

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2021 - Thèse n° 096

**PRE-ESSAI DE CONTRÔLE DE LA
DERMATITE DIGITEE EN ELEVAGE
BOVIN LAITIER PAR PEDILUVE SEC A
L'ARGILE VERTE DU VELAY ®**

THESE

Présentée à Vetagro Sup
Campus vétérinaire de Lyon

Et soutenue publiquement le 19 novembre 2021
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

JOBIN Charline

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2021 - Thèse n° 096

**PRE-ESSAI DE CONTRÔLE DE LA
DERMATITE DIGITEE EN ELEVAGE
BOVIN LAITIER PAR PEDILUVE SEC A
L'ARGILE VERTE DU VELAY ®**

THESE

Présentée à Vetagro Sup
Campus vétérinaire de Lyon

Et soutenue publiquement le 19 novembre 2021
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

JOBIN Charline

LISTE DU CORPS ENSEIGNANT

ABITBOL	Marie	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	DEPT -BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ARCANGIOLI	Marie-Anne	DEPT -ELEVAGE-SPV	Professeur
AYRAL	Florence	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BECKER	Claire	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BELLUCO	Sara	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENAMOU-SMITH	Agnès	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENOIT	Etienne	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
BERNY	Philippe	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
BONNET -GARIN	Jeanne-Marie	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
BOULOCHER	Caroline	DEPT -BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BOURDOISEAU	Gilles	DEPT -ELEVAGE-SPV	Professeur émérite
BOURGOIN	Gilles	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BRUYERE	Pierre	DEPT -BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BUFF	Samuel	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
BURONFOSSE	Thierry	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
CACHON	Thibaut	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CADORÉ	Jean-Luc	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CALLAIT -CARDINAL	Marie-Pierre	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
CAROZZO	Claude	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CHABANNE	Luc	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CHALVET -MONFRAY	Karine	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
DE BOYER DES ROCHES	Alice	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
DELIGNETTE -MULLER	Marie-Laure	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
DJELOUADJI	Zorée	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
ESCRIOU	Catherine	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
FRIKHA	Mohamed-Ridha	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GALIA	Wessam	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GILOT -FROMONT	Emmanuelle	DEPT -ELEVAGE-SPV	Professeur
GONTHIER	Alain	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GRANCHER	Denis	DEPT -BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
GREZEL	Delphine	DEPT -BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
HUGONNARD	Marine	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
JUNOT	Stéphane	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
KODJO	Angeli	DEPT -ELEVAGE-SPV	Professeur
KRAFFT	Emilie	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
LAABERKI	Maria-Halima	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LAMBERT	Véronique	DEPT -BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LE GRAND	Dominique	DEPT -ELEVAGE-SPV	Professeur
LEBLOND	Agnès	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LEDOUX	Dorothee	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LEFEBVRE	Sébastien	DEPT -BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	DEPT -BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LEGROS	Vincent	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LEPAGE	Olivier	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LOUZIER	Vanessa	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
MARCHAL	Thierry	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOISSONNIER	Pierre	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOSCA	Marion	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
MOUNIER	Luc	DEPT -ELEVAGE-SPV	Professeur
PEPIN	Michel	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
PIN	Didier	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PONCE	Frédérique	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PORTIER	Karine	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
POUZOT -NEVORET	Céline	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
PROUILLAC	Caroline	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
REMY	Denise	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
RENE MARTELLET	Magalie	DEPT -ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
ROGER	Thierry	DEPT -BASIC-SCIENCES	Professeur
SAWAYA	Serge	DEPT -BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
SCHRAMME	Michael	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
SERGENTET	Delphine	DEPT -ELEVAGE-SPV	Professeur
THIEBAULT	Jean-Jacques	DEPT -BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
TORTEREAU	Antonin	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
VIGUIER	Eric	DEPT -AC-LOISIR-SPORT	Professeur
ZENNER	Lionel	DEPT -ELEVAGE-SPV	Professeur

La reproduction d'extraits est autorisée avec mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée comme suit :

JOBIN C. (2021).

Le défaut de citation est considéré comme du plagiat. Ce dernier est puni par la loi française et possible de sanction allant jusqu'à 3 ans d'emprisonnement et 300 000 euros d'amende.

REMERCIEMENTS

A Monsieur BOSCHETTI Gilles

Professeur à la faculté de médecine de Lyon

Pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse,
Remerciements respectueux.

A Madame ARCANGIOLI Marie-Anne

Professeur à Vetagro Sup, Campus vétérinaire de Lyon

Pour avoir pris la direction de cette thèse,
Pour votre implication et votre aide constante,
Pour votre esprit de synthèse et votre disponibilité sans failles,
Je vous prie de recevoir l'expression de ma reconnaissance sincère.

A Madame LEDOUX Dorothée

Maître de conférences à Vetagro Sup, Campus vétérinaire de Lyon

Pour m'avoir fait l'honneur de votre présence dans ce jury,
Sincères remerciements.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES FIGURES.....	8
TABLE DES TABLEAUX.....	9
TABLE DES ANNEXES.....	9
LISTE DES ABBREVIATIONS.....	9
Introduction générale.....	11
1 Partie bibliographique : la dermatite digitée.....	12
1.1 Historique.....	12
1.1.1 Description macroscopique.....	12
1.1.2 De l'étiologie des lésions.....	13
1.2 Modalités d'infection.....	15
1.3 Expression clinique.....	16
1.3.1 Symptômes généraux.....	16
1.3.2 Symptômes locaux.....	16
1.3.2.1 Notation des lésions.....	16
1.3.2.2 Evolution de la maladie.....	19
1.3.2.3 Histopathologie des lésions.....	20
1.1 Facteurs de risque.....	23
1.1.1 A l'échelle de l'élevage : environnement et pratique d'élevage.....	23
1.1.1.1 Région/climat/saison.....	23
1.1.1.2 Logement.....	23
1.1.1.3 Hygiène du pied.....	24
1.1.1.4 Parage.....	24
1.1.1.5 Achat et taille du troupeau.....	25
1.1.1.6 Prévalence initiale.....	25
1.1.1.7 Alimentation.....	25
1.1.2 A l'échelle de l'individu.....	26
1.1.2.1 Race et génétique.....	26
1.1.2.2 Immunité.....	26
1.1.2.3 Parité.....	27
1.1.2.4 Stade de lactation.....	27
1.1.2.5 Aplombs.....	28
1.1.2.6 Qualité du pied.....	28
1.1.2.7 Note d'état corporel.....	28
1.1.2.8 Maladies intercurrentes.....	29

1.1.2.9	Personnalité/comportement.....	29
1.1.3	Conclusion	29
1.2	Contrôle de la dermatite digitée dans un contexte d'éradication impossible.....	30
1.2.1	Les produits thérapeutiques	30
1.2.1.1	Les antibiotiques	30
1.2.1.2	Désinfectants ou autres bactéricides	31
1.2.1.3	Thérapeutiques autres	32
1.2.2	Les différentes voies d'application et choix de celles-ci	33
1.2.3	Contrôle des facteurs de risque	34
1.2.4	Conduite conseillée pour le contrôle de la dermatite digitée.....	34
1.3	Prévention de la maladie.....	36
	Conclusion	36
2	Etude expérimentale	37
2.1	Matériels et méthode.....	39
2.1.1	Population et échantillon d'étude.....	39
2.1.1.1	Critères de recrutement de l'élevage.....	39
2.1.1.2	Critères de sélection des animaux dans le troupeau	40
2.1.1.3	Allocation dans les différents lots	40
2.1.2	Design de l'étude.....	41
2.1.3	Sélection des données de collecte	42
2.1.4	Suivi lésionnel.....	42
2.1.4.1	Notation de la propreté des membres.....	42
2.1.4.2	Données pouvant influencer la prévalence de la dermatite digitée.....	43
2.1.5	Collecte des données : déroulement des visites	44
2.1.6	Protocole expérimental.....	44
2.1.6.1	Caractéristiques de l'argile verte du Velay®	44
2.1.6.2	Modalités de traitement en pédiluve.....	45
2.1.6.2.1	Le pédiluve	45
2.1.6.2.2	Protocole	45
2.1.6.3	Modalités de traitement individuel.....	46
2.1.7	Stratégies d'analyse des données descriptives	47
2.1.7.1	Vérification de l'homogénéité des groupes : facteurs de variation qualitatifs.....	47
2.1.7.2	Analyse des données descriptives pour l'étude de l'efficacité du produit	47
2.2	Résultats	49
2.2.1	Echantillon d'étude	49

2.2.1.1	Présentation de l'élevage recruté	49
2.2.1.2	Présentation des échantillons	50
2.2.1.2.1	Comparaison lot témoin – lot expérimental	50
2.2.1.3	Présentation des échantillons d'étude préventive et curative	51
2.2.2	Résultats de l'analyse des données descriptive sur la dynamique de la dermatite digitée.....	52
2.2.2.1	Etude de la prévalence globale (pieds initialement sains et atteints confondus)	52
2.2.2.2	Etude de l'incidence de la maladie dans l'échantillon de pieds initialement sains ..	53
2.2.2.3	Résultats de l'étude descriptive sur l'efficacité curative.....	53
2.2.2.4	Résultats du parage	56
2.2.2.5	Résultat sur la production laitière	57
2.3	Discussion	59
2.3.1	Résultats de l'étude.....	59
2.3.2	Difficultés à la réalisation et interprétation de l'étude.....	60
2.3.3	Explications potentielles de l'absence de résultat positif pour l'argile verte du Velay®	61
2.3.3.1	Mauvaise représentativité du troupeau vis-à-vis du problème	62
2.3.3.2	Les biais	63
2.3.3.3	Conditions d'application de l'argile inappropriées	64
2.3.4	Perspectives.....	64
2.3.4.1	Perspectives pour le produit	64
2.3.4.2	Perspectives pour l'étude.....	64
	CONCLUSION	67
	BIBLIOGRAPHIE.....	69
	ANNEXES.....	74

TABLE DES FIGURES

Figure 1 - Différents aspects de lésions actives de dermatite digitée (vue de la face dorsale du pied entre les bulbes du talon) - Photos personnelles.....	12
Figure 2 - Microscopie électronique à transmission montrant de nombreux spirochètes dans une lésion active de dermatite digitée. D'après B.-K. Choi [15].....	13
Figure 3 – Pourcentage de chaque phylotype de tréponèmes en fonction du stade lésionnel d'après Krull et al. [11] avec mise en évidence des phylotypes majeurs selon les stades lésionnels	14
Figure 4 - Illustration du M-scoring system d'après [34].....	19
Figure 5 - Evolution du score lésionnel de la dermatite digitée (source : ICARE Claw Health Atlas – Appendix 1 – Digital dermatitis stages (M-stages) [48]	20
Figure 6 - Rappel de la structure du derme et de l'épiderme d'après [39].....	21
Figure 7 - Biopsie de peau d'une lésion ulcérate de grade M2 d'après Moreira et al. [19]	22
Figure 8 - Schéma de classification des animaux en vue de l'allotement	40
Figure 9 - Design de l'étude de traitement collectif à l'argile verte du Velay (V=visite).....	41
Figure 10 - Grille de notation de la propreté des membres de bovins d'après [82].....	43
Figure 11 - Les 3 pédiluves alignés dans le couloir de sortie (avant rectification du niveau d'argile) .	45
Figure 12 – Système de lavage de la face plantaire du pied par les buses d'éjection (flèches rouges), installées sur le robot de traite	46
Figure 13 - Evolution de la prévalence en stade actif sur les pieds arrière dans le lot témoin et le lot traité au cours du suivi	52
Figure 14 - Evolution de la prévalence des lésions de DD tout stade confondu sur les pieds arrière dans le lot témoin et le lot traité au cours du suivi.....	53
Figure 15 - Evolution du score lésionnel moyen au cours du suivi et visualisation des différentes évolutions.....	54
Figure 16 - Statut de l'évolution lésionnel comparé après 53 jours et 122 jours d'étude.....	55
Figure 17 - Photographie de la face palmaire d'un pied après parage à V1	56
Figure 18 - Photographie de pieds de vache dans l'élevage d'étude.....	57
Figure 19 - Production laitière journalière moyenne au cours de l'étude en fonction de la production journalière moyenne sur les 7 jours précédents l'étude	58
Figure 20 - Production laitière journalière au cours de l'étude	58

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Présentation de l'élevage recruté (<i>*paille hachée parsemée sur le matelas</i>).....	49
Tableau 2 - Particularités des lots témoin et traité.....	50
Tableau 3 – Principales caractéristiques de l'échantillon de l'étude sur l'effet préventif et de l'échantillon de l'étude sur l'effet curatif.....	51
Tableau 4 - Fréquence d'apparition de lésions dans le lot traité et le lot témoin selon le nombre de passages en pédiluves.....	53
Tableau 5 - Résultat des tests de Fisher sur la différence entre les fréquences d'effet positif au niveau du lot témoin et du lot traité.....	54
Tableau 6 - Résultats des tests de Fisher sur la différence entre les fréquences d'effet positif d'une période à l'autre au sein d'un même lot (témoin ou traité)	55
Tableau 7 - Table de contingence de l'évolution lésionnelle à 53 jours en fonction du traitement	56
Tableau 8 - Table de contingence de l'évolution lésionnel à 122 jours en fonction du traitement	56

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 - Fiche caractéristique de l'argile verte du Velay	74
---	----

LISTE DES ABBREVIATIONS

Ac anticorps

DD dermatite digitée

IL8 interleukine 8

PL production laitière

V1 première visite de l'élevage

V2 deuxième visite de l'élevage après 53 jours d'étude soit 4 périodes de passages en pédiluve

V3 troisième visite de l'élevage après 122 jours d'étude soit 9 périodes de passages en pédiluve

VL vache laitière

Introduction générale

L'intensification de l'élevage ces dernières années a conduit à l'agrandissement des troupeaux et des bâtiments, avec une adaptation des pratiques d'élevage vers plus de mécanisation et une modification des bâtiments. Les stabulations libres se sont développées au profit de la facilité de travail des éleveurs, de la liberté et des activités sociales des bovins.

