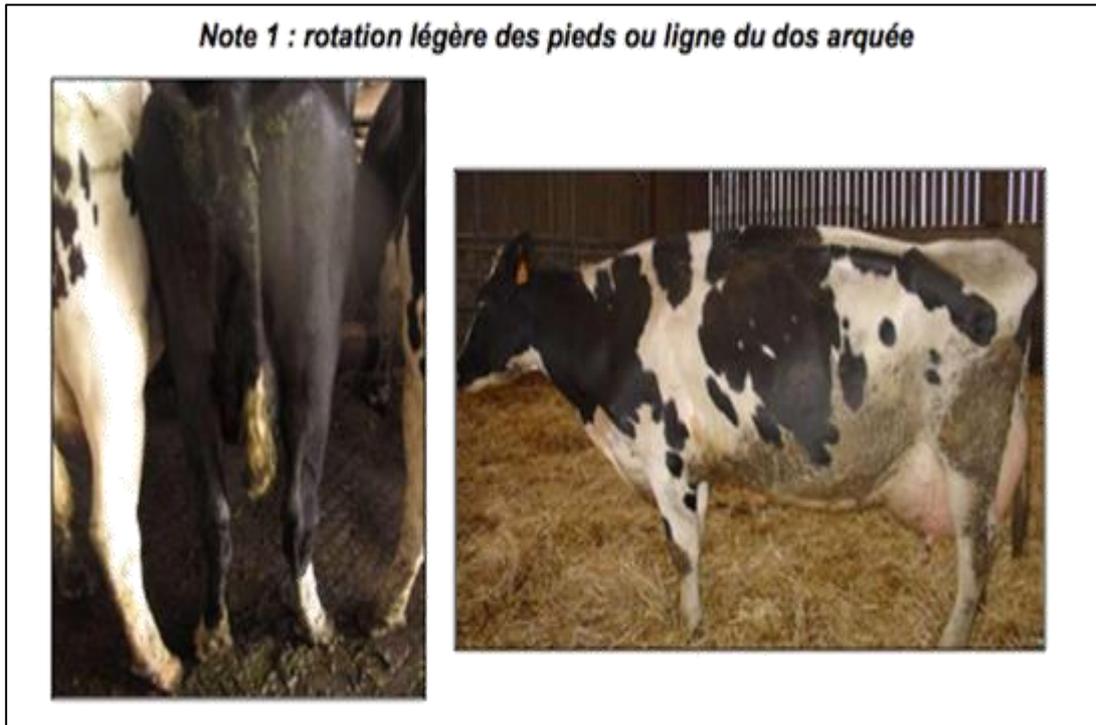
Bulgarelli-Jiménez et al (1996) ont été les premiers à mettre au point une grille de notation en statique basée sur l'angle de rotation externe des postérieurs. Pour des angles de rotation externe  $< 17^\circ$ , compris entre  $17^\circ$  et  $24^\circ$  et  $> 24^\circ$  les vaches se voient respectivement assignées un score de 1, 2 et 3. Les vaches présentant une boiterie clinique ont un score de 3 (Bulgarelli-Jiménez et al. 1996). Une étude de Randhawa et al (2008) a aussi montré qu'une déviation médiale des jarrets avec latéralisation des pieds était associée aux boiteries (Randhawa et al. 2008). Cependant, la rotation externe des postérieurs n'est pas exclusivement associée aux boiteries. En effet, c'est une technique de compensation des lésions douloureuses permettant de modifier la répartition du poids sur les onglons pour soulager le pied mais elle peut aussi être due à une croissance excessive d'un onglon, une mauvaise conformation de la vache et à une mamelle trop volumineuse (Leach et al. 2009). Zurbrigg et al (2005) suggèrent qu'une rotation latérale des postérieurs ( $> 20^\circ$ ), des postérieurs et une mamelle sales seraient associés aux boiteries (Zurbrigg et al. 2005). Cependant, ces critères n'ont pas été évalués en parallèle d'un score de locomotion, qui est une méthode de validation des critères relatifs aux boiteries (Hoffman et al. 2014).

### 6-2- Présentation d'un SNS

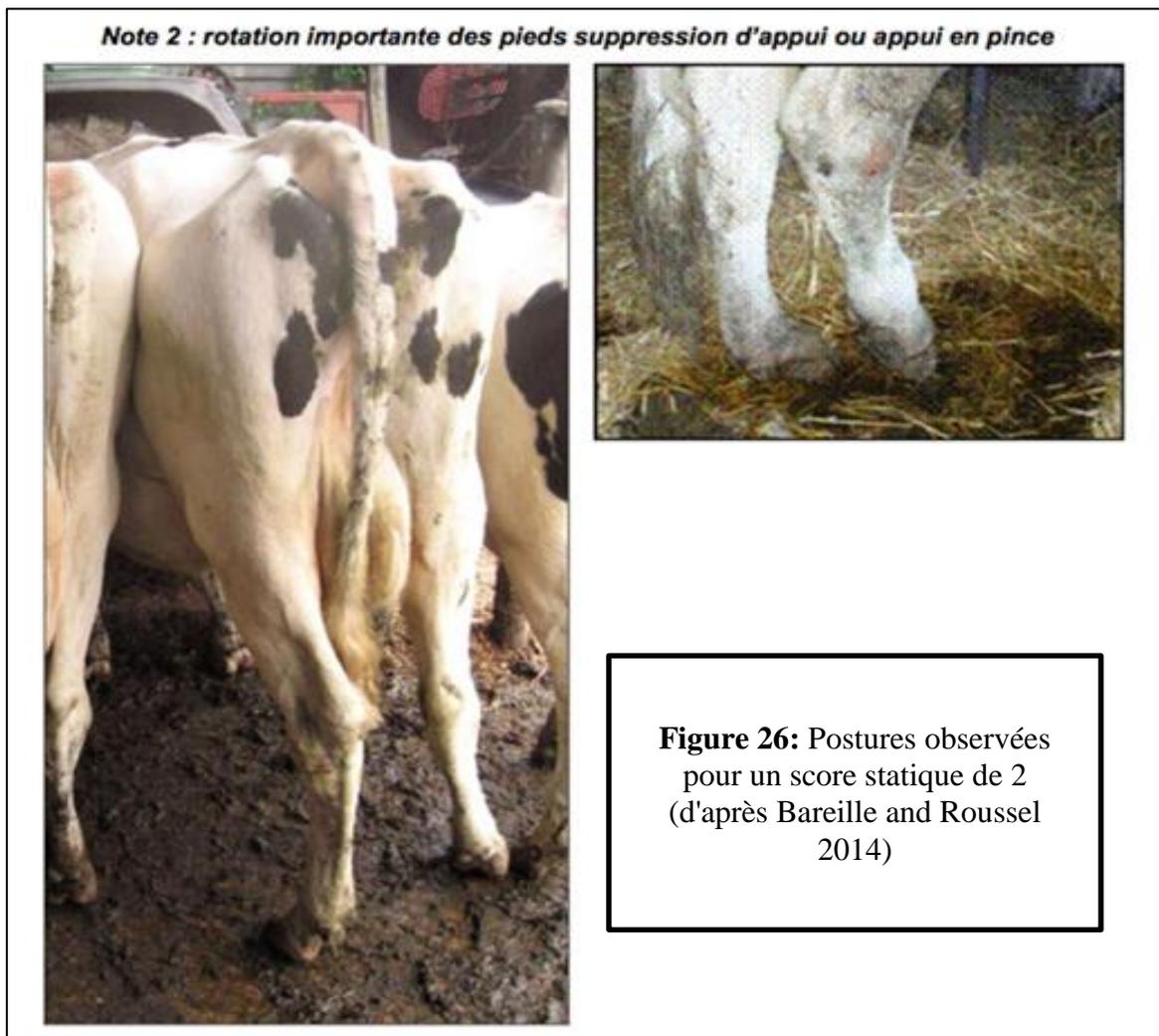
Le SNS de Bareille et Roussel (2014) a été l'un de ceux pour lesquels il y a eu le plus de communication dans le milieu des élevages Européen. Il repose sur l'observation de 3 postures : la courbure de la ligne du dos, l'aspect des aplombs et la modification de l'appui (Bareille et Roussel 2014). Chaque posture se voit alors assignée une note allant de 0 à 2 suivant la sévérité de l'atteinte (Figure 24, Figure 25 et Figure 26).



**Figure 24** : Postures observées pour un score statique de 0 (d'après Bareille and Roussel 2014)



**Figure 25 :** Postures observées pour un score statique de 1 (d'après Bareille and Roussel 2014)



L'association des notes obtenues pour chaque posture permet de définir une note de synthèse (Tableau 11) :

**Tableau 11.** Les diverses combinaisons de posture et leur score de synthèse associé (d'après Bareille and Roussel 2014).

Note d'évaluation statique			Note de synthèse
Soulagement du pied	Qualité des aplombs	Courbure de ligne du dos	
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	1	1
0	1	0	1
0	2	0	2
0	2	1	2
2	0 ou 1 ou 2	0 ou 1	2

Une vache ayant une note de synthèse de 0 est alors considérée comme saine, une vache ayant une note de synthèse de 1 est considérée comme étant modérément boiteuse et une vache ayant une note de synthèse de 2 est considérée comme étant sévèrement boiteuse (Tableau 12).

**Tableau 12.** Grille de notation des boiteries en statique (d'après Bareille and Roussel 2014).

Note / dénomination	Soulagement du pied	Qualité des aplombs postérieurs	Ligne du dos
<b>(0) Saine</b>	Aucun	Membres droits et parallèles	Droite
<b>(1) Atteinte modérée</b>	Aucun	Anomalie légère	Arqué
<b>(2) Atteinte sévère</b>	Suppression d'appui ou appui en pince	Rotation importante des pieds vers l'extérieur, jarrets serrés	

Les avantages et limites des SNS sont présentés dans le Tableau 13 :

**Tableau 13.** Avantages et limites des systèmes de notation statique.

AVANTAGES	LIMITES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne nécessite pas de matériel spécifique</li> <li>- Peu coûteux</li> <li>- Évaluation du troupeau rapide</li> <li>- Évaluation réalisable lors d'actes divers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entraînement à l'évaluation nécessaire</li> <li>- Répétabilité et reproductibilité</li> <li>- Validation</li> </ul>

**Description des principales maladies des pieds des bovins et des lésions associées****1- Les maladies d'origine infectieuse****1-1- Dermatite digitée (Maladie de Mortellaro)**

La dermatite digitée est une maladie très contagieuse, érosive et proliférative de l'épiderme proximal à la jonction peau/corne dans la région de flexion de l'espace interdigité. La morbidité dans le troupeau peut atteindre >90% (Greenough 2002). Les lésions caractérisant la dermatite digitée sont des ulcérations superficielles en couronnes, granuleuses rouge vif et circonscrites (Figure 27). C'est une affection inflammatoire subaiguë, contagieuse et superficielle de la peau de la couronne, se développant principalement côté talon, mais aussi au niveau de l'espace interdigité. Elle est d'origine infectieuse, mais l'étiologie précise reste inconnue. Des spirochètes sont impliqués.



**Figure 27** : Lésions d'ulcération granuleuse de dermatite digitée (d'après Döpfer et al. 2015)

**1-2- Dermatite interdigitée (Fourchet, piétin d'hiver)**

La dermatite interdigitée est une affection inflammatoire superficielle contagieuse de l'épiderme débutant sur la peau et s'étendant aux talons. Deux germes agissant en synergie y sont impliqués : *Dichelobacter nodosus* et *Fusobacterium necrophorum*. C'est une maladie multifactorielle (habitat, alimentation, humidité, hygiène) qui se développe en deux phases : la première passe la plupart du temps inaperçue si on ne lève pas le pied (phase d'inflammation cutanée (Figure 28) et la seconde est caractérisée par des complications (érosions de la corne du talon (Figure 29), tylomas (Figure 30), ulcères de sole et bleimes) déclenchant une boiterie légère à grave. Une guérison spontanée au pâturage est possible (Delacroix 2008).



**Figure 28** : Lésions d'inflammation de la peau interdigitée lors de dermatite interdigitée (d'après Döpfer et al. 2015).

❖ *Érosion de la corne du talon*

L'érosion du talon (Figure 29) est une aberration dans l'apparition de la surface du bulbe du talon. *Dichelobacter nodosus* peut s'étendre de la peau interdigitée à la jonction peau/talon entre les joues des bulbes, où il provoque une interruption suffisante pour provoquer le décollement du bulbe. L'aspect peut être celui d'un ulcère de la peau érodé ou un **V noir** profond.



**Figure 29** : Lésions d'érosion de la corne du talon (d'après Döpfer et al. 2015).

❖ *Tyloma (Limace, hyperplasie interdigitée)*

Le tyloma (Figure 30) est une masse à consistance dure, de type tumeur, localisée dans l'espace interdigité. Chez les vaches laitières, chez lesquelles les pieds sont en permanence exposés à la bouse, une irritation chronique ou une dermatite dans la région interdigitée peut survenir et être responsable de la formation de tyloma près de la jonction corne peau (Greenough 2002).