Dans le même temps, la prévalence des boiteries n'a fait qu'augmenter avec une multiplication des facteurs de risque comme l'augmentation de l'effectif, l'achat d'animaux, la surface bétonnée, le volume important d'effluents... [1]. Par ailleurs, l'évolution sociétale impose la prise en compte de ces boiteries pour des questions de bien-être animal. Au-delà du bien-être animal, l'éleveur se doit de gérer les boiteries dans son élevage car elles sont la cause de pertes économiques importantes, aussi bien directes (production diminuée, baisse de performances de reproduction) qu'indirectes (coût de traitement, dépréciation de carcasses, réforme précoce).

Chez les bovins 90% des boiteries sont d'origine podale. Parmi les causes, la dermatite digitée, une maladie infectieuse poly-bactérienne, est fréquemment identifiée. Elle a été décrite pour la première fois en Italie en 1974 par Cheli et Mortellaro [2], comme une maladie affectant l'épiderme de la peau de la couronne du pied, au-dessus des talons surtout. Sa prévalence est en augmentation constante, de façon endémique sur l'ensemble du continent, partout où il y a de l'élevage de bovins laitiers [3]. Causant des dommages cutanés importants par ulcération, nécrose et donc douleur, elle constitue désormais un réel fléau pour l'économie et le bien être en élevage, d'autant plus qu'elle favorise/accompagne d'autres maladies de pied [4]. Les facteurs de risque sont liés principalement à l'hygiène du pied, et plus généralement du bâtiment. Comme toute maladie contagieuse, elle s'installe à l'occasion d'un achat de nouveaux animaux, ou de nouveaux bâtiments ou pâtures. De nombreuses approches thérapeutiques ont été étudiées, avec un focus spécifique sur des traitements collectifs notamment par le moyen de pédiluves dont les produits restent d'usage controversé et limité, pour des raisons de toxicité environnementale, humaine, voire de contribution à l'antibiorésistance [5]. Les perspectives de contrôle deviennent de plus en plus limitées alors même que la maladie continue de progresser.

D'autres voies thérapeutiques doivent être trouvées en prenant en compte les facteurs limitants que sont le temps disponible de l'éleveur, le coût du traitement et sa facilité de mise en place au sein d'un élevage [6]. Dans cette étude nous avons étudié l'efficacité de l'argile verte du Velay® sur la prévention et le traitement des lésions de dermatite digitée dans un élevage laitier.

Dans ce travail, après une étude bibliographique sur la Maladie de Mortellaro ou dermatite digitée des bovins, nous présentons et discutons les résultats d'efficacité préventive et curative de l'argile verte du Velay®, obtenus lors d'un premier essai réalisé durant l'hiver 2019.

1 Partie bibliographique : la dermatite digitée

Tout d'abord nous allons présenter la dermatite digitée (DD) et son étiologie, travail entrepris depuis près de 40 ans et qui n'a pas encore permis de tout élucider. Nous étudierons ensuite le mode d'infection et les facteurs de risque du développement de la maladie. L'expression clinique de la DD avec les symptômes généraux, symptômes locaux et la notation des lésions seront décrits. Les moyens actuellement envisagés dans le contrôle de la maladie finissent cette analyse de la littérature.

1.1 Historique

Après la première description de la maladie en Italie nous allons retracer le long travail porté sur l'étiologie de la maladie ; travail corroboré par la microscopie électronique et la métagénomique. De nombreuses choses restent encore à élucider par rapport à l'étiopathogénie.

1.1.1 Description macroscopique

Les lésions de dermatite digitée ont été décrites pour la première fois en 1974 par Cheli et Mortellaro comme une maladie des bovins responsable d'ulcérations douloureuses au toucher sur la bande coronaire [2]. C'est une maladie qui affecte l'épiderme podal, parfois le derme et les lésions se reconnaissent par leur aspect ulcératif et leur couleur rouge à grise.

Elles sont identifiées à la jonction entre la corne et la peau du boulet ou de de la couronne, le plus souvent entre les bulbes du talon mais aussi face dorsale ou latérale du pied au niveau du bourrelet coronaire [7] ou dans l'espace interdigité au sommet d'une excroissance [8]. Différentes présentations sont exposées au travers de la *Figure 1*.

Les pieds postérieurs sont les plus souvent atteints avec une proportion de 80 à 90% [9].



Figure 1 - Différents aspects de lésions actives de dermatite digitée (vue de la face dorsale du pied entre les bulbes du talon) - Photos personnelles

1.1.2 De l'étiologie des lésions

Ces dernières années de recherche ont permis de montrer grâce à des isolat d'ADN, des mises en culture, ou une réponse positive aux antibiotiques, que la maladie était polymicrobienne avec comme agent causal principal les tréponèmes [10], [11]. Le microbiote d'une peau saine a bien été montré comme différent du microbiote d'une peau lésée par une large modification dans les proportions de chaque phylum bactérien [11].

En 1995, Walker *et al.* ont identifié deux groupes phénotypiques du genre tréponème dans les lésions de dermatite digitée grâce à la microscopie électronique [12]. C'est à l'heure où l'étiologie de la maladie n'est pas encore bien connue, mais où l'on suppose qu'elle est bactérienne étant donné la réponse positive aux antibiotiques et l'omniprésence de bactéries au sein des lésions en microscopie. Ces bactéries observées sont notamment des bactéries appartenant au genre des spirochètes **Figure 2** (les plus présentes), identifiées dans la couche épineuse de l'épiderme et la papille dermique ([12] cité dans [13], [14]).

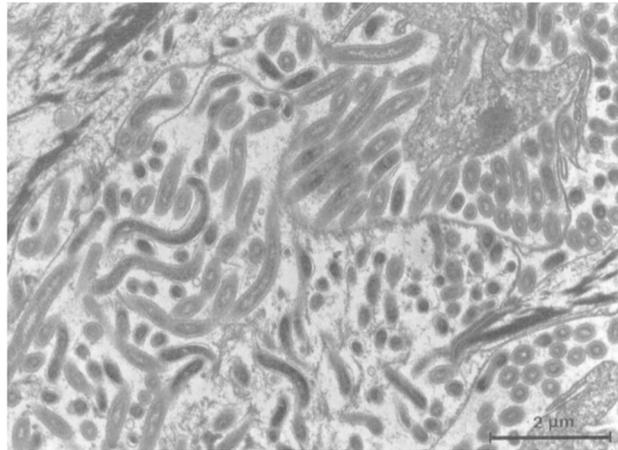


Figure 2 - Microscopie électronique à transmission montrant de nombreux spirochètes dans une lésion active de dermatite digitée. D'après B.-K. Choi [15].

Choi *et al.* [15] complètent ce travail en 1997 avec une analyse phylogénétique par analyse comparée des séquences de l'ARN 16S : ils identifient les groupes *Treponema* (*T.*) *phagedenis*-like, *T.denticola/pudutum*-like/*pedis*-like, *T.vincentii*-like. Avec la technique de FISH (hybridation *in situ* en fluorescence), ils mettent ensuite en évidence des proportions différentes de chaque phylotype pour chaque grade lésionnel. D'autres études ont aussi montré la présence d'autres types phylogénétiques de tréponèmes [10], notamment le groupe de *T. refringens* [16], *T. maltophilum* et *paraluiscuniculi* [17].

Depuis cette époque, le genre *Treponema* est considéré comme l'agent causal majeur de la maladie du fait de son omniprésence dans les analyses de tissus, le séquençage moléculaire, ou l'isolement bactérien (Ces bactéries peuvent atteindre jusque 90% de la population bactérienne selon [16]). Les espèces les plus communément identifiées sont *Treponema phagedenis*, *T. medium*, *T. refringens*, *T. denticola*, et *T. pedis*. Cependant en aucun

cas on arrive à reproduire la maladie seulement avec des tréponèmes [8]. Diverses autres espèces bactériennes sont vraisemblablement impliquées dans la pathogénèse de la maladie étant donné leur présence et leur abondance dans les lésions de DD : *Acholeplasma*, *Bacteroides*, *Campylobacter*, *Dichelobacter nodosus*, *Fusobacterium necrophorum*, *Mycoplasma fermentans*, *Porphyromonas levii* [15], [16], [17], [16], [18]. Cependant d'une étude à l'autre, les genres les plus fréquemment identifiés après le genre *treponema* divergent [10]. On ne sait pas si ces différences majeures entre études métagénomiques sont dues à des différences dans le processus de séquençage, dans la taille des échantillons ou si le microbiote des lésions de DD diffère réellement d'un élevage à un autre. Toutes les études s'accordent cependant pour dire que les genres bactériens diffèrent d'une peau saine à celle d'une peau atteinte de DD. Si certaines études ont montré un enrichissement de la diversité bactérienne [10], d'autres ont montré un appauvrissement en faveur du développement des tréponèmes [11], la question reste ainsi toujours de savoir s'il s'agit d'une cause de la maladie ou d'une conséquence.

Les études plus récentes se focalisent désormais sur le rôle dans la formation et la progression des lésions de chacun de ces tréponèmes et des bactéries anaérobies qui s'y additionnent [19]. Parmi les diverses familles bactériennes, c'est la famille des *Spirochaetaceae* (représentée exclusivement par des tréponèmes) qui subit la plus forte hausse avec un passage de 1,3% de la population bactérienne sur un stade M0 (peau saine) à une représentation de 94,3% de la population au stade M2 (lésion aiguë) [11]. Cependant il existe une large variété de phylotypes de tréponèmes, mais la présence et la dynamique de chacune varient d'une étude à l'autre [11], [20]. Par exemple Krull *et al.* ont montré au stade M2 un fort développement du groupe *T.denticola/pedis-like* (Figure 3, stade indiqué par un trait gris) alors qu'au stade M4 on retrouve plutôt le groupe des *refringens-like* (PT1,2,3...) (Figure 3, stade indiqué par un trait noir).

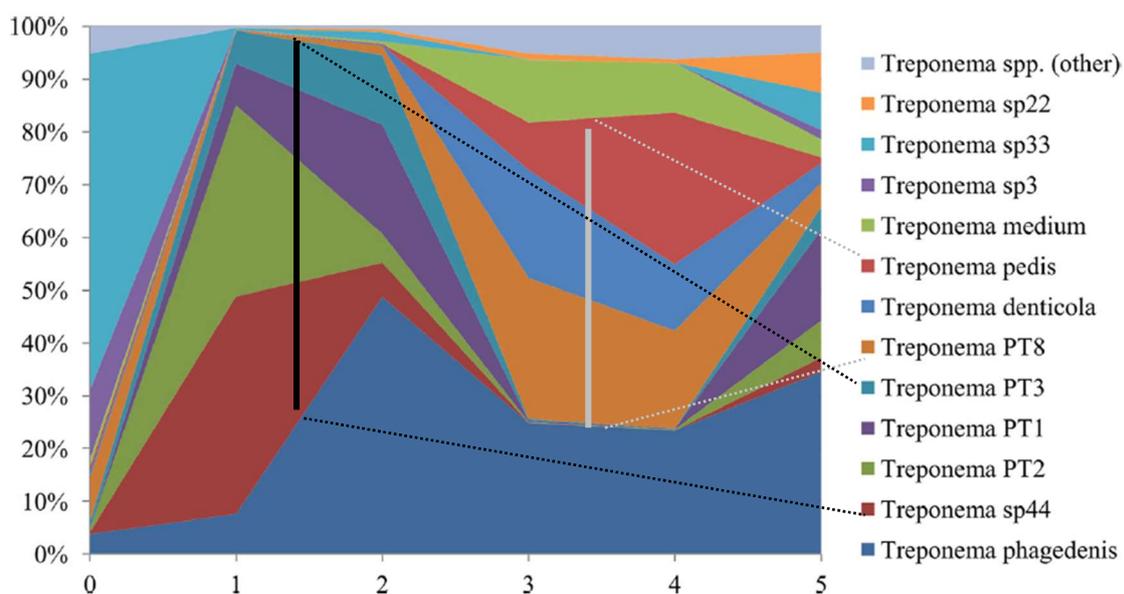


Figure 3 - Pourcentage de chaque phylotype de tréponèmes en fonction du stade lésionnel d'après Krull et al. [11] avec mise en évidence des phylotypes majeurs selon les stades lésionnels

1.2 Modalités d'infection

Le réservoir de la maladie est représenté surtout par les lésions de dermatite digitée et notamment les lésions actives : soit les stades M1 et M2 selon la classification de Greenough.

Le tractus digestif des animaux pourrait être une source de tréponèmes sans pour autant constituer un réservoir primaire. Les dernières avancées technologiques ont permis de détecter de l'ARN bactérien dans du tissu oral et rectal de bovins [21] et dans le microbiote ruminal et fécal [17], mais uniquement dans des troupeaux infectés. Les bouses directement ou la litière contaminée par les bouses seraient alors les vecteurs des bactéries jusqu'au site d'infection. Une autre voie de transmission pourrait être le contact direct d'une peau lésée avec une peau saine ainsi qu'indirecte via le matériel de parage. Des tréponèmes du même phylotype que ceux identifiés dans les lésions de dermatite digitée ont effectivement été identifiés sur des lames des couteaux de parage après utilisation [22] [23], ce qui pourrait faire du parage, une pratique à risque.

De plus, dernièrement de l'ARN bactérien a été retrouvé dans de la bouse au niveau d'empreinte de pied infecté [20], cependant une autre étude [24] conclue que la transmission par contact entre la peau et de la bouse contaminée semble peu probable car finalement la famille des *Spirochaetaceae* ne représenteraient pas plus de 0.6% des bactéries identifiées dans le lisier et qu'au sein de celle-ci moins de 0.6% sont représentées par des espèces associées à la DD.

1.3 Expression clinique

La maladie se traduit par des symptômes généraux que sont la boiterie et les conséquences de celle-ci mais surtout par des symptômes locaux avec ses lésions typiques mais variables de la DD que l'on expliquera par l'histo-pathogénie des lésions.