**Figure 30** : Lésion de tyloma (d'après Döpfer et al. 2015).

- ❖ *Bleimes circonscrites (page 55)*
- ❖ *Ulcère de la sole et cerise (page 56)*

### 1-3- Phlegmon interdigité (Panaris)

Le phlegmon interdigité est une infection nécrotique subaiguë à aiguë qui a pour origine une lésion de la peau interdigitée, qui provoque une cellulite dans la région digitale. *Fusobacterium necrophorum* est considéré comme étant la principale cause de phlegmon interdigité. Le phlegmon interdigité est caractérisé par une tuméfaction symétrique de la couronne et du paturon (Figure 31) et un érythème des tissus mous de l'espace interdigité et de la couronne adjacente. Une des conséquences de cette inflammation de l'espace interdigité est le tyloma (Greenough 2002).



**Figure 31 :** Lésions de panaris (d'après Döpfer et al. 2015).

### 1-4- Arthrite septique

L'arthrite septique de l'articulation inter-phalangienne distale (Figure 32) est une infection pénétrant l'articulation à 3 endroits principaux (Greenough 2002) :

- La commissure dorsale de l'espace interdigité au moyen d'un traumatisme ou d'un phlegmon interdigité compliqué
- Les seimes
- La maladie de la ligne blanche ou abcès rétro articulaire



**Figure 32 :** Lésions d'arthrite septique (d'après Döpfer et al. 2015).

## 2- Les maladies d'origine non infectieuse et leurs lésions associées

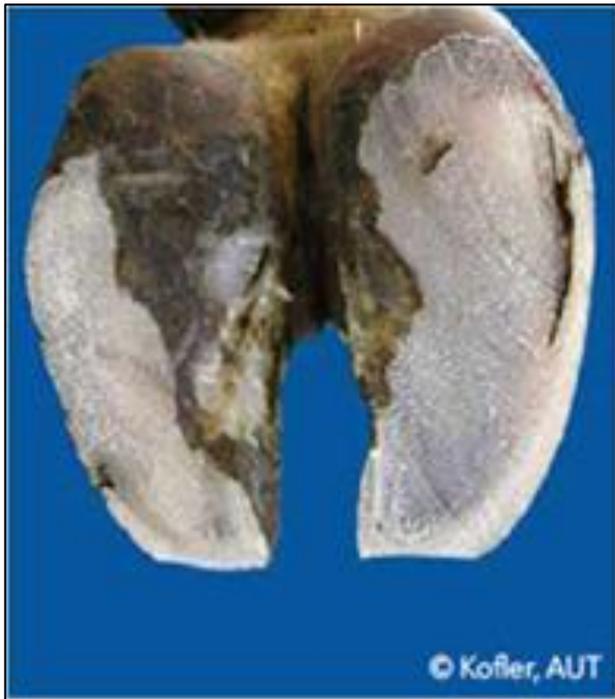
### 2-1- Fourbure

La fourbure est une affection systémique non infectieuse, focalisée sur les pieds avec des manifestations cliniques différées. Sa forme aiguë est rare chez les bovins. Elle se développe plutôt insidieusement et se manifeste surtout sous forme subaiguë (boiterie légère) ou chronique (démarche sensible et déformation des onglons), sans liens évidents entre les deux. C'est une affection très répandue en élevage laitier intensif (Delacroix 2008).

La fourbure subaiguë se manifeste par une coloration jaune de la corne des ulcérations de la sole, des cerises, des bleimes, des décollements de sole et des ouvertures de ligne blanche. En revanche, la fourbure chronique se manifeste davantage par des déformations d'onglons tels qu'une concavité de la muraille et des seimes (Delacroix 2008).

#### ✓ *Ouverture de la ligne blanche (maladie de la ligne blanche, Fissure de la ligne blanche)*

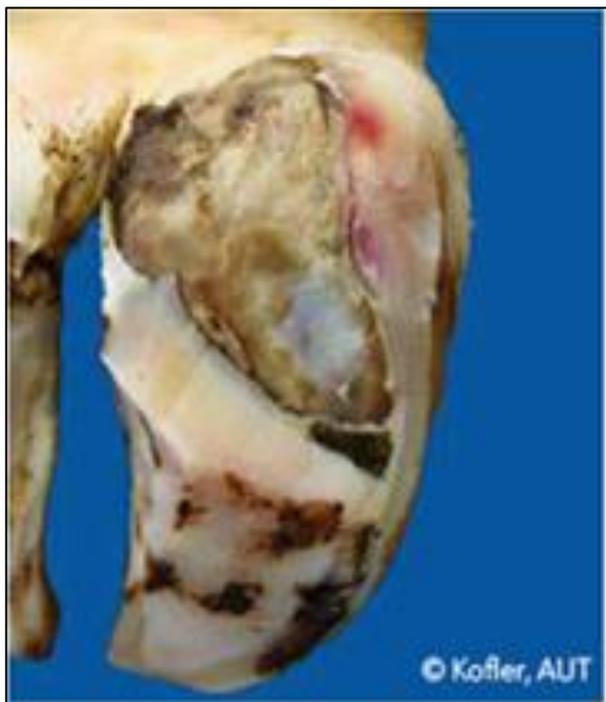
La maladie de la ligne blanche est caractérisée par la séparation (arrachement) de la jonction fibreuse entre la sole et la paroi sur la bordure abaxiale de la sole (Figure 33). Le chorion s'infecte par cette ouverture et les traces d'infection peuvent se localiser sous la forme d'un abcès ou peuvent pénétrer plus profondément pour former un abcès rétro articulaire. La rupture de la ligne blanche est aggravée par les impacts répétés dus aux déplacements, surtout chez les animaux élevés sur du béton. Des corps étrangers peuvent ainsi se fixer dans la zone ramollie. Ils peuvent pousser le chorion et autoriser l'introduction de l'infection. Cependant, la présence d'un corps étranger n'est pas essentielle pour que la lésion survienne (Greenough 2002).



**Figure 33** : Lésions de maladie de la ligne blanche (d'après Döpfer et al. 2015).

#### ✓ *Décollement de la sole*

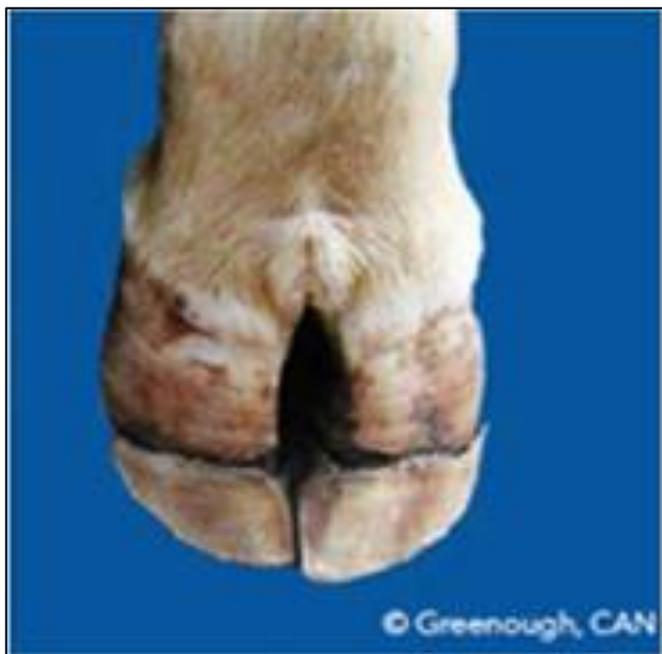
Lors de décollement de la sole, une sole superficielle est séparée par un espace d'une deuxième sole qui est fixée directement au derme (Figure 34). Il peut avoir comme origine un trouble nutritionnel à court terme. Un trouble brutal dans la microcirculation du derme provoque probablement un épanchement de sérum qui sépare le derme de l'épiderme. La maladie a été observée chez les animaux brutalement passés d'un régime principalement constitué de fourrage à un régime riche en concentrés (Greenough 2002).



**Figure 34 :** Lésion de décollement de la sole (d'après Döpfer et al. 2015).

- ✓ *Coloration jaune de la corne*
- ✓ *Bleime circonscrite et diffuse (Les bleimes page 55)*
- ✓ *Ulcère de la sole et cerise (page 56)*
- ✓ *Seime cerclée*

Une seime cerclée (Figure 35) est une fissure horizontale dans la paroi de l'onglon. L'étiologie reste incertaine (Greenough 2002).



**Figure 35 :** Lésion de seime cerclée (d'après Döpfer et al. 2015).

### 2-2- Seime longitudinale (Fracture de l'onglon, Fissure de l'onglon)

Une seime longitudinale (Figure 36) est une fissure longitudinale dans la paroi de l'onglon. L'étiologie reste incertaine (Greenough 2002).



**Figure 36 :** Lésion de seime longitudinale (d'après Döpfer et al. 2015).

### 2-3- Les lésions d'origine mixte

Les lésions d'origine mixte peuvent être rencontrées à la fois chez les vaches atteintes de dermatite interdigitée et à la fois chez les vaches atteintes de fourbure subaiguë.

#### ❖ *Bleime (Hémorragie de la sole)*

Une bleime (Figure 37) est une coloration rouge résultant d'une hémorragie qui s'est produite lors de la production de cette corne (en moyenne 6-8 semaines auparavant) (Delacroix 2008).

On distingue :

- a. Les bleimes circonscrites situées à l'endroit typique de la sole ou sur la ligne blanche
- b. Les bleimes diffuses situées sur une zone étendue de la sole (à savoir en dehors de la ligne blanche et de la zone postéro-axiale)



**Figure 37 :** Lésions de bleimes (d'après Döpfer et al. 2015).

❖ *Ulcère de la sole et cerise*

L'ulcère de la sole (Figure 38) est une lésion localisée dans la région de la jonction sole/pododerme, habituellement plus proche du bord axial que du bord abaxial. Les lésions du derme sont associées à une zone circonscrite d'hémorragie et de nécrose localisées. Les ulcères de la sole affectent fréquemment un ou les deux onglons latéraux postérieurs. L'idée que la fourbure subaiguë est un facteur prédisposant majeur est largement répandue. La fourbure lèse les tissus producteurs de corne, rendant la corne de la sole plus molle qu'à l'état normal. Une usure excessive de la corne de la sole ramollie aboutit à un aplatissement et un amincissement de cette sole. Le port de charge sous le processus de flexion de la phalange distale entraîne une pression de la sole sur le chorion dans cette région et provoque une nécrose ischémique survenant sur une petite surface. La production de corne cesse dans la région spécifique et, comme la corne autour continue de s'accroître, la zone lésée continue à persister sous la forme d'une perforation. À un stade chronique, le chorion lésé se régénère jusqu'à ce que les tissus granuleux émergent à travers la sole pour former une cerise (Greenough 2002).