1.3.1 Symptômes généraux

L'expression clinique est variable et inconstante, la douleur n'est pas forcément présente. Mais les troupeaux atteints montrent une prévalence de boiteries plus importantes que les troupeaux sains : Frankena *et al.* [25] ont montré que la prévalence de boiteries de score >3 selon la classification de Manson et Leaver 1988 (légère boiterie n'affectant pas le comportement à boiterie évidente qui impacte la locomotion) dans une population de vaches sévèrement atteintes était significativement supérieure à celle dans une population de vaches non atteintes, respectivement 39.5 et 15.7%. Dans les boiteries liées à la DD, on observe des vaches avec une démarche altérée, une posture modifiée de façon à limiter le contact du talon avec le sol [26]. En statique, elles reportent le poids sur le pied non atteint ; elles le soulagent ou le posent en pince. Lorsque les deux pieds sont atteints, on peut observer un piétinement rythmique avec une vache qui lève les pieds vers la mamelle [27]. Généralement les lésions au stade M1 et M4 ne sont pas douloureuses à la pression, en revanche on remarque significativement plus de douleur à la palpation des lésions M2, cependant toutes les lésions M2 ne sont pas douloureuses (43% dans une étude de Holzhauser *et al.*[28]). Les symptômes accompagnant cette boiterie sont alors une baisse d'appétit, une baisse de production, une augmentation des fréquences de réforme, une baisse des performances de reproduction.

Cela fait de l'identification des vaches boiteuses une méthode peu sensible de détection des lésions actives de DD. Dans une étude de Shearer *et al.* [29], seul 39% des animaux atteints présentaient une douleur visible (boiterie supérieure à 3/5), ce qui recoupe les résultats de Frankena *et al.* [25] avec seulement 39.5% des vaches sévèrement atteintes par la DD qui boitaient.

1.3.2 Symptômes locaux

1.3.2.1 Notation des lésions

La dermatite digitée a de multiples facettes. De la lésion circonscrite, ulcéralive, humide, nécrotique, douloureuse que l'on apparente souvent à une fraise, on passe à la lésion chronique hyperkératosique, surélevée, parfois velue que l'on apparente souvent à une verrue [30].

En 1994, Döpfer introduit le M-scoring system, une classification évolutive en 5 stades, basée sur des observations visuelles, dans le but de standardiser la description des lésions et

de caractériser les lésions au cours de la progression de la maladie [31]. D'autres classifications ont été proposées mais c'est cette classification en « M-stages » qui a été retenue dans la majorité des études. Ainsi les chercheurs, vétérinaires, pareurs, éleveurs peuvent mieux communiquer entre eux et suivre l'efficacité des mesures de contrôle [32].

Döpfer décrit donc 5 stades : le stade M0 correspond à une peau saine, le stade M1 serait le stade le plus précoce de DD avec une lésion érosive, circonscrite et granulomateuse de 0.4 à 4 cm de diamètre qui atteint la surface de l'épithélium ou pas plus de 2mm sous celui-ci. Le stade M2 est une érosion granulomateuse de plus de 2mm de profondeur et de 4 à 7cm de diamètre. Le stade M3 une lésion en cours de guérison couverte d'une croûte et le stade M4 une altération de la peau proche de la bande coronaire qui peut être observée dans les situations endémiques où l'on suspecte la présence de DD avec une lésion chronique dyskératosique et/ou proliférative (*Figure 4*).

En 2008, Greenough *et al.* reprennent cette classification pour le 15^{ième} symposium international et la 7^{ième} conférence sur les boiteries des ruminants qui s'est déroulée en Finlande et ajustent la notation comme suit [33]:

- M0 : peau du pied normale sans signes de DD
- M1 : petite lésion précoce, circonscrite, de couleur rouge à grise de moins de 2cm de diamètre qui précède le stade M2. Le stade M1 peut apparaître entre des épisodes aigus de M2 ou en marge d'une lésion M4, en tant que stade intermédiaire.
- M2 : stade aigu caractérisé par une lésion ulcérateuse ou granulomateuse de plus de 2 cm de diamètre, communément observé le long de la bande coronaire et parfois autour des ergots, dans des seimes, sur des pathologies préexistantes de la sole (ulcère typique de la sole...)
- M3 : stade de cicatrisation qui apparaît 1 à 2 jours après un traitement topique, la lésion active se recouvre d'un matériel s'apparentant à une croûte ferme de couleur foncée
- M4 lésion avancée chronique qui peut être dyskératosique (surtout un épithélium épaissi) ou proliférative ou les deux. Les proliférations peuvent être filamenteuses, ressemblées à une croûte ou une masse.
- M4.1 : lésion chronique M4 qui comprend une lésion M1.

Cette notation a été approuvée par Berry *et al.* en 2012 [34].

En 2016, Döpfer [35] travaille conjointement avec Marlène Tremblay dans le développement du DD check App, une application mobile dédiée aux personnes sans connaissances particulières en statistiques qui veulent suivre la progression de la maladie dans un troupeau. L'application permettrait d'identifier des tendances dans la progression de la maladie et donc d'adapter la prévention et le traitement ainsi que de prédire les différentes issues, d'évaluer la chronicité, d'identifier des vaches à traiter ou à réformer, de typer les vaches (cf typage de Döpfer dans la partie 1.2.4). L'application permet un enregistrement facile des lésions grâce à

une représentation exhaustive des lésions en image. Cette table de scoring présentée *Figure 4* permet de bien illustrer le M-scoring system présenté précédemment [35]. On peut apprécier les sous types des 6 stades.

M-STAGE	EXAMPLES	DESCRIPTION
M0: Healthy	 <p>© Döpfer</p>	normal digital skin
M1: Early / Subclinical	 <p>© Döpfer</p> <p>© Döpfer</p>	<p>an early, small circumscribed red to gray epithelial defect of less than 2 cm in diameter</p>
M2: Painful / Acute Ulcer	 <p>2A © Döpfer</p> <p>2B © Döpfer</p> <p>2C © Gomez</p>	<p>the acute, active ulcerative or granulomatous digital skin alteration greater than 2 cm in diameter</p> <p>2A: M2 without signs of chronicity 2B: M2 hyperkeratosis 2C: M2-proliferation (mass-like)</p>
M3: Healing	 <p>© Döpfer</p>	<p>the healing stage within 1 to 2 d after topical treatment, where the acute DD lesion has covered itself with a firm scab-like material</p>

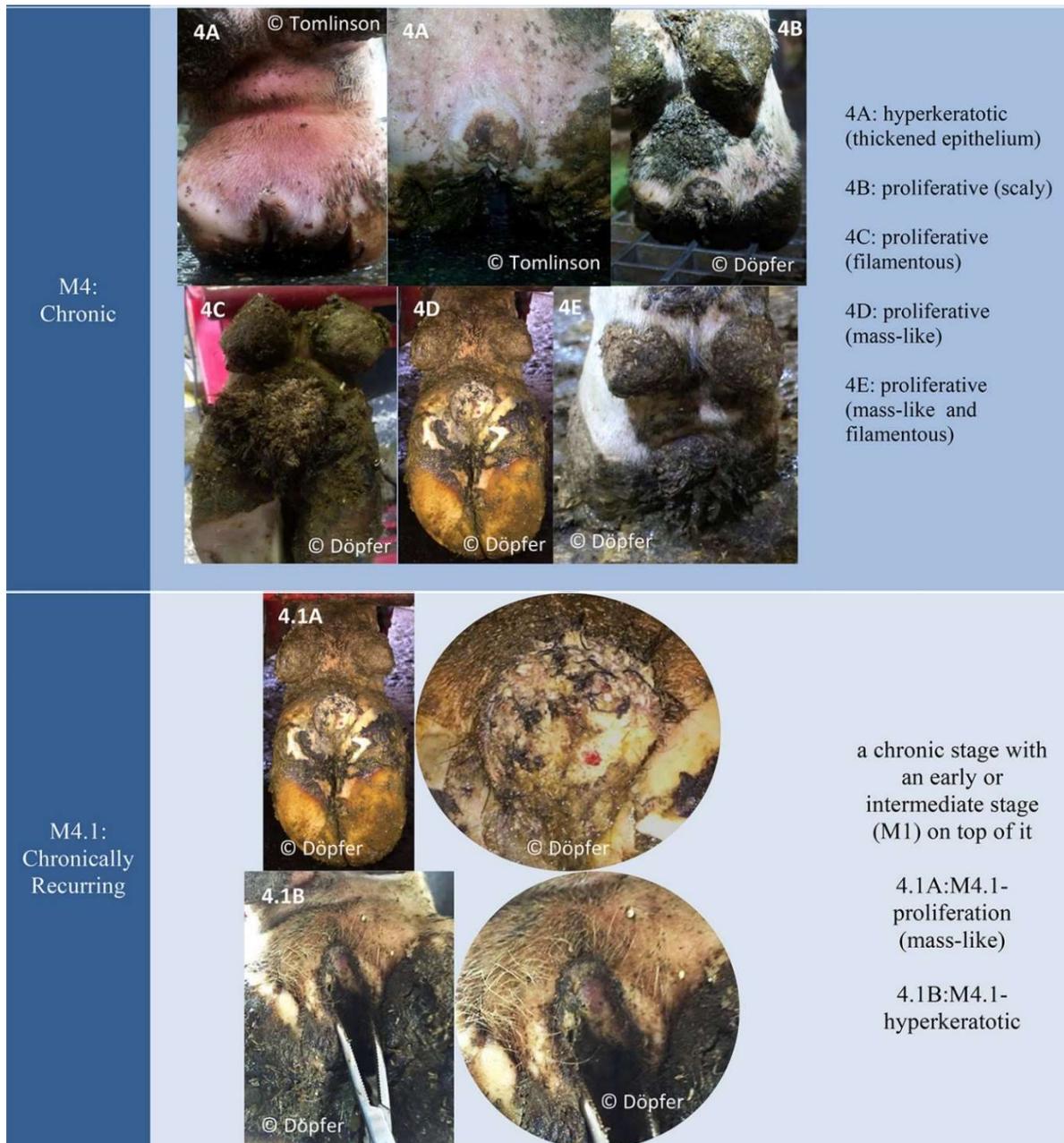


Figure 4 - Illustration du M-scoring system d'après [34]

1.3.2.2 Evolution de la maladie

D'après une étude de Krull *et al.* réalisée sur 3 ans d'observations de pied atteints [36] :

Les petites lésions M1 ne progressent pas forcément en lésion plus grave et peuvent se soigner d'elles-mêmes. Leur éventuelle aggravation va dépendre des conditions environnementales, de la présence et de la colonisation de bactéries responsables de cette transition, de l'immunité et de la prédisposition génétique de l'hôte.

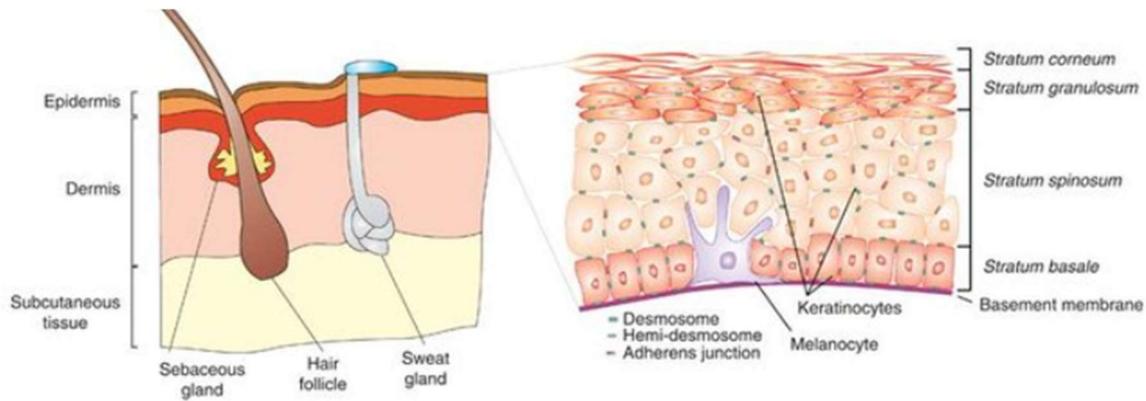


Figure 6 - Rappel de la structure du derme et de l'épiderme d'après [39]

Dans la littérature sur la DD, diverses modifications histologiques sont décrites d'une peau saine à une peau lésée par la DD, dont certaines sont appréciables dans la *Figure 7* :

Le *stratum basale* de l'épiderme est le siège de nombreuses mitoses [40]. Au niveau de la surface, de nombreux kératinocytes sont anormaux avec un petit noyau pycnotique, normalement absents du *stratum corneum* où le noyau des cellules a disparu [38]. Au fil de leur progression les kératinocytes dégénèrent pour donner les cornéocytes cependant dans les lésions de DD la dégénérescence peut être vacuolaire : le cytoplasme est vacuolisé alors qu'il devrait être rempli de faisceaux denses constitués de cytokératines et de filagrine [41].

Des micro abcès sont observables dans un épiderme qui a perdu sa cohésion par rupture des attaches desmosomiales (acanthotique) et hyperkératosique, avec une infiltration par des neutrophiles et autres cellules mononucléées [41]. On peut parfois noter aussi la présence d'érythrocyte et de fibrine.

Les vaisseaux de la papille dermique sont souvent congestionnés et entourés d'amas de cellules inflammatoires [40].

Dans les stades M2, on peut observer une perte complète de l'épiderme et une exposition de la papille dermique, ce qui explique l'aspect granulomateux des lésions en surface [15]. L'épaississement de la peau est dû à l'inflammation chronique qui entraîne une croissance plus importante du derme avec une desquamation cornéale moins importante [42].