**Figure 38** : Lésions d'ulcères de la sole (d'après Döpfer et al. 2015).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **AGRESTE : ACTUALITE ET STATISTIQUE AGRICOLE (2011)** Structure des exploitations, résultats 2007, niveau régional, cheptels [PDF] Adresse URL : <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/structure2008T9.pdf>.
2. **ALSAAOD M, RÖMER C, KLEINMANNS J, HENDRIKSEN K, ROSE-MEIERHÖFER S, PLÜMER L, and BÜSCHER W. (2012).** Electronic Detection of Lameness in Dairy Cows through Measuring Pedometric Activity and Lying Behavior. *Applied Animal Behaviour Science* 142 (3): 134–41. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.10.001>.
3. **AMORYR, P. KLOOSTERMAN, Z.E. BARKER, J.L. WRIGHT, R.W. BLOWEY, L.E. GREEN (2006).** Risk factors for reduced locomotion in dairy cattle on nineteen farms in the Netherlands. *J. Dairy Sci.*, 89 (2006), pp. 1509-1515
4. **BAREILLE N. et ROUSSEL P. (2014).** Guide d'intervention pour la maîtrise des boiteries en troupeaux de vaches laitières, 2ème édition. UMT Maîtrise de la santé des troupeaux bovins. 177p.
5. **BARKEMA H.W, WESTRIK J.D, VAN KEULEN K.A.S, SCHUKKEN Y.H, and BRAND A (1994).** The Effects of Lameness on Reproductive Performance, Milk Production and Culling in Dutch Dairy Farms. *Preventive Veterinary Medicine* 20 (4): 249–59. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/0167-5877\(94\)90058-2](https://doi.org/10.1016/0167-5877(94)90058-2).
6. **BICALHO R.C, VOKEY F, ERB H.N, and GUARD C.L. (2007).** Visual Locomotion Scoring in the First Seventy Days in Milk: Impact on Pregnancy and Survival. *Journal of Dairy Science* 90 (10): 4586–91. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0297>.
7. **BICALHO, CARVALHO R, and OIKONOMOU G. (2013).** Control and Prevention of Lameness Associated with Claw Lesions in Dairy Cows. *Livestock Science* 156 (1): 96–105. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.06.007>.
8. **BLACKIE N, BLEACH E.C.L, AMORY J.R, and SCAIFE J.R. (2013).** Associations between Locomotion Score and Kinematic Measures in Dairy Cows with Varying Hoof Lesion Types. *Journal of Dairy Science* 96 (6): 3564–72. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5597>.
9. **BLOWEY, ROGER. (2005).** Factors Associated with Lameness in Dairy Cattle. *In Practice* 27 (3): 154–62. Disponible sur : <https://doi.org/10.1136/inpract.27.3.154>.
10. **BORDERAS T.F, FOURNIER A, RUSHEN J, and DE PASSILLÉ A.M.B. (2008).** Effect of Lameness on Dairy Cows' Visits to Automatic Milking Systems. *Canadian Journal of Animal Science* 88 (1): 1–8. Disponible sur : <https://doi.org/10.4141/CJAS07014>.
11. **BORDERAS T.F, PAWLUCZUK B, DE PASSILLÉ A.M, and RUSHEN J. (2004).** Claw Hardness of Dairy Cows: Relationship to Water Content and Claw Lesions. *Journal of Dairy Science* 87 (7): 2085–93. Disponible sur : [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70026-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70026-0).
12. **BOURAOUI R, JEMMALI B, M'HAMDI N, BEN MEHREZ C, and REKIK B. (2014).** Etude de l'incidence Des Boiteries et de Leurs Impacts Sur La Production Laitière Des Vaches Laitières Dans Le Subhumide Tunisien. *Journal of New Sciences*. Disponible sur : <http://www.jnsciences.org/agri-biotech/17-volume-9/35-etude-de-l-incidence-des-boiteries-et-de-leurs-impacts-sur-la-production-laitiere-des-vaches-laitieres-dans-lesubhumide-tunisien.html>.
13. **BREUER, K., HEMSWORTH, P.H., BARNETT, J.L., MATTHEWS, L.R., COLEMAN, G.J., (2000).** Behavioural response to humans and the productivity of commercial dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 66:273-288.
14. **BUDRAS KD, HABEL RH, (2003)** Bovine Anatomy. An Illustrated Text. 1<sup>st</sup> edition Schlütersche, Hannover, 138p.
15. **BULGARELLI-JIMÉNEZ G, DERCKX K, VAN AMERONGEN J, SCHUKKEN Y, and NIELEN M. (1996).** A Hind Feet Position Scoring-System to Monitor Subclinical Lameness in

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dutch Holstein-Friesian Cows. The 9th International Symposium on Disorders of Ruminants Digit and The International Conference on Lameness in Cattle, April 1996.
16. **CAPION N, THAMSBORG S.M, and ENEVOLDSEN C. (2008).** Conformation of Hind Legs and Lameness in Danish Holstein Heifers. *Journal of Dairy Science* 91 (5): 2089–97. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2006-457>.
  17. **CENTRE D'ECOPATHOLOGIE ANIMALE, (1993).** *Manuel de prévention des boiteries des vaches laitières*. Villeurbanne : Centre d'Ecopathologie Animale, 39 p.
  18. **CLACKSON D.A, and WARD R.W. (1991).** Farm Tracks, Stockman's Herding and Lameness in Dairy Cattle. *Veterinary Record* 129 (23): 511–12. Disponible sur : <https://doi.org/10.1136/vr.129.23.511>.
  19. **COLLICK D.W, WARD W.R, and DOBSON H. (1989).** Associations between Types of Lameness and Fertility. *The Veterinary Record* 125 (5): 103–6.
  20. **COOK N.B., Cutler K.L. (1995).** Treatment and outcome of a severe form of foul-in-the-foot. *Vet. Rec.* 136:19-20.
  21. **DAIRYCO (2007).** DairyCo Mobility Score. Kenilworth: DairyCo; 2007. [Google Scholar]
  22. **DELACROIX M (2000).** Boiterie des bovins : les affections du pied. *La Dépêche technique, supplément technique de la Dépêche Vétérinaire* du 28/10 au 3/11/00 (73), 23p.
  23. **DELACROIX M (2006)** Conférence sur le parage des bovins, Ecole Vétérinaire de Lyon.
  24. **DELACROIX M (2008).** *Les Maladies de L'appareil Locomoteur. Maladies Des Bovins, 4ème édition.* France Agricole.
  25. **DELACROIX M (2010).** Cours de cinquième année spécialité bovine, Maladies et parage des bovins laitiers, Ecole Vétérinaire de Toulouse.
  26. **DEMING J.A, BERGERON R, LESLIE K.E, and DEVRIES T.J. (2013).** Associations of Cow-Level Factors, Frequency of Feed Delivery, and Standing and Lying Behaviour of Dairy Cows Milked in an Automatic System. *Canadian Journal of Animal Science* 93 (4): 427–33. Disponible sur : <https://doi.org/10.4141/cjas2013-055>.
  27. **DESROCHERS A. et ANDERSON D.E. (2001).** Anatomy of the distal limb. *The Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 17 (1), pp. 25-38.
  28. **DEVRIES T.J, DEMING JA, RODENBURG J, SEGUIN G, LESLIE K.E, and H. W. BARKEMA. (2011).** Association of Standing and Lying Behavior Patterns and Incidence of Intramammary Infection in Dairy Cows Milked with an Automatic Milking System. *Journal of Dairy Science* 94 (8): 3845–55. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4032>.
  29. **DÖPFER D, BERGSTEN C, CRAMER G, NIELSEN P, EGGER-DANNER C, FIEDLER A, FJELDAAS T, and al. (2015).** Atlas ICAR Santé Des Onglons première édition. Disponible sur : [http://www.icar.org/Documents/ICAR\\_Claw\\_Health\\_Atlas.pdf](http://www.icar.org/Documents/ICAR_Claw_Health_Atlas.pdf)
  30. **EDUARDO JOSÉ GARBARINO (2004).** EFFECT OF LAMENESS ON OVARIAN ACTIVITY IN POSTPARTUM HOLSTEIN COWS.
  31. **ENGEL B. BRUIN G. ANDRE G. BUIST W (2003).** Assessment of observer performance in a subjective scoring system: Visual classification of the gait of cows. *J. Agric. Sci.* 2003; 140: 317-333.
  32. **ENTING H, KOOIJ D, DIJKHUIZEN A.A, HUIRNE R.B.M, and NOORDHUIZENSTASSEN E.N. (1997).** Economic Losses Due to Clinical Lameness in Dairy

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cattle. *Livestock Production Science* 49 (3): 259–67. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00051-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00051-1).
33. **ESPEJO L.A, ENDRES M.I, and SALFER J.A. (2006).** Prevalence of Lameness in High-Producing Holstein Cows Housed in Freestall Barns in Minnesota. *Journal of Dairy Science* 89 (8): 3052–58. Disponible sur : [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72579-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72579-6).
  34. **FAYE, B, and BARNOUIN J. (1988).** Les Boiteries Chez La Vache Laitière. *INRA Productions Animales*, 1 (4), pp. 227-234. <hal-00895836>.
  35. **FESSL, L. (1973):** Eine neue Schlagfessel für Rinder. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 80, 298-299.
  36. **Fitzgerald, T., B. W. Norton, R. Elliott, H. Podlich, and O. L. Svendsen. (2000).** The influence of long-term supplementation with biotin on the prevention of lameness in pasture fed dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:338–344.
  37. **FLOWER F.C, and WEARY D.M. (2006).** Effect of Hoof Pathologies on Subjective Assessments of Dairy Cow Gait. *Journal of Dairy Science* 89 (1): 139–46. Disponible sur : [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72077-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72077-X).
  38. **FLOWER F.C, SANDERSON D.J, and WEARY D.M. (2005).** Hoof Pathologies Influence Kinematic Measures of Dairy Cow Gait. *Journal of Dairy Science* 88 (9): 3166–73. Disponible sur : [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73000-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73000-9).
  39. **FOURICHON C., SEEGER H., BAREILLE N., BEAUDEAU F., (2001a).** *Evaluation des pertes et de l'impact économiques consécutifs aux principaux troubles de santé en élevage bovin laitier.* Rencontres Recherches Ruminants, 5-6 décembre, Paris, 8, 137-143.
  40. **FOURICHON C., SEEGER H., BEAUDEAU F., VERFAILLE L., BAREILLE N., (2001b).** *Health-control costs in dairy farming systems in western France.* *Livestock Production Science*, 68, 141-156.
  41. **FRANDSON RD, SPURGEON TL, (1992)** *Anatomy and physiology of Farm Animals*, 5th ed., Philadelphia; Lea & Febiger, 209-211.
  42. **FRANKENA K, SOMERS J.G.C.G, SCHOUTEN W.G.P, VAN STEK J.V, METZ J.H.M, STASSEN E.N, and GRAAT E.A.M. (2009).** The Effect of Digital Lesions and Floor Type on Locomotion Score in Dutch Dairy Cows. *Preventive Veterinary Medicine* 88 (2): 150–57. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2008.08.004>.
  43. **GALINDO FRANCISCO AND BROOM D.M. (2002).** The Effects of Lameness on Social and Individual Behavior of Dairy Cows. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 5 (3): 193–201. Disponible sur : [https://doi.org/10.1207/S15327604JAWS0503\\_03](https://doi.org/10.1207/S15327604JAWS0503_03).
  44. **GOMEZ A, and COOK N.B. (2010).** Time Budgets of Lactating Dairy Cattle in Commercial Freestall Herds. *Journal of Dairy Science* 93 (12): 5772–81. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3436>.
  45. **GRANT R.J and ALBRIGHT J.L. (2000).** Chapter 17 : Feeding Behaviour. In *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. CABI.
  46. **GRANT RJ (2011).** Where Does The Time Go ? Current Concepts in Time Budgeting for Dairy Cattle. William H. Miner Agricultural Research Institute.
  47. **GREEN L.E, HEDGES V.J, SCHUKKEN Y.H, BLOWEY R.W, and PACKINGTON A.J. (2002).** The Impact of Clinical Lameness on the Milk Yield of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 85 (9): 2250–56. Disponible sur : [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74304-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74304-X).
  48. **GREENOUGH PR (2002).** *Système Musculosquelettique : BOITERIE CHEZ LES BOVINS. LE MANUEL VÉTÉRINAIRE MERCK*, 2ème édition.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

49. **GREENOUGH PR (2007)**. Bovine Laminitis and Lameness. A hands-on approach. 1<sup>st</sup> edition Saunders Elsevier, Philadelphia, 311.
50. **GREENOUGH PR (2017)**. Risk Factors Involved in Herd Lameness of Cattle. Musculoskeletal System. Merck Veterinary Manual. 2017. Disponible sur : <http://www.merckvetmanual.com/musculoskeletal-system/lameness-incattle/risk-factors-involved-in-herd-lameness-of-cattle>.
51. **GROEHN, J. A., J. B. KANEENE, AND D. FOSTER. (1992)**. Risk factors associated with lameness in lactating dairy cattle in Michigan. *Prev. Vet. Med.* 14:77–85.
52. **GUATTEO R., DOUART A. et FORTINEAU O. (2013)**. Alimentation et santé du pied des bovins. *Point vétérinaire*, (Numéro spécial prévention nutritionnelle en élevage bovin), pp.7884. [http://www.angersnantes.inra.fr/var/angers\\_nantes/storage/htmlarea/BioEpaR/UMT/guide%20CASDAR%20boiterie.pdf](http://www.angersnantes.inra.fr/var/angers_nantes/storage/htmlarea/BioEpaR/UMT/guide%20CASDAR%20boiterie.pdf).
53. **GUSTAV ROSENBERGER (1977)**. Dr. med. vet. habil., Dr. med. vet. h.c. mult., Professeur Directeur de la clinique des maladies du Bétail Ecole Vétérinaire de Hanovre (Examen clinique des bovins). LES ÉDITIONS DU POINT VÉTÉRINAIRE 12 rue de Marseille 94700 Maisons-Aifort
54. **HERNANDEZ J, SHEARER J.K, and WEBB D.W. (2001)**. Effect of Lameness on the Calving-to-Conception Interval in Dairy Cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 218 (10): 1611–14.
55. **HERNANDEZ J, SHEARER J.K, and WEBB D.W. (2002)**. Effect of Lameness on Milk Yield in Dairy Cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 220 (5): 640–44. Disponible sur : <https://doi.org/10.2460/javma.2002.220.640>.
56. **HOFFMAN A.C, MOORE D.A, VANEGAS J, and WENZ J.R. (2014)**. Association of Abnormal Hind-Limb Postures and Back Arch with Gait Abnormality in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 97 (4): 2178–85. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7528>.
57. **ITO K, VON KEYSERLINGK M.A.G, LEBLANC S.J, and WEARY D.M. (2010)**. Lying Behavior as an Indicator of Lameness in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 93 (8): 3553– 60. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2951>.
58. **KESTIN SC, KNOWLES TG, TINCH AE, GREGORY NG (1992)**. Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. *Veterinary Record* 1992; 131:190-194.
59. **KING M.T.M, LEBLANC S.J, PAJOR E.A, and DEVRIES T.J. (2017)**. Cow-Level Associations of Lameness, Behavior, and Milk Yield of Cows Milked in Automated Systems. *Journal of Dairy Science* 100 (6): 4818–28. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12281>.
60. **KOSSAIBATI M.A, and ESSLEMONT R.J. (1997)**. The Costs of Production Diseases in Dairy Herds in England. *Veterinary Journal (London, England: 1997)* 154 (1): 41–51.
61. **LEACH K.A, DIPPEL S, HUBER J, MARCH S, WINCKLER C, and WHAY H.R. (2009)**. Assessing Lameness in Cows Kept in Tie-Stalls. *Journal of Dairy Science* 92 (4): 1567–74. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1648>.
62. **LISCHER CJ, OSSENT P, RÄBER M, GEYER H, (2002)**. Suspensory structures and supporting tissues of the third phalanx of cows and their prevalence to the development of typical sole ulcers. *The Veterinary Record*, 151, (23), 694-698.
63. **MAERTENS W, VANGHEYTE J, BAERT J, JANTUAN A, MERTENS K.C, DE CAMPENEERE S, PLUK A, OPSOMER G, VAN WEYENBERG S, and VAN NUFFEL A. (2011)**. Development of a Real Time Cow Gait Tracking and Analysing Tool to Assess Lameness Using a Pressure Sensitive Walkway: The GAITWISE System. *Biosystems Engineering* 110 (1): 29–39. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.06.003>.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