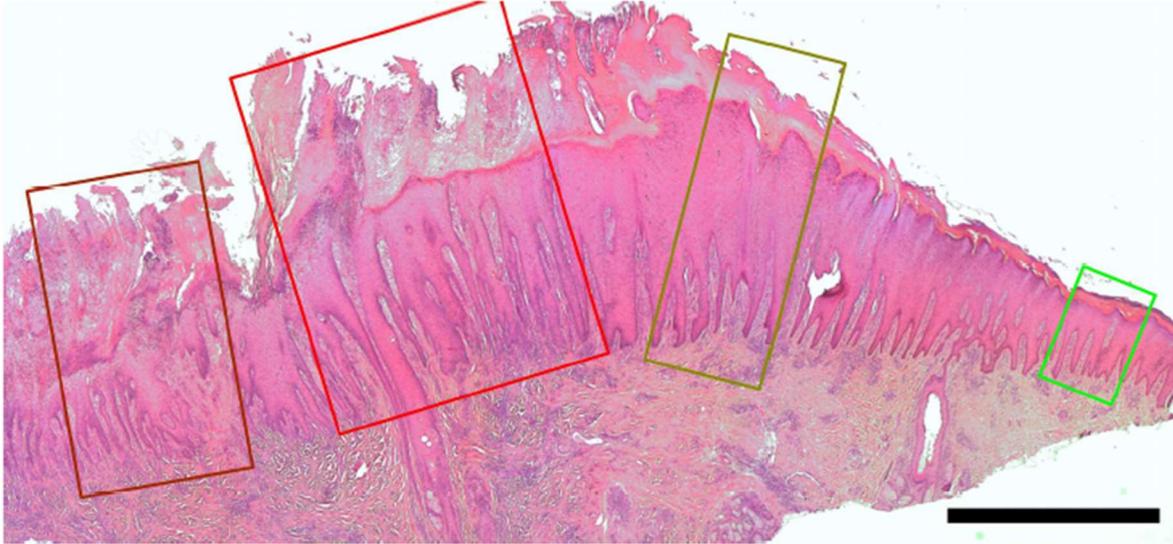


Figure 7 - Biopsie de peau d'une lésion ulcérate de grade M2 d'après Moreira et al. [19]
Dans l'échantillon, différents segments montrent des altérations typiques de l'épiderme et du derme. De droite à gauche, on peut voir en vert clair une zone saine de type M0, en vert foncé une prolifération modérée de l'épithélium et acanthose, en rouge clair une dégénération extensive de l'épiderme avec une sévère prolifération, exsudation et érosion en rouge et enfin en rouge foncé une exsudation et ulcération sévère, coloration H&E, échelle 2mm

Le processus inflammatoire ne s'étend que rarement aux couches plus profondes du derme, mais on peut noter une infiltration périvasculaire de lymphocytes et de cellules plasmiques [7] et des micro abcès avec infiltration inflammatoire dans la zone de la papille dermique [43].

Des spirochètes sont présents à la surface de la peau, plutôt à la base du *stratum corneum*, et on les retrouve rarement dans le *stratum granulosum*, alors qu'ils sont absents des tissus sains [30], [42]. Read *et al*, 2011 rapportent également une infection du *stratum spinosum* et de la papille dermique ainsi que des filaments parakératosiques [45] [44].

L'inflammation est aussi marquée par une expression importante d'IL 8 par les kératinocytes qui prolifèrent sous sa stimulation, ce qui peut aussi expliquer l'épaississement de l'épiderme. Même si cela reste à investiguer, cette réponse excessive de l'immunité innée pourrait intervenir dans la pathogénie de la maladie, au même titre que dans le psoriasis humain [45]. Refai [45] a montré que les vaches atteintes de M2 ou M3 avait un taux d'IL8 plus important dans les kératinocytes. L'IL8 agissant dans la réponse inflammatoire et la prolifération des kératinocytes, sa présence en plus grande concentration pourrait expliquer l'aspect prolifératif des lésions de DD. Pour rappel, la cicatrisation d'un épithélium se distingue par 3 phases : la phase inflammatoire que l'on peut suivre par la sécrétion du TNF alpha et l'interleukine 1, la phase de réparation du tissu mésenchymateux sous-jacent que l'on peut suivre par la synthèse du collagène de type I et la migration des fibroblastes et enfin la phase de réparation épithéliale que l'on peut suivre par la vitesse de recouvrement par les kératinocytes.

1.1 Facteurs de risque

De nombreuses études épidémiologiques ont été réalisées pour étudier ces facteurs de risque, notamment en raison de la difficulté à vérifier les postulats de Koch pour les tréponèmes. La plupart sont reprises dans la thèse de Marleen Brukking [46] que l'on citera beaucoup dans cette partie.

1.1.1 A l'échelle de l'élevage : environnement et pratique d'élevage

1.1.1.1 Région/climat/saison

Des différences ont été mises en évidence entre régions mais sans prendre en compte le type d'élevage, ce qui peut constituer un biais, et donc on ne peut pas vraiment conclure sur l'impact géographique. Le facteur climat est difficile à évaluer. Un effet saison a été démontré mais ce n'est pas toujours la même saison qui est à risque selon les études (plutôt printemps début d'été en Californie car juste après la saison des pluies et plutôt fin d'hiver en Angleterre), l'effet est peut-être donc plus à mettre sur le compte des conditions météorologiques [46].

1.1.1.2 Logement

Le temps de contact du pied avec les déjections et le taux d'humidité constituent les principaux facteurs de risque liés au logement. En effet, le développement de la dermatite digitée est favorisé par des conditions humides [30].

Ainsi plusieurs facteurs jouant sur ces conditions de propreté et d'humidité rentrent en ligne de compte :

Le mode de raclage, sa fréquence, son efficacité : plus le raclage est fait fréquemment, moins on a de risque de DD. Les meilleurs résultats s'obtiennent avec un raclage toutes les deux heures. En corollaire, le taux de nouvelles infections est plus important sur des vaches avec une mauvaise hygiène podale [3], [46].

La nature du sol : selon [46], les études sont peu cohérentes : les caillebotis seraient plus à risque que le béton plein (OR 1.32) ainsi que les aires paillées (OR 11.1). Pour ce qui est des bétons pleins, les sols rainurés sont plus délétères que les bétons avec empreinte à la confection (OR 2.7) ou que les bétons non rainurés/non texturés (OR 11.31). Dans le même ordre d'idée, Relun a pu mettre en évidence une diminution significative de production laitière chez des vaches atteintes par la DD uniquement dans des troupeaux vivant en stabulation. Comme la différence n'était pas significative pour les troupeaux qui avaient accès au pâturage. Relun en a conclu que l'inconfort ressenti n'est pas le même si les vaches étaient sur terre ou sur béton [3], il serait plus important sur béton avec des pressions plus importantes exercées sur les onglons. La nature du sol amplifie donc les différences entre les vaches atteintes et les saines.

La nature de la litière : les copeaux de bois (OR 2.31) ainsi que les autres litières (matelas d'eau, compost, sable → OR 1.87) seraient plus à risque que la sciure [47].

Le type de stabulation : on peut imaginer que les étables entravées limiteraient la transmission de la maladie. En ce qui concerne les stabulations libres, d'après Laven ou Onyoro dans [21], les animaux qui vivent en stabulation à logettes sont plus affectés que ceux qui vivent sur aire paillée.

La conformation des logettes : des logettes plus larges et plus longues permettent de réduire la prévalence de la maladie, peut être en lien avec la facilité de couchage (les vaches resteraient moins longtemps debout avec les talons en contact prolongé avec les bouses [48])

L'accès au pâturage : plusieurs études ont montré que le pâturage a un effet bénéfique avec un risque plus faible de DD pendant cette période et notamment l'été. Cependant Oliveira [49] a montré que pour des accès restreint au pâturage (sur une certaine période de la journée), l'effet pouvait être néfaste. Il explique cet effet par une éventuelle exposition à la boue (dans le cas de mauvaises conditions météorologiques ou de surfaces insuffisantes), des trajets longs de marche entre la pâture et la stabulation, sur des sols non aménagés. Cela pourrait occasionner des blessures de la peau, ou favoriser d'autres atteintes podales.

1.1.1.3 Hygiène du pied

En 2013, Relun *et al* montraient que les élevages où les pieds avaient un mauvais score de propreté présentaient une prévalence plus importante de la maladie [50], et en 2017 Solano *et al.* confortaient ces résultats en observant une prévalence plus importante de lésions actives sur des vaches avec des pieds plus sales [32]. Bien sûr, l'hygiène du pied est à mettre en lien avec l'humidité de l'environnement, donc avec le raclage, et l'alimentation (fèces plus molle lors de cétose...).

1.1.1.4 Parage

Le fait de réaliser du parage préventif pourrait représenter un facteur de risque. Différentes études [22] ont effectivement montré que la réalisation de parage préventif de façon trop fréquente était à risque. L'incidence de DD serait croissante quand on raccourcit l'intervalle entre chaque parage. Selon Holzhauser *et al.* qui ont étudié 383 élevages avec des fréquences de parage différentes, les élevages où les séances de parages de l'ensemble du troupeau étaient effectuées à plus de 12 mois d'écart avaient une prévalence de DD plus faible (en comparaison aux autres élevages avec parage espacés de moins de 6 mois, 6 à 7 mois ou 7 à 12 mois) [51]. Les pratiques à risque seraient finalement celles de professionnels du pied extérieurs à l'élevage et notamment de pareurs qui ne procèdent pas à une désinfection particulière du matériel de parage entre chaque élevage ou entre chaque animal (biosécurité interne).

A l'inverse un certain nombre de papiers attestent que le parage préventif permet de réduire le risque d'avoir de la DD. Les auteurs expliquent cela par la détection et le traitement précoce des lésions ainsi que le travail sur la conformation du pied qui les rendraient ainsi moins sensibles à l'infection [21]. Le parage pourrait permettre dans certains cas d'éviter que les

talons ne soient trop en contact avec les déjections. Aussi il permettrait de limiter les conditions humides voire d'anaérobiose entre les onglons, en accentuant le creux axillaire par exemple. Relun montre que le parage (2 séances par an minimum) permet de faire baisser la prévalence et l'explique par le fait que les lésions sont mises en évidence plus rapidement [3]. Cependant il ne faut pas non plus parer trop souvent ou de façon trop importante les pieds au risque d'avoir un effet néfaste en mettant à mal l'intégrité de l'onglon et en abaissant les talons [3].

1.1.1.5 Achat et taille du troupeau

L'achat d'animaux augmente le risque d'avoir de la DD [46]. Comme souvent dans les maladies infectieuses contagieuses, il est probable que ces achats introduisent de nouvelles souches de tréponèmes. Ces achats sont d'autant plus à risques que les quarantaines ne sont que rarement respectées par les éleveurs.

Par ailleurs, les vaches achetées, étant extérieures à l'exploitation, sont plus à même de développer de la DD car elles ne sont pas immunisées contre les tréponèmes présents dans l'élevage d'accueil et s'infectent facilement. Il est possible que cette sensibilité accrue soit liée à l'âge des animaux introduits, car le plus souvent les animaux achetés sont des génisses ou des primipares (en élevage laitier). L'achat d'adulte ne représenterait pas un risque pour l'élevage introducteur, mais peut être qu'aucune différence statistique n'a été remarquée du fait que l'on achète peu de vaches par rapport aux génisses [52].

Pour ce qui est de la taille de l'élevage, l'effet a été étudié mais les avis divergent, le facteur « taille de l'élevage » pourrait être confondu avec d'autres facteurs de risque (par exemple un gros élevage est forcément un élevage qui va acheter plus d'animaux à l'extérieur). Certaines études ne trouvent pas d'effet de la taille du troupeau (notamment Relun dans [3]), d'autres trouvent un effet, avec le plus souvent un risque qui augmente avec la taille des troupeaux (plus de 100-125 vaches) [46].

1.1.1.6 Prévalence initiale

Une prévalence importante (au moins supérieure à 10%) conduirait à un taux d'incidence plus important. En effet Relun *et al.* [3] ont montré que si à un temps T, la prévalence dans un troupeau était supérieure à 10%, un pied sain avait 2.09 fois de risque d'être nouvellement infecté un mois après (IC 95% : 1,34 – 3,23).

1.1.1.7 Alimentation

Gomez *et al.* [53] ont expérimenté l'effet d'un apport plus important en minéraux que les recommandations faites sur des vaches dont on avait induit expérimentalement une infection de DD (selon le protocole de Gomez *et al.* 2012). Le mélange minéral enrichi contenait 103 mg de Zn, 68 mg de Mn, 14 mg de Cu, 1.1 mg de Co, 4 mg de I, and 0.32 mg de Se contre 35 mg de Zn, 37 mg de Mn, 12 mg de Cu, 0.53 de de Co, 0.42 mg de I, et 0.32 mg de Se. Les vaches complémentées avec le mélange minéral enrichi, présentaient moins de lésions M2 et des lésions plus petites un à deux 2 mois après l'initiation de la complémentations (c'était la durée

de l'étude). Cependant cette différence n'était pas significative (p-value à 0.11) car ils auraient manqué d'individus. Les concentrations sanguines de certains minéraux et de l'iode sont significativement plus importantes chez les vaches avec le mélange enrichi. On ne sait pas si c'est un effet d'un seul minéral ou une action conjointe de ceux-ci, toujours est-il que l'iode est souvent utilisée dans la prévention de certaines maladies cutanées.

Selon Somers dans [21], les vaches qui atteignent leur complémentation maximale en concentré à 2 semaines sont plus à risque que celle qui l'atteignent en 3 semaines. Cela peut s'expliquer par un déséquilibre métabolique rendant plus sensibles les vaches. On peut rapprocher cela du fait que les rations très énergétiques favorisent l'infection de lésions actives par rapport à une ration peu énergétique [46]. On peut expliquer cela par un risque plus important d'acidose subaiguë du rumen avec des rations très énergétiques et par conséquent des bouses plus liquides qui éclaboussent les pieds, qui sont alors plus sales et dans un environnement plus humide.

1.1.2 A l'échelle de l'individu

1.1.2.1 *Race et génétique*

Dans les études la race Holstein ressort souvent plus à risque que les autres races, mais peut-être du fait de leur productivité plus importante [46]. Cependant la productivité laitière n'est pas vraiment reconnue comme un facteur de risque pour la DD dans la grande majorité des études [21], [46].

Une petite dizaine de SNP (Single Nucleotid Polymorphism) semblent associés à l'infection de l'animal par la DD. L'association de ces SNP à la maladie est liée au fait que la plupart sont localisés dans des gènes d'intérêt, comme celui qui contrôle la prolifération des cellules et les réponses inflammatoires. Cependant les études sont encore maigres et nécessiteraient des échantillons plus grands. De la même façon les études sur l'héritabilité de la maladie donnent des résultats très variables de 0.029 à 0.44. Cette variabilité entre études s'explique en partie par le type d'analyse et les biais de recrutement d'élevages. Cependant on peut déjà dire que la sélection génétique pourrait être intéressante dans le contrôle de la maladie, mais on ne sait pas encore bien ce que cette sélection impliquera au niveau de la production laitière (en qualité et quantité) car les études divergent [21].

1.1.2.2 *Immunité*

Une réponse humorale est présente contre les tréponèmes lors de DD. Dans un troupeau endémique, on retrouve chez les génisses (étude non menée sur les vaches) des anticorps dirigés contre les tréponèmes même si elles ne portent pas de lésions de DD. En revanche lorsque l'on observe une lésion M2 sur ces mêmes génisses, le taux d'anticorps augmente de 56%. Cette immunité est de courte durée, si la génisse guérit, le taux d'Ac revient au taux moyen des génisses saines en 6 mois [54]. Si l'animal ne guérit pas, l'immunité semble inefficace malgré la persistance du taux d'anticorps à un niveau supérieur. En effet une génisse

qui a été atteinte a autant de chance de se contaminer une nouvelle fois qu'une autre, ou encore des génisses introduites dans un milieu où la DD est endémique peuvent déclencher la maladie lors du premier vêlage [21].

Comme l'immunité sérique acquise ne semble pas diminuer la sensibilité à la DD, il se peut que l'immunité innée puisse y changer quelque chose. D'une façon générale, Scholey [55] a montré qu'il y avait des vaches plus sensibles aux maladies infectieuses que d'autres. Il pense que cette différence de sensibilité, n'étant pas liée, la réponse acquise pourrait venir d'une immunité innée déficiente. En effet, il a remarqué que les vaches plus sensibles présentaient un taux de SNP liés à la réponse inflammatoire, donc à l'immunité innée, plus faible.

1.1.2.3 Parité

Quelques études ont montré qu'il n'y avait pas d'effet de la parité sur la durée et la guérison des lésions. D'autres ont montré une sensibilité accrue chez les primipares, voire chez les deuxièmes lactations : le taux d'incidence serait plus important, la guérison moins facile et moins rapide [21]. Holzhauer *et al.* [51] ont même montré que le risque diminuait à chaque lactation après la deuxième lactation. Comme on l'a vu cela ne s'explique pas par une immunité croissante, l'auteur explique cela par une augmentation de la hauteur des talons avec l'âge rendant la peau en couronne moins exposée à l'humidité et aux pathogènes, aussi qu'il peut s'agir d'un biais car les vaches atteintes et non guérissables finissent par être tuées donc au fil du temps il ne reste que les moins sensibles.

1.1.2.4 Stade de lactation

Le moment le plus à risque serait le pic de lactation en raison du déficit énergétique à l'origine d'une baisse d'immunité impliquant probablement une sensibilité accrue et une moins bonne réponse aux traitements [46].

D'après Holzhauer *et al.* [51] le risque d'être atteint par la DD est plus élevé sur des vaches à plus de 60j de lactation, que sur des vaches dans leur premier mois de lactation ou vaches taries. Cependant ils n'auraient pas montré d'effet du stade de lactation sur la guérison en tant que telle, des lésions M2.

Selon eux, leurs résultats seraient en accord avec ceux de Frankena *et al.* 1991, et seraient expliqués par une plus forte sensibilité des vaches au pic de lactation. En effet, le déficit énergétique à ce stade de lactation engendre des cétozes à l'origine de baisse de l'immunité et les selles sont donc plus liquides et dégradent l'environnement. Pour ce qui est des vaches taries, leurs selles étant souvent plus solides, elles seraient moins exposées aux conditions humides et non hygiéniques, donc moins à risque. En effet, les rations sont souvent plus riches en fourrage, moins énergétiques, le pH des selles en est donc aussi plus élevé et ainsi pourrait être défavorable à la survie des pathogènes [51].

En revanche, Argaez-Rodriguez *et al.*, cités dans [21], ont trouvé un risque plus important de nouvelle infection dans le premier mois de lactation. Ils expliqueraient cela par une baisse de l'immunité dans la période péri-partum parfois aggravée par des troubles métaboliques.

1.1.2.5 *Aplombs*

Les aplombs conditionnent la marche et l'usure du pied et pourrait par conséquent favoriser la survenue des lésions de DD.

1.1.2.6 *Qualité du pied*

D'après un article de synthèse sur les facteurs de risque de Palmer *et al.* [21] on aurait du mal à conclure des études sur la conformation du pied (étroitesse de l'espace interdigité, largeur des talons, longueur de l'onglon, hauteur des talons) réalisées sur un faible nombre d'individus, de façon ponctuelle et non longitudinale : il est difficile de dire si les conformations observées sont des causes ou des conséquences de la maladie. D'après une étude longitudinale de Gomez [4], l'angle en pince (formé par la rencontre entre la muraille et la sole) augmente avec le temps sur les vaches atteintes de DD par soulagement du talon et donc une usure moins importante de celui-ci.

La conformation de la peau jouerait aussi un rôle en tant que barrière naturelle notamment grâce à l'imperméabilisation par les lipides de la couche cornée. Pour le moment les études n'ont pas montré de différence d'imperméabilité entre des peaux lésées par la DD et des peaux saines bien qu'une peau plus exposée au lisier laisse mieux passer du colorant [21]. Par ailleurs, cette barrière naturelle est moins efficace autour des follicules pileux donc on pourrait se dire que plus il y a de poils, donc de follicules pileux, plus on a de porte d'entrée pour les bactéries, ce qui reste à vérifier. Si c'est le cas on pourrait jouer sur la génétique car la densité de follicules pileux semble avoir une composante génétique héritable. Et cela serait d'autant plus important que les tréponèmes semblent se concentrer dans les follicules pileux d'après la micrographie électronique [21].

1.1.2.7 *Note d'état corporel*

A ma connaissance une seule étude a mise en évidence l'effet de la NEC. Il n'y aurait pas d'effet de celle-ci sur la guérison des lésions mais un effet sur la prévalence et l'incidence de la maladie, les vaches grasses seraient plus à risque (d'après Teixeira dans [46]). Cela recoupe ce qui a été énoncé au paragraphe 1.1.2.4, avec le fait que les vaches sont plus sensibles à 60 jours, or c'est le moment où le risque cétosique est le plus important et il l'est d'autant plus sur les vaches grasses.

1.1.2.8 Maladies intercurrentes

Peu d'études ciblent l'effet de maladies générales intercurrentes, cependant on imagine bien que tout stress/fragilité peut favoriser le développement de la DD. Par ailleurs on sait que certaines maladies podales sont fortement liées à la dermatite digitée car elles partagent les mêmes facteurs de risques (fourchet), ou car elles fragilisent la peau (panaris) [46].

En revanche le fait de porter une lésion de dermatite digitée sur le pied controlatéral augmenterait le risque d'apparition d'une lésion sur le pied sain [3], [56].

1.1.2.9 Personnalité/comportement

Certaines vaches sont plus stressées que d'autres par les conditions d'élevage, par leur position hiérarchique... Et il a été montré que les vaches dominées avait une immunité plus faible que les dominantes [21]. Celles-ci pourraient être donc plus à risque.

De même certains comportements favoriseraient le contact prolongé du pied avec le lisier/fumier et donc augmenteraient l'exposition à la DD : vaches perchées c'est-à-dire avec les pieds arrières en bas de la marche des logettes (en réalité plutôt un problème de bâtiment que de comportement avec des logettes inadaptées), vaches qui attendent plus longtemps pour se faire traire, vaches qui restent plus longtemps dans les couloirs de passage entre deux aires (zone moins raclée, ou confinée qui favorise les conflits et donc les lésions du pied). Ces comportements seraient une des conséquences, amplifiées par des problèmes de bâtiment, de conduite du troupeau qui peuvent favoriser la dominance de certaines.

1.1.3 Conclusion

Certains facteurs de risque semblent facilement identifiables, Cependant il est difficile de mesurer leur réel impact. Dans une étude très récente, Vanhdout *et al.* [57] (2021) n'ont pas identifié de lien entre le « Total Risk Factor », un score qui représente l'exposition à certains facteurs de risque, et la prévalence de la DD dans 19 élevages étudiés. Ils n'ont pas non plus mis en évidence de lien entre une réduction de l'exposition à ces facteurs de risque (réduction du TRS après mise en place de mesures d'évitement) et une baisse de la prévalence de la maladie (tous stades confondus). Le TRS était calculé à partir des réponses à 22 questions à choix multiples qui portaient pour moitié sur la conduite d'élevage, pour moitié sur la santé du pied et sur l'environnement.

Anne Relun [3] et d'autres auteurs [39] ont toutefois remarqué que bien que les éleveurs soient conscients de la gravité de la maladie sur tous les plans et de la présence de facteurs de risque, ils ont du mal à adopter des mesures correctrices quant aux facteurs de risques identifiés. Une histoire de temps, de main d'œuvre et aussi de coût.

1.2 Contrôle de la dermatite digitée dans un contexte d'éradication impossible

La dermatite digitée est une maladie podale infectieuse et contagieuse qu'il semble impossible d'éradiquer une fois implantée dans un élevage. Les pertes économiques sont considérables, majoritairement représentées par les coûts de traitements [58], auxquels s'ajoutent toutes les pertes indirectes liées aux boiteries : baisse de production, baisse des performances en reproduction, taux de réforme important... D'après Charfeddine *et al.* dans [58], l'origine majeure des coûts serait différente selon la sévérité des lésions : pour des lésions moyennes on a surtout des coûts de main d'œuvre extérieure et de baisse de production laitière et pour les lésions sévères ce sont plutôt des coûts de réforme prématurée, de mort et de lait écarté du tank. Les estimations des coûts sont très variables d'une étude à l'autre, selon les coûts pris en compte, et selon que la variabilité entre animal (stade de lactation, parité...) ait été prise en compte. Les coûts seraient souvent sous-estimés à cause des divers biais [59]. D'après Evans *et al.* 2016 [60], les coûts à l'année sur une ferme de 65 vaches s'élèveraient à 1517\$ (~1180€/an) d'après le modèle de Bruijn *et al.* [61].

Pour contrôler la maladie, il faut adopter des mesures curato-préventives. Ces mesures passent par l'application de produits sur le pied pour guérir les lésions le plus vite possible et pour prévenir la formation d'autres, mais aussi par une conduite d'élevage raisonnée. Quoiqu'il en soit les mesures de contrôle doivent être adaptées à chaque situation : le niveau de prévalence initial et le stade lésionnel majoritaire doivent être étudiés.

1.2.1 Les produits thérapeutiques

Depuis de nombreuses années beaucoup de traitement ont été testés ou ont vu le jour en vue de contrôler la dermatite digitée. Ces thérapeutiques répondent à la nature infectieuse de la maladie c'est-à-dire essentiellement les antibiotiques, les désinfectants ou les vaccins.

1.2.1.1 Les antibiotiques

Les antibiotiques sont parfois utilisés en topique individuel voire en pédiluve dans certaines contrées. Ils ont été utilisés par voie générale mais cela n'a pas de sens dans le contexte actuel où l'on cherche à limiter leur utilisation. De plus, plusieurs arguments vont à l'encontre de cette utilisation [62] : les lésions de DD sont des lésions locales de l'épiderme, la plupart des animaux traités sont des vaches laitières, ça impacterait donc leur production, et d'autres produits semblent efficace sans créer d'antibiorésistance.

La voie locale, en application sur le pied, est représentée quasi exclusivement par des topiques individuels car les pédiluves aux antibiotiques sont interdits dans l'Union Européenne, mais ce sont des pratiques qui sont décrites dans d'autres pays [63].

Les tréponèmes, espèce de la famille des spirochètes, sont sensibles à la pénicilline et ses dérivés (amoxicilline, ampicilline) et aux macrolides (érythromycine, azithromycine et gamithromycine). Ils sont moins sensibles aux sulfamides et triméthoprime ainsi qu'à la céfalexine ou encore la colistine. Enfin les tréponèmes n'ont qu'une sensibilité intermédiaire à la lincomycine, la spectinomycine, l'oxytétracycline, le ceftiofur et la gentamicine [60].

Finalement les antibiotiques autorisés en production laitière et applicables par voie locale ne figurent pas parmi les plus adaptés aux tréponèmes. Les sprays disponibles sont les sprays d'oxytétracycline et de lincomycine notamment car on ne les retrouve pas résiduellement dans le lait [64]. Pour autant la cicatrisation des lésions actives en M4 seraient tout de même permises par ces antibiotiques car ils limiteraient l'activité des tréponèmes et tueraient les bactéries des autres genres qui agissent conjointement dans la maladie [60]. En revanche ces traitements sont souvent associés à une récurrence des lésions en M4-1 [29], ce qui peut s'expliquer par le fait que les tréponèmes y sont peu sensibles [34], [65]. L'application hors AMM de poudre de tylosine dans le cadre de la cascade pourrait être justifiée sur des cas récidivants [62].

1.2.1.2 Désinfectants ou autres bactéricides

Des désinfectants sont disponibles sous forme de pédiluve ou en topique individuel.

Les désinfectants les plus utilisés en pédiluve sont le formol, les acides organiques (acide peracétique, acide formique) et le sulfate de cuivre qui n'est plus autorisé désormais dans l'union européenne à cause de sa toxicité environnementale. Le formol est également soumis à un usage réglementé étant donné le risque carcinogénique (au niveau de l'union européenne, la concentration maximale est fixée à 0.3 ppm pour une valeur limite d'exposition professionnelle de 8h, 0.6 ppm pour 15 min). De plus, il peut être irritant pour les lésions M2, il faudrait donc d'abord soigner/écarter les animaux porteurs de M2 [62]. Les tréponèmes ne résistent pas à un pH entre 3 et 5, c'est donc pour cela que les produits acides sont efficaces [62]. Cependant les sols bétonnés sont érodés par les acides donc il faut prévoir des pédiluves non bétonnés ou protégés.

Il existe aussi des topiques à appliquer individuellement directement sur les lésions comme l'acide salicylique qui a un pH acide et des propriétés kératolytiques. En revanche il faut l'éviter sur des lésions ulcérées car son contact peut être douloureux. On retrouve également le cuivre ou le zinc chélaté notamment au travers de la gamme Hoof fit® commercialisée sous forme de gel, de spray et qui est un des rares désinfectants à avoir prouvé son efficacité [66], [67]. Beaucoup de désinfectants ont été reportés mais peu sont autorisés par l'agence européenne des produits chimiques (EU Biocides Regulation 528/2012 [68]) : 95 biocides autorisés (à la date d'écriture) pour la désinfection de la peau dans la catégorie hygiène vétérinaire.

1.2.1.3 Thérapeutiques autres

Les études sont peu nombreuses à notre connaissance et avec un niveau de preuve limitée quant à l'efficacité d'autres mesures que celles citées précédemment, mais ce sont des pistes thérapeutiques à explorer et garder en mémoire.

L'usage de bandage est controversé mais la majorité des études est plutôt en faveur. Il faudrait un bandage imperméabilisé qui pourrait rester plusieurs jours et qui permet de conserver un environnement propre, oxygéné et non mouillé assurant une meilleure cicatrisation des lésions. Ils ont été suggérés chez des animaux sains pour protéger la peau saine et prévenir des infections. Une autre suggestion est de mettre en place un bandage dit « bikini » qui n'est censé tenir que 8 à 12h (doit être enlevé sinon car pourrait générer des conditions humides anaérobies dans un milieu sale) de façon à bien maintenir le produit en contact de la lésion le temps suffisant pour qu'il puisse agir [62].

Il pourrait aussi y avoir un intérêt à cureter la lésion de façon à enlever le matériel nécrotique, dyskérotosique avec un couteau de parage, une lame de scalpel... sous anesthésie locale si besoin. Le but est de stimuler une réponse inflammatoire aigüe qui apportera une granulation/contraction plus rapide de la plaie et réduira le temps de ré-épithélialisation [62].

Le lavage seul des pieds à l'eau savonneuse pourrait aussi être bénéfique selon une étude de 2012 [69]. Dans cette étude portant sur 377 vaches (traitement appliqué sur un seul côté de l'arrière-main), le groupe de pieds lavés avec de l'eau savonneuse (0.4% de détergent Hoof cleaner HC40 de chez Delaval) avait une prévalence plus faible de 7% par rapport aux pieds non lavés. Les résultats de cette étude sont tout de même à prendre avec précaution car les conclusions sont tirées de la simple comparaison des prévalences des pieds témoins et traités après traitement (1.46 fois plus de chance d'avoir une lésion si pied non lavé), même si les lots avaient moins de 1% de différence en prévalence au départ, on peut douter des résultats.

De nombreuses recherches ont déjà été entreprises sur l'immunité et la vaccination mais n'ont pas constitué une réelle avancée. D'après Relun *et al.* [70], un vaccin contenant plusieurs souches inactivées de tréponèmes serait commercialisé aux Etats Unis mais n'aurait pas montré son efficacité curative ou préventive. Dirigé contre *Treponema phagedenis*, l'immunité ne durerait que 42 jours après la guérison des lésions donc les perspectives semblent assez limitées de ce côté-là.

Une autre voix thérapeutique serait celle des probiotiques. Il s'agit le plus souvent d'un complexe de plusieurs souches bactériennes de la famille des *Bacillaceae* et des *Lactobacillaceae* commercialisé sous forme de poudre à mettre en pédiluve ou dans l'environnement (logettes, aires paillées, tapis...). Le but serait de limiter l'installation des bactéries pathogènes et de les combattre lorsqu'elles sont déjà présentes. Un essai clinique aurait montré un temps de guérison plus rapide des lésions actives [71]. Dans le même principe, si l'on considère qu'un état de dysbiose favorise l'implantation de la DD, il faudrait éviter les pédiluves désinfectants à répétition qui entraînent justement une dysbiose [71].

Pour conclure l'effet bénéfique des traitements étudiés semble logique mais il aurait le mérite d'être investigué plus longuement. Le niveau de preuve de l'effet de certains produits sur la DD est faible même si beaucoup d'études ont pu être menées sur un même produit. Une méta-analyse de Jacobs *et al.* montrent que parmi 19 protocoles sur 11 études, seul celui avec des pédiluves à 5% de sulfate de cuivre mis en place 4 fois par semaine est réellement associé à une réduction de la dermatite digitée. Les auteurs font remarquer que la plupart des études ne comportent pas assez d'individus, ne prennent pas assez en compte les biais ou de façon incertaine et qu'il faudrait une uniformisation des protocoles.

1.2.2 Les différentes voies d'application et choix de celles-ci

Les thérapeutiques utilisables sont finalement toutes des topiques. Cependant deux modes d'application sont possibles : l'application individuelle ou collective.

Certains traitements topiques individuels se sont révélés efficaces cependant l'efficacité à l'échelle du troupeau peut rester limitée. Ces traitements nécessitent que l'éleveur détecte les lésions, qui sont souvent remarquées trop tardivement quand l'animal se met à boiter fortement. De plus, cette voie d'application serait à réserver à des petits troupeaux où la prévalence est faible. En effet la détection et l'application individuelle peuvent devenir chronophages si un grand nombre d'animaux est atteint.

Quoi qu'il en soit pour obtenir un résultat sur les lésions avec des topiques en spray (antibiotique ou désinfectant), il faut répéter les applications en laissant sécher un peu entre les deux applications pour obtenir une concentration adaptée [62].

Les traitements collectifs ont donc été développés et seraient à préconiser dans de grands élevages ou dans les troupeaux où la prévalence est élevée [63]. L'application collective se fait au travers de pédiluves. Les pédiluves nécessitent un entretien fréquent et un changement régulier de la solution contaminée par les déjections et les pieds (on considère qu'ils tolèrent au maximum un passage par litre de solution) [62]. Cela implique donc coût et main d'œuvre. De plus, il a été montré que le défaut d'utilisation de pédiluves désinfectants en routine contribuait à un risque plus élevé de DD [49] : il faut donc répéter l'opération si l'on veut maintenir les résultats. Le protocole doit être standardisé avec au moins 4 passages dans les pédiluves tous les 15 jours [3], [32]. Selon Relun *et al.* dans [71] leur efficacité peut être inconstante et l'observance difficile.

Le pédiluve ne doit pas avoir n'importe quel design : pour optimiser le nombre d'immersions d'un pied (au moins 2) tout en limitant le volume contenu dans le pédiluve, il est recommandé d'avoir un pédiluve de 3.0–3.7 m de long, de 0.5–0.6 m de large et de 28 cm de haut [72]. L'effet des pédiluves est curato-préventif : il permet d'apporter le topique pour guérir la lésion et prévient de l'infection des pieds sains par une désinfection ou un nettoyage de la surface de la peau et par la baisse de la pression infectieuse.

Le choix de l'une ou l'autre des voies d'application va dépendre de l'état d'endémicité de la maladie dans un élevage : la prévalence et le stade lésionnel prédominant devront être évalués ainsi que l'évolution de la maladie identifiée. Les traitements individuels restent utiles, voire indispensables, dans les élevages qui utilisent aussi des pédiluves notamment sur les vaches sévèrement atteintes [3].

1.2.3 Contrôle des facteurs de risque

Les facteurs de risque principaux sont l'hygiène du pied, les achats de bovins, les mauvaises pratiques de parage ou l'absence de parage.

Le premier élément de maîtrise serait de contrôler l'humidité de l'environnement podal et son hygiène : il faut chercher les endroits à risque (lieu de forte fréquentation, fuite d'abreuvoir), se pencher sur l'alimentation (acidose) et le nettoyage des sols doit être conséquent [62]. La propreté des sols influe directement sur la propreté des pieds des vaches. Il est donc conseillé de racler toutes les 2h. Ainsi l'effet sur la propreté des pieds est double : les déjections ne sont pas accumulées dans les aires d'exercice et les racleurs automatiques poussent une quantité moins épaisse de lisier qui n'engluie pas les pieds des vaches dans l'allée.

Les achats sont une source primordiale de contamination d'un élevage sain. Il faudrait éviter d'acheter des bêtes ou au moins leur faire observer une période de quarantaine avec un parage pour détecter d'éventuelles lésions.

Parer régulièrement (2 fois par an en moyenne) l'ensemble du troupeau permettrait de détecter précocement certaines lésions. Il permet aussi de bénéficier du parage préventif qui améliore la conformation des onglons, et du parage curatif des autres lésions qui pourraient constituer des facteurs de risque pour la dermatite digitée (cf paragraphe 1.1.1.4). Tout en veillant à garder des talons. *Primum non nocere* ! Il faut cependant prendre soin de désinfecter le matériel entre chaque vache et surtout entre chaque élevage pour des intervenants extérieurs. Le Virkon, la FAM 30 et l'hypochlorite de sodium 2% sous forme de trempage de 20 secondes se sont révélés de bons candidats pour l'élimination des tréponèmes viables du matériel de parage : à l'issue de cette désinfection les tréponèmes ne sont plus cultivables mais restent cependant détectables à la PCR [20].

1.2.4 Conduite conseillée pour le contrôle de la dermatite digitée

La DD n'a encore jamais été éliminée des troupeaux atteints depuis son émergence. Au mieux, on se retrouve dans une situation endémique où l'on maintient les lésions au stade chronique. Selon Döpfer [73], il est important de définir un niveau tolérable de cas sporadiques de boiterie et de lésions actives M2. Ces cas doivent être repérés et traités au plus vite pour maintenir un état d'endémicité acceptable par les éleveurs et les responsables de la santé du

ped. Pour ce faire, il propose que chaque élevage soit typé de la façon suivante pour pouvoir définir le meilleur protocole de gestion :

- Type 1 : des animaux qui ne développent jamais de stade M2 mais qui peuvent présenter une lésion M1 ou M4
- Type 2 : des animaux qui développent une lésion M2 suivie d'une longue période, allant de quelques mois à plusieurs années, d'absence de lésion active
- Type 3 : des animaux qui ont de façon récurrente des lésions M2 tous les 10 à 14 jours

Il faut protéger les individus sains : la principale source et réservoir de la maladie étant les lésions actives, la principale mesure de contrôle à adopter est d'écarter les animaux atteints et de guérir au plus vite les lésions. Pour les individus atteints, il faut limiter l'atteinte des tissus localement et accélérer le processus de cicatrisation. Il faut aussi ne pas négliger les lésions chroniques M3 et M4 qui sont potentiellement encore sources de tréponèmes et qui peuvent récidiver [74]. Il faut aussi tenir compte des génisses et des tarries qui sont trop souvent oubliées car mises dans un autre bâtiment mais jouent un rôle important dans le cycle de la maladie [49].

Pour pouvoir escompter des résultats, il faut surveiller l'évolution et bien savoir reconnaître les différents grades lésionnels pour ainsi évaluer l'efficacité des pratiques en cours (par exemple évaluer l'efficacité d'un traitement en pédiluve) [75].

Aucun traitement à ce jour n'a permis l'éradication complète de la maladie dans un cheptel contaminé : de nombreux protocoles de traitements ont été étudiés mais n'ont pas montré une efficacité suffisante. De plus un mésusage et une utilisation trop fréquente de produits peuvent diminuer les performances de ces thérapeutiques [60]. Par conséquent il faut essayer d'être rigoureux dans la gestion multimodale : respecter les protocoles et se tenir aux mesures d'hygiène.

Pour pouvoir proposer des conduites de contrôle adaptées il faudrait, entre autres, au niveau de la recherche, arriver à reproduire nous-même la maladie pour bien comprendre le mécanisme d'implantation (par exemple, faut-il forcément un état de dysbiose pour que la maladie s'implante ?, ou l'état de dysbiose est-il seulement la cause de la maladie?), les agents en cause et leur dynamique au cours de l'évolution de la maladie et ainsi identifier les points clés de prévention et de traitement [76].

En conclusion, plutôt que de penser à éradiquer la maladie, il faut chercher à réduire l'incidence dans l'élevage pour réduire les conséquences cliniques et économiques, en effet il a été montré que des élevages atteints à moins de 10-15% présentaient significativement moins d'expression clinique de la maladie [32], [70]. Pour cela il faut améliorer la phase de guérison des vaches atteintes qui sont alors des réservoirs de la maladie. Et il faut aussi protéger les animaux sains de la maladie et donc diminuer l'exposition aux facteurs de risque. Chaque élevage doit se voir proposer un protocole personnalisé en fonction de la prévalence, de l'endémicité, du mode de détection possible [3].

1.3 Prévention de la maladie

Dans les troupeaux sains, il faut toujours observer les pieds des animaux achetés dans un travail de pareur et autant que possible vérifier la provenance de l'animal (éviter les élevages infectés) et observer une période de quarantaine car c'est une maladie qui s'achète.

La prévention de la maladie passe par des pédiluves dans les troupeaux atteints. Nous ne reviendrons pas là-dessus comme il a déjà été largement expliqué que le pédiluve était utilisé pour son action curato-préventive.

Il faut ensuite limiter les facteurs de risque que ce soit dans un élevage sain ou un élevage déjà atteint.

Conclusion

La dermatite digitée est une maladie infectieuse bactérienne à l'origine de lésions ulcératives à nécrotiques qui évolue de façon endémique qui peut être à l'origine de boiteries qui découle sur des pertes économiques importantes pour l'éleveur. Un score des lésions a été défini pour uniformiser les discours et les recherches. Il permet également de suivre la gestion de la dermatite digitée. De nombreux facteurs de risque ont été identifiés et il faut les prendre en compte dans le plan de maîtrise de la maladie dans un troupeau, d'autant plus que la guérison complète du troupeau n'est pas possible malgré des traitements par pédiluves bien suivis.

2 Etude expérimentale

La dermatite digitée est une maladie infectieuse contagieuse podale très présente de nos jours dans les exploitations laitières, et plus récemment dans certains élevages à viande. Elle affecte 70 à 90% des troupeaux (Pays Bas 2006 [51], Ontario 2008 [77], Alberta au Canada 2016 [78]). Au sein des troupeaux, elle atteint en moyenne 5 à 30% des vaches (Pays Bas [48], [51], [78]). En France, les prévalences intra-élevages ne sont pas bien connues mais une étude de Hubert en 2015, qui avait porté sur 6 élevages du Nord-Ouest, avait noté des prévalences intra-troupeau allant de 9 à 25% [56]. La dermatite digitée engendre des lésions très inflammatoires, ulcératives, nécrotiques à la jonction entre la corne et la peau du pied. Les lésions sont à l'origine de douleur et de boiteries, le bien-être animal est altéré et les conséquences économiques se font ressentir : traitement cher et chronophage, taux de réforme important, baisse des performances de production laitière et de reproduction. Elle est la cause de fortes pertes économiques [61][58].

En plus de l'identification et de la maîtrise des facteurs de risque, le contrôle de la maladie passe par l'utilisation de pédiluves préventifs et curatifs. De nombreux produits ont déjà été testés avec une efficacité modérée. Ainsi, aucun traitement n'a permis d'éradiquer la maladie dans un élevage, au mieux on observe une stabilisation à l'état endémique avec une augmentation de la part représentée par les lésions de stade M4.

Etant donné la diffusion de la maladie et la localisation des lésions, l'application topique collective en pédiluve est une option thérapeutique de choix. Cependant les animaux peuvent être réticents à passer dans les pédiluves liquides, ce qui peut entraîner des glissades et du retard au passage. Des pédiluves à base de poudre sembleraient ainsi plus adaptés.

Des thérapeutiques alternatives, en réponse aux problèmes de toxicité environnementale de certains produits, ont déjà été proposées comme les probiotiques [56] ou la chaux neutralisée [79]. L'argile pourrait être un bon candidat car ce sont des produits souvent utilisés en humaine ou en médecine équine pour leurs vertus cicatrisantes.

C'est dans ce contexte qu'une entreprise commercialisant déjà de l'argile verte en alimentation animale, a voulu tester l'efficacité curative et préventive de leur argile (Argile verte du Velay) sur la dermatite digitée, en partenariat avec la chambre d'agriculture de la Saône-et-Loire. Cette argile est utilisée en dermatologie humaine et animale notamment sur la cicatrisation des plaies et se trouve donc être un bon candidat pour traiter les lésions de dermatite qui sont finalement des plaies infectées parfois chroniquement. L'argile est donc une matière facilement accessible, d'utilisation sécurisée, et aux effets prometteurs. Son effet sur la cicatrisation des plaies et la régénération des tissus, notamment les plaies chroniques, proviendrait de son action physique (résistance physique), chimique (hémostase, absorption des exsudats et de l'humidité), et biologique (antimicrobienne et amélioration de la cicatrisation) [80], [81].

L'argile verte du Velay®, commercialisée par la société argile du Velay, a fait l'objet d'une étude *in vitro* sur des cellules primaires de muqueuse orale humaine (communication

personnelle, Labskin Creations®). Cette étude a montré que l'argile verte du Velay® avait une action anti-inflammatoire et une action réparatrice sur les différentes phases de la cicatrisation (communication personnelle, Labskin Creations®). Elle diminuait l'inflammation dès deux heures après la mise en contact avec les cellules épithéliales de la muqueuse orale aux doses de 0,1% et 0,05%. Les expérimentateurs ont observé une diminution de la concentration en TNF alpha et interleukine 1 dans le milieu de culture des kératinocytes traités à l'argile par rapport à ceux non traités. L'argile permettait une synthèse plus importante de collagène de type I et donc une meilleure cicatrisation de la muqueuse orale. Cet effet était dose dépendante : plus la concentration en argile dans le milieu de culture était importante plus la synthèse de collagène était forte. Mais c'est seulement pour la dose la plus élevée (0.1% d'argile dans le milieu de culture) que la synthèse de collagène de type I était significativement plus importante que dans le milieu sans argile. Enfin, l'argile accélérât le processus de cicatrisation des épithéliums en permettant une migration plus rapide des kératinocytes (autour de 10% de recolonisation de plus au scratch test, et ce dès 48h de traitement). En revanche l'argile à cette dose de 0.1% avait un effet neutre sur la cinétique de recolonisation des fibroblastes. Les experts de Labskin Creations® postulent que ces résultats obtenus à partir de cellules de muqueuse orale sont transposables à la peau où les épithéliums ont tous le même processus de cicatrisation.

Dans une étude sur l'effet antibactérien, menée par Conidia® pour le compte de la société Argile du Velay, il a été montré une diminution de la viabilité de staphylococcus aureus d'environ 90%, 24h après dépôt des bactéries sur une galette d'argile en comparaison à l'inox (témoin) (communication personnelle, Conidia®).

C'est avec l'ensemble de ces données connues sur l'argile qu'il a été décidé de lancer une étude comparative longitudinale sur l'efficacité préventive ou curative du produit contre la maladie de Mortellaro en élevage naturellement contaminé.

2.1 Matériels et méthode

2.1.1 Population et échantillon d'étude

2.1.1.1 Critères de recrutement de l'élevage

Les critères d'inclusion du troupeau étaient :

- L'élevage devait présenter une prévalence modérée mais supérieure à 20% de DD
- La taille du troupeau devait être comprise entre 60 et 100 vaches laitières
- Le troupeau devait être en situation d'endémie : la dermatite digitée devait être présente depuis au moins un an pour éviter que le taux d'incidence soit faussé
- Le troupeau devait pouvoir être scindé en deux groupes au moment du traitement : sortie de robot double ou bâtiment séparé en deux avec les mêmes conditions environnementales.

Notre étude devait être menée dans le rayon d'action de la chambre d'agriculture de la Saône et Loire (Est de la France).

L'étude a été menée lorsque les animaux étaient en bâtiment sans accès à l'extérieur, période la plus propice au développement de la dermatite digitée, de mi-décembre 2019 à mi-Avril 2020.

L'échantillon d'étude était un seul élevage laitier de Saône-et-Loire, avec des vaches de race Prim Holstein et une moyenne de 50 vaches en lactation. Les contraintes techniques de l'étude (notamment le fait de pouvoir scinder en deux le troupeau et la période de COVID 19) n'ont pas permis de trouver un autre élevage durant la période d'étude, ni l'année suivante. L'exploitation était équipée d'un robot de traite avec une porte de tri automatique permettant de séparer le troupeau en 2 groupes (cf. plus loin), témoin, avec aucun traitement contre la DD et traité avec le protocole d'application de l'argile verte du Velay® en pédiluve sec.

Avant l'essai, aucun traitement collectif n'avait été mis en place : l'éleveur soignait les lésions actives lorsqu'il voyait les vaches boiter ou soulager leurs pieds. Il utilisait donc un traitement individuel à base d'oxytétrin® et le pareur faisait des pansements au hoof fit® gel sur les vaches avec des lésions actives de grosse taille lors de séances de parage préventif bisannuel (où un peu moins de la moitié du troupeau passait dans le travail).

2.1.1.2 Critères de sélection des animaux dans le troupeau

Les vaches sélectionnées pour rentrer dans l'étude étaient en lactation au moment de la 1^{ère} période de passage dans le pédiluve et devaient le rester au moins jusqu'à la deuxième visite V2. Les vaches dont la période de tarissement chevauchait la 2^{ème} visite ont été exclues de l'étude ne pouvant pas être évaluées sur une période complète.

Tous les animaux venant à la traite pendant la durée de l'étude ont été inclus dans le calcul de la prévalence initiale dans l'élevage : c'est-à-dire que les vaches en lactation, ainsi que les tarées et les génisses en préparation au vêlage ont été observées au cours de la première visite V1.

2.1.1.3 Allocation dans les différents lots

L'observation des vaches au cours de la première visite V1 ainsi que les données du robot ont permis de constituer 2 groupes de VL homogènes : un groupe traité et un groupe témoin.

Pour cela les vaches ont d'abord été classées selon leur parité (primipares VS multipares), puis par stade de lactation, et enfin par niveau de production laitière (*Figure 8*). Il a été difficile de caractériser les vaches comme faible, moyenne ou haute productrice. Dans la littérature, des classes de production journalières comme <15L, 15-30, 30-45, >45L, sont proposées. Cependant, dans notre élevage, une seule vache produisait moins de 15L et aucune plus de 45L. Il a donc fallu revoir les classes et c'est donc la production attendue par la ration à l'auge qui a constitué le point de distinction entre deux classes, les « faibles » et les « fortes » productrices. Ensuite parmi les sous-groupes formés, des couples de vaches avec des stades lésionnels similaires (actif, chronique, sain) ont été créés, puis de façon aléatoire une vache du couple était affectée au lot traité et l'autre au lot témoin.

Le niveau de production laitière (PL) était une moyenne de production journalière sur les 7 jours qui ont précédés V1.

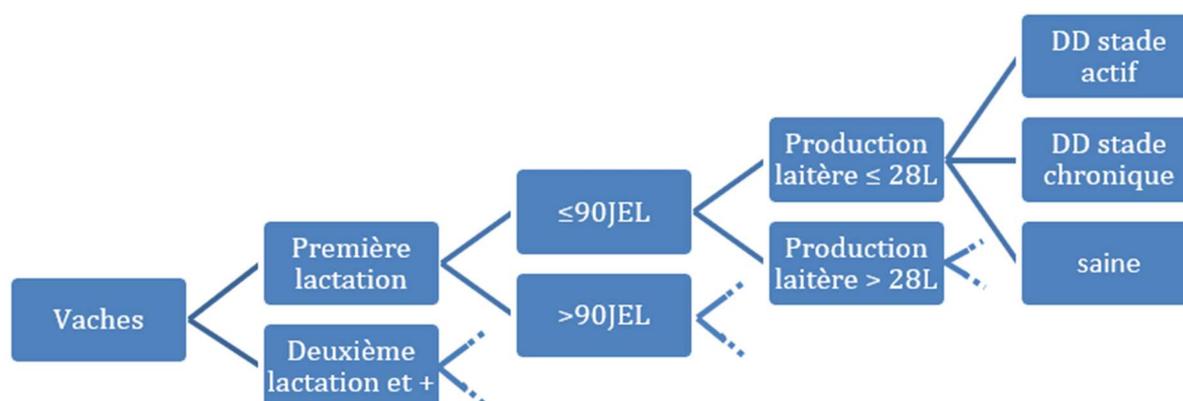


Figure 8 - Schéma de classification des animaux en vue de l'allotement

L'argile verte du Velay a été évaluée pour son efficacité curative ainsi que préventive. Deux populations ont été étudiées.

- Etude sur l'efficacité curative : suivi des pieds avec une lésion de dermatite digitée en V1

Tous les pieds avec une lésion de dermatite digitée active (M1, M2, M4-1) ou chronique (M3, M4) au moment de V1 ont été retenus pour l'étude sur l'effet curatif. Si le pied était traité d'une quelconque autre façon au cours de l'étude, le statut vis-à-vis de la maladie était considéré comme une aggravation et le pied retiré de l'analyse pour les visites suivantes. En tout 49 pieds ont été ainsi suivis.

- Etude sur l'efficacité préventive : suivi des pieds sains en début d'étude

Tous les pieds sains, c'est-à-dire noté M0, au moment de V1 ont été retenus pour l'étude de l'effet préventif. En tout, 48 pieds ont été ainsi retenus.

2.1.2 Design de l'étude

La fréquence et la durée du traitement : deux jours consécutifs tous les 15 jours.

Trois visites ont été réalisées : V1 avant le début de l'essai, V2 après 4 traitements, V3 après 5 traitements supplémentaires.

Le recueil des données a été réalisé au cours des visites V1, V2 et V3 espacés respectivement de 53 (V1-V2) et 122 jours (V1-V3). Au cours de la période d'étude les pieds arrière étaient lavés tous les jours sauf les 2 jours après le passage au pédiluve. Le design de l'étude est représenté visuellement sur la *Figure 9* (les jours de lavage ne figurent pas sur la frise).

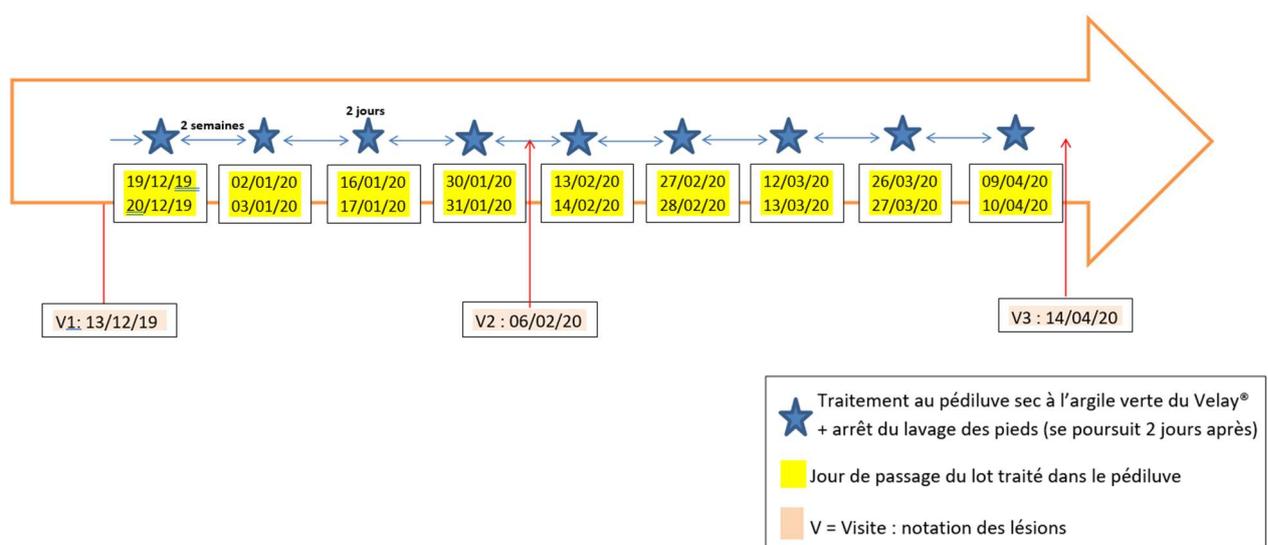


Figure 9 - Design de l'étude de traitement collectif à l'argile verte du Velay (V=visite)

2.1.3 Sélection des données de collecte

Les visites V1 et V2 ont permis de recueillir les informations nécessaires à :

- Evaluer l'efficacité préventive et curative grâce au suivi de notation des lésions de DD et prise de photographie de l'ensemble des faces plantaires de pieds observés.
- Evaluer les facteurs de variation de l'efficacité du traitement et facteurs de risque pour la maladie. Grâce :
 - À un entretien avec l'éleveur sur d'éventuels traitements antibiotiques réalisés par voie générale et l'observation de maladie(s) concomitante(s),
 - Au relevé des autres lésions podales (données lésionnelles) au parage (chaque visite)
 - A la notation de l'hygiène podale à la première visite
 - Aux données de production : relevé au robot de traite
 - De la production laitière individuelle journalière.
 - Du nombre de passage au robot durant les périodes de 2 jours de traitement, afin aussi de vérifier que le traitement n'avait pas d'effet néfaste sur la fréquentation du robot.
 - Du nombre de jours en lactation de chaque vache pour ainsi pouvoir déterminer le temps de chevauchement avec le post-partum immédiat et pic de lactation, c'est à dire le nombre de jours pendant lesquels une vache aurait été en période de post-partum immédiat ou au pic de lactation durant l'étude. On a donc considéré ici pour chaque vache le nombre de jours passés durant l'étude à moins de 90 jours de lactation

2.1.4 Suivi lésionnel

Il consistait en une inspection de la partie plantaire et dorsale de chaque pied postérieur pour attribution d'un score lésionnel selon la grille présentée en *Figure 4* (sans le détail des sous-types A, B, C, D, E). Si un pied comportait plusieurs lésions, le score le plus sévère lui était attribué selon cet ordre : M2 > M1 > M4-1 > M3 > M4.

2.1.4.1 Notation de la propreté des membres

La grille de notation utilisée pour évaluer la propreté des membres postérieurs était celle établie par Guatteo en 2013 (*Figure 10*) [82].

Tableau 1 Grille de notation illustrée de la propreté de la face dorsale du pied

Note	Description	Exemples
0	Corne entièrement visible ou croûte peu épaisse sur une partie de la corne	
1	Corne entièrement recouverte d'une croûte non épaisse, espace entre onglons visible	
2	Corne entièrement recouverte d'une croûte épaisse, espace entre onglons parfois non visible (« gangue »)	
3	Corne entièrement recouverte d'une croûte épaisse qui recouvre la ligne entre les poils et la corne	
4	Gangue de croûtes allant des onglons à la ligne au-dessus des onglons accessoires	
5	Gangue de croûtes allant des onglons jusqu'au-dessus des onglons accessoires	

Tableau 2 Grille de notation illustrée de la propreté de la face palmaire du pied

Note	Description	Exemples
0	Absence de croûte, zone sous les onglons accessoires propre	
1	Gangue de croûtes sur les onglons accessoires, zone sous les onglons accessoires propre	
2	Croûtes allant des talons à la ligne au-dessus des onglons accessoires	
3	Croûtes allant des talons et sous la ligne sous le jarret	
4	Gangue de croûtes allant des talons jusqu'au jarret	
5	Gangue de croûtes partant des onglons accessoires et pieds propres sous les onglons accessoires	

Figure 10 - Grille de notation de la propreté des membres de bovins d'après [82]

Les règles d'évaluation de la propreté étaient les suivantes :

- Seule la propreté des membres postérieurs était évaluée.
- Pour chaque vache, la note du pied le plus sale était retenue.
- Lors de boiterie, seule la propreté du pied non boiteux était évaluée.
- Les bouses « fraîches » n'étaient pas prises en considération (les vaches étant retenues au cornadis plus longtemps que d'habitude).

Au travers de la notation de la propreté des membres, nous avons cherché à caractériser le niveau d'hygiène de l'élevage pour pouvoir prendre en compte cette notation comme covariable dans le cas où l'étude aurait comporté plusieurs élevages. A la première visite 30 vaches, prises au hasard, ont été notées sur la propreté des membres. Cela représentait 55% des vaches présentes dans le bâtiment vache laitière. On estime que cet échantillon était représentatif de l'élevage.

2.1.4.2 Données pouvant influencer la prévalence de la dermatite digitée

Nous avons tout d'abord inspecté le logement et étudié la conduite d'élevage afin d'évaluer les facteurs de risques et de pouvoir les prendre en compte dans l'étude statistique.

- Conduite d'élevage : fréquence de raclage, mode de raclage
- Données de parage : relevé des autres lésions podales observées

- Traitement individuel à l'oxytétrin® réalisé par l'éleveur au besoin

Les données relatives à l'élevage n'ont finalement pas été prises en compte étant donné qu'un seul élevage a été étudié.

2.1.5 Collecte des données : déroulement des visites

Au cours des visites, les vaches du troupeau étaient passées une à une dans le travail de pareur. A chaque fois, le protocole de collecte des données était le même :

- Identification de la vache
- Nettoyage de la face plantaire du pied avec un seau d'eau jeté sur la face plantaire voire brossage de cette même face avec une brosse nylon
- Notation de la lésion
- Réalisation d'une photo après parage

A l'aide des données du robot de traite, on a pu vérifier que les vaches passaient bien quatre fois au pédiluve en moyenne et que le nombre de passage n'était pas différent entre les traitées et les témoins, ce qui aurait pu signifier une certaine réticence à passer dans le pédiluve.

L'éleveur identifiait et notait les vaches boiteuses et notamment celles qui posaient le pied en pince.

2.1.6 Protocole expérimental

2.1.6.1 *Caractéristiques de l'argile verte du Velay®*

L'argile utilisée pour cette expérimentation est une argile sèche d'une granulométrie de 300 microns (90 %) et de 100 microns (10 %).

La composition minéralogique est consultable en annexe 1, elle comprend 3 sortes d'argile :

- L'illite 40-50%
- La montmorillonite 10-15%
- La kaolinite 8-20%

2.1.6.2 Modalités de traitement en pédiluve

2.1.6.2.1 Le pédiluve

Les pédiluves choisis étaient les pédiluves modulables de la marque LA Gee d'une dimension de 124,5 cm de long, 80cm de large et 16cm de haut (*Figure 11*). Trois pédiluves ont été mis bout à bout pour avoir plus de 3 mètres de passage, et obtenir assez d'immersion du pied pour recouvrir la peau [72].

Les pédiluves ont été remplis d'argile avant chaque phase de traitement et le niveau a été réajusté chaque jour de traitement.



Figure 11 - Les 3 pédiluves alignés dans le couloir de sortie (avant rectification du niveau d'argile)

2.1.6.2.2 Protocole

Une semaine avant le premier passage dans les pédiluves, des buses d'arrivée d'eau ont été ajoutées et mises en service à l'arrière du robot de traite de façon à pouvoir laver à l'eau les pieds arrières avec des jets d'eau envoyés sous pression sur la face plantaire du pied (*Figure 12*). Le système de lavage était stoppé les deux jours suivants le traitement de façon à ce que la poudre puisse rester un certain temps en place sur le pied.

Au cours de la visite V1, toutes les vaches ont été parées en préventif, ou en curatif si besoin était, sans appliquer de produit.

Le protocole de traitement était le suivant : les vaches du lot traité étaient dirigées par le robot de traite soit directement vers la stabulation, soit vers un couloir où étaient les trois pédiluves remplis d'argile, pendant 2 jours tous les 15 jours, en sortie de chaque traite. Le renvoi se faisait automatiquement dans le couloir où étaient entreposés les pédiluves aux dates prévues par programmation du robot de traite (*Figure 9*).

L'éleveur était en charge de maintenir une hauteur constante de 15cm de poudre dans les pédiluves et deux fois par jour il décompactait la poudre en passant un coup de fourche. Les vaches n'émettaient que très peu de bouses dans les pédiluves.



Figure 12 – Système de lavage de la face plantaire du pied par les buses d'éjection (flèches rouges), installées sur le robot de traite

2.1.6.3 Modalités de traitement individuel

Pour des raisons éthiques, au cours de l'étude, l'éleveur pouvait traiter de façon individuelle les vaches qu'il jugeait trop douloureuses/boiteuses. De la même façon au moment du parage au cours des visites V2 et V3, les vaches que l'éleveur avait notées fortement boiteuses et qui présentaient une lésion M2 de plus de 5cm étaient traitées. Le traitement consistait en deux applications d'oxytétracycline en spray par voie locale (oxytétrin P®, MSD Animal Health) à 48h d'intervalle. Une application correspondant à 2 coups de sprays espacés de 15 secondes d'intervalle. Les lésions des vaches traitées au moment du parage étaient considérées comme « en aggravation » dans l'étude statistique au moment de la visite, le pied traité était exclu pour la suite de l'étude.

2.1.7 Stratégies d'analyse des données descriptives

2.1.7.1 *Vérification de l'homogénéité des groupes : facteurs de variation qualitatifs*

Le tirage au sort devait permettre de répartir de manière homogène les couples de vaches dans chaque lot suivant les facteurs de variations initialement retenus : stade de lactation (moins ou plus de 90 jours de lactation), production laitière (égale ou inférieure à la production réalisable par la ration à l'auge ou supérieure), parité (primipares ou multipares), stade de lésions, temps de chevauchement immédiat avec le début de lactation (<90 jours).

Cette homogénéité a été vérifiée au sein de chaque échantillon (étude préventive ou curative) entre le lot témoin et le lot traité, au travers de graphiques. En cas de doute sur l'homogénéité, les effectifs théoriques étant inférieurs à 5, des tests de Fisher ont été réalisés pour vérifier statistiquement la distribution des variables.

Comme l'étude avait pour unité statistique le pied, les distributions des divers facteurs ont aussi été vérifiées à l'échelle du pied. Les effectifs théoriques étant supérieurs à 5 des tests de khi-deux ont été réalisés lorsque l'on avait un doute sur la distribution graphique.

Pour la variable quantitative représentant le temps de chevauchement avec la période post-partum/pic de lactation, un test de Mann Whitney Wilcoxon a été réalisé.

2.1.7.2 *Analyse des données descriptives pour l'étude de l'efficacité du produit*

En premier lieu, une étude descriptive simple de l'évolution de la prévalence dans le lot témoin et le lot test (étude curative et préventive confondues) a été réalisée pour obtenir une première vision globale.

Les données ont été saisies dans des fichiers Excel puis convertis en fichier texte et traités par le logiciel RStudio.

Pour simplifier l'étude statistique le stade lésionnel a été réduit à un score lésionnel. Les pieds atteints par une lésion active M1, M2 ou M4-1 étaient notés 2, les pieds atteints par une lésion chronique M3 ou M4 étaient notés 1 et les pieds sains 0. Ainsi en se basant sur le score lésionnel, on pouvait prendre en compte les stades actifs et les stades chroniques qui jouent un rôle dans l'endémicité de la maladie. L'unité statistique était le pied postérieur.

- Etude d'efficacité préventive

Les pieds inclus dans l'analyse étaient les pieds notés M0 en V1. La variable d'intérêt était l'apparition d'une lésion durant l'étude. Si l'animal était réformé ou décédait au cours de l'étude les résultats n'étaient pas pris en compte.

Les fréquences d'apparition ont été calculées à l'aide du logiciel R et comparées par un test de khi 2 d'indépendance (effectifs théoriques supérieurs à 5).

- Etude d'efficacité curative

Les pieds inclus étaient ceux qui présentaient une lésion de dermatite digitée, qu'elle soit active ou chronique. La variable d'intérêt était l'évolution lésionnelle à chaque visite. La variable était à deux modalités : effet positif (c'est-à-dire amélioration = passage de 2 à 1 OU guérison = passage de 2 à 0 ou de 1 à 0), pas d'effet positif (c'est-à-dire aggravation = passage du stade 1 au 2 ou pied classé 2 avec une lésion M2 qui grandit et qui fait boiter l'animal au point qu'un traitement individuel doit être appliqué OU stabilisation = reste au même stade).

Les fréquences des deux modalités ont été calculées à l'aide du logiciel R et comparées par un test de Fisher (effectifs théoriques inférieurs à 5).

- Etude de l'effet du traitement sur la production laitière

Un graphique de la production laitière journalière moyenne par lot a été réalisé pour donner une vision globale de l'évolution au cours du suivi.

2.2 Résultats

2.2.1 Echantillon d'étude

2.2.1.1 Présentation de l'élevage recruté

Un seul élevage a pu être recruté pour l'expérimentation dans la période d'étude impartie. Les principales caractéristiques sont présentées dans le **Tableau 1**. La prévalence initiale dans le troupeau était de 62.7% des vaches, mais seulement 47,5% des pieds arrière. Au total, 49 pieds ont été inclus dans l'étude curative et 48 dans l'étude préventive. Le pareur passait deux fois par an pour parer les vaches les plus boiteuses mais jamais plus de la moitié du troupeau selon l'éleveur.

Les prévalences initiales de la maladie ont été calculées par rapport à l'ensemble des vaches observées à la première visite V1 dans l'élevage (bâtiment vache laitière + bâtiment vache tarie et génisse en préparation). Ce chiffre est différent de la prévalence initiale de l'étude, puisque certaines vaches n'étaient pas encore en lactation à V1. Pour rappel, il s'agissait des vaches hors du bâtiment des VL (tarées ou génisses) entrées en lactation au cours de la période V1-V2.

Tableau 1 - Présentation de l'élevage recruté (*paille hachée parsemée sur le matelas)

Elevage	1
Localisation	Hautefond (71)
Nombre de vaches présentes à la première visite	53
Prévalence initiale (vache) (%)	62.7
Prévalence initiale sur pied avant et arrière (%)	25.8
Prévalence initiale sur pieds arrière	47.5
Prévalence initiale lésions actives