64. **MANSKE T., HULTGREN J. et BERGSTEN C., (2002).** Prevalence and interrelationships of hoof lesions and lameness in Swedish dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine*, 54 (3), pp. 247–263.
65. **MANSON, F. J., AND J. D. LEAVER. (1988).** The influence of dietary protein intake and of hoof trimming on lameness in dairy cattle. *Anim. Prod.* 47:191–199.
66. **MELLENDEZ P, BARTOLOME J, ARCHBALD L.F, and DONOVAN A. (2003).** The Association between Lameness, Ovarian Cysts and Fertility in Lactating Dairy Cows. *Theriogenology* 59 (3–4): 927–37.
67. **MIGUEL-PACHECO, G. G., J. KALER, J. REMNANT, L. CHEYNE, C. ABBOTT, A. P. FRENCH, T. P. PRIDMORE, AND J. N. HUXLEY. (2014.)** Behavioural changes in dairy cows with lameness in an automatic milking system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 150:1–8.
68. **MOL, DE R.M, ANDRÉ G, BLEUMER E.J.B, VAN DER WERF J.T.N, DE HAAS Y, and VAN REENEN C.G. (2013).** Applicability of Day-to-Day Variation in Behavior for the Automated Detection of Lameness in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 96 (6): 3703–12. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6305>.
69. **MONTMEAS L, OURLIAC C, PRODHOMME J, PUCELLE L, (2006)** Manipulations et interventions sur les bovins. 2<sup>nde</sup> édition Educagri, Dijon, 184p.
70. **MORRIS M.J, WALKER S.L, JONES D.N, ROUTLY J.E, SMITH R.F, and DOBSON H. (2009).** Influence of Somatic Cell Count, Body Condition and Lameness on Follicular Growth and Ovulation in Dairy Cows. *Theriogenology* 71 (5): 801–6. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.10.001>.
71. **MÜLLING C.K.W. (2012).** Functional anatomy of the bovine foot - failure of key structures in pathogenesis of claw disease. In : *Proceedings of the Cattle Lameness Conference, 2012, Sixways, Worcester.* Royal Veterinary College, The Dairy Group and University of Nottingham, pp. 9-17. [en ligne], <http://www.cattlelamenessconference.org.uk/CLC2012proceedings.pdf> (consulté le 16.07.2018).
72. **NOCEK J.E. (1997).** Bovine Acidosis: Implications on Laminitis. *Journal of Dairy Science* 80 (5): 1005–28. Disponible sur : [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76026-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76026-0).
73. **O'CALLAGHAN K.A, CRIPPS P.J, DOWNHAM D.Y, and MURRAY R.D. (2003).** Subjective and Objective Assessment of Pain and Discomfort Due to Lameness in Dairy Cattle. *Animal Welfare* 12 (4): 605–10.
74. **ONYIRO O.M, and BROTHERSTONE S. (2008).** Genetic Analysis of Locomotion and Associated Conformation Traits of Holstein-Friesian Dairy Cows Managed in Different Housing Systems. *Journal of Dairy Science* 91 (1): 322–28. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0514>.
75. **PASTELL M, KUJALA M, AISLA A.M, HAUTALA M, POIKALAINEN V, PRAKS J, VEERMÄE I, and AHOKAS J. (2008).** Detecting Cow's Lameness Using Force Sensors. *Computers and Electronics in Agriculture, Smart Sensors in precision livestock farming*, 64 (1): 34–38. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.007>.
76. **PASTELL M, TIUSANEN J, HAKOJÄRVI M, and HÄNNINEN L. (2009).** A Wireless Accelerometer System with Wavelet Analysis for Assessing Lameness in Cattle. *Biosystems Engineering* 104 (4): 545–51. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.09.007>.
77. **RAJKONDAWAR P.G. LIU M. DYER R.M. NEERCHAL N.K. TASCH U. LEFCOURT A.M. EREZ B (2006).** Varner M.A. Comparison of models to identify lame cows based on locomotion and lesion scores, and limb movement variables. *J. Dairy Sci.* 2006; 89: 4267-4275

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

78. **RANDHAWA S.S, DUA K, DHALI WAL P.S, UPPAL S.K, and SINGH S.T. (2008).** Effect of Formalin Footbathing on the Prevalence of Foot Lesions and Conformational Indices in Dairy Cattle. *The Veterinary Record* 163 (11): 335–37.
79. **RUSHEN J., (2001).** *Assessing the welfare of dairy cattle.* *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 4, 223-234.
80. **SADIQ M.B., RAMANOON S., SHAIK MOSSADEQ W., MANSOR R. et SYED-HUSSAIN S. (2017).** Association between Lameness and Indicators of Dairy Cow Welfare Based on Locomotion Scoring, Body and Hock Condition, Leg Hygiene and Lying Behavior. *Animals* [en ligne]. 7 (12). Disponible sur <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5704108/> (consulté le 16.07.2018).
81. **SCHLAGETER-TELLO A, BOKKERS E.A.M, GROOT KOERKAMP P.W.G, VAN HERTEM T, VIAZZI S, ROMANINI C.E.B, HALACHMI I, BAHR C, BERCKMANS D, and LOKHORST K. (2014).** Manual and Automatic Locomotion Scoring Systems in Dairy Cows: A Review. *Preventive Veterinary Medicine* 116 (1–2): 12–25. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.06.006>.
82. **SEEGERS, H, N. BAREILLE1, R. GUATTEO1, A. JOLY1,, A. CHAUVIN1,, C. CHARTIER, S. NUSINOVICI, C. PEROZ, P. ROUSSEL , F. BEAUDEAU, N. RAVINET, A. RELUN, A.-F. TAUREL, C. FOURICHON (2013) :** Epidémiologie et leviers pour la maîtrise de la santé des troupeaux bovins laitiers : approche monographique pour sept maladies majeures. *INRA Prod. Anim.*, 2013, 26 (2), 157-176
83. **SOGSTAD, A. M., T. FJELDAAS, O. ØSTERAS, AND K. P. FORSHELL. (2005).** Prevalence of claw lesions in Norwegian dairy cattle housed in tie stalls and free stalls. *Prev. Vet. Med.* 70:191–209.
84. **SPRECHER D.J, HOSTETLER D.E, and KANEENE J.B. (1997).** A Lameness Scoring System That Uses Posture and Gait to Predict Dairy Cattle Reproductive Performance. *Theriogenology* 47 (6): 1179–87.
85. **STANKOV K. (2014).** Effect of lameness on economic parameters in Holstein-Friesian cows. *The Malopolska School of Economics in Tarnow Resarch Papers Collection* [en ligne]. , 25 (2). Disponible sur <http://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.desklight-8957a8ef-5ca9-40bd-91a0-b0b922c122cb> (consulté le 16.07.2018).
86. **THOMSEN PT (2009).** Rapid screening method for lameness in dairy cows. *Veterinary Record* 164, 689–690.
87. **THOMSEN PT, MUNKSGAARD L AND TØGERSEN FA (2008).** Evaluation of a lameness scoring system for dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91, 119–126.
88. **THORUP V.M, NIELSEN B.L, ROBERT P.E, GIGER-REVERDIN S, KONKA J, MICHIE C, and FRIGGENS N.C. (2016).** Lameness Affects Cow Feeding But Not Rumination Behavior as Characterized from Sensor Data. *Frontiers in Veterinary Science* 3 (May). Disponible sur : <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00037>.
89. **TOCZE C., 2006.** *Bien-être des vaches laitières : fréquences de boiteries dans différents systèmes de logement et facteurs de risque impliqués.* Th Méd Vét : Nantes 181p.
90. **TOMLINSON D.J., MÜLLING C.H. et FAKLER T.M. (2004).** Invited review: formation of keratins in the bovine claw: roles of hormones, minerals, and vitamins in functional claw integrity. *Journal of Dairy Science*, 87 (4), pp. 797–809.
91. **TOUSSAINT RAVEN E, (1976)** Mesure de la répartition de la charge au niveau des membres arrières des bovins *Point Vétérinaire*, 18, (4), 29-31
92. **TOUSSAINT RAVEN E. (1985).** *Cattle Footcare and Claw Trimming.* Farming Presse Ltd.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

93. **TOUSSAINT RAVEN E. (1992).** *Soins des onglons des bovins - parage fonctionnel*. Collège de Technologie Agricole et Alimentaire d'Alfred, 1<sup>ère</sup> Ed, Ontario, p. 128
94. **TUYTTENS, M. SPRENGER, A. VAN NUFFEL, W. MAERTENS, S. VAN DONGEN (2009):** Reliability of categorical versus continuous scoring of welfare indicators: Lameness in cows as a case study *Anim. Welf.*, 18 (2009), pp. 399-405.
95. **VAN AMSTEL S.R. et SHEARER J.K. (2006).** Horn Formation and Growth. In : *Manual for treatment and control of lameness in cattle*. 1st ed. Ames, Iowa : Blackwell Pub. pp. 16-30.
96. **VAN DE GUCHT T, SAEYS W, VAN NUFFEL A, PLUYM L, PICCART K, LAUWERS L, VANGEYTE J, and VAN WEYENBERG S. (2017).** Farmers' Preferences for Automatic Lameness-Detection Systems in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 100 (7): 5746–57. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12285>.
97. **VAN DER TOL PPJ, METZ JMH, NOORDHUISEN-STASSEN EN, BACK W, BRAAM CR, WEIJS WA, (2002)** The Pressure Distribution Under the Bovine Claw During Square Standing on a Flat Substrate *J. Dairy Sci.* 85 (6), 1476-1481.
98. **VAN NUFFEL A, ZWERTVAEGHER I, VAN WEYENBERGS, PASTELL M, THORUP V.M, BAHR C, SONCK B, and SAEYS W. (2015).** Lameness Detection in Dairy Cows: Part 2. Use of Sensors to Automatically Register Changes in Locomotion or Behavior. *Animals : An Open Access Journal from MDPI* 5 (3): 861–85. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/ani5030388>.
99. **VERMUNT J.J. et GREENOUGH P.R. (1995).** Structural characteristics of the bovine claw: horn growth and wear, horn hardness and claw conformation. *British Veterinary Journal*, 151 (2), pp. 157–180.
100. **VOKEY FJ, C.L. Guard, H.N. Erb, D.M. Galton (2001).** Effects of alley and stall surfaces on indices of claw and leg health in dairy cattle housed in a freestall barn. *J. Dairy Sci.*, 84 (2001), pp. 2686-269.
101. **WEBER A, STAMER E, JUNGE W, and THALLER G. (2013).** Genetic Parameters for Lameness and Claw and Leg Diseases in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 96 (5): 3310–18. Disponible sur : <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6261>.
102. **WELLS S.J., TRENT A.M., MARSH W.E., ROBINSON R.A. (1993).** Prevalence and severity of lameness in lactating dairy cows in a sample of Minnesota and Wisconsin herds. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 1:78-82.
103. **WHAY H.R, and SHEARER J.K. (2017).** The Impact of Lameness on Welfare of the Dairy Cow. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, Lameness in Cattle*, 33 (2): 153–64. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.02.008>.
104. **WINCKLER, C., and S. WILLEN. (2001).** The reliability and repeatability of a lameness scoring system for use as an indicator of welfare in dairy cattle. *Acta Agri. Scand. A (Suppl. 30):*103–107.
105. **ZURBRIGG K, KELTON D, ANDERSON N, and MILLMAN S. (2005).** Tie-Stall Design and Its Relationship to Lameness, Injury, and Cleanliness on 317 Ontario Dairy Farms. *Journal of Dairy Science* 88 (9): 3201–10. Disponible sur : [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73003-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73003-4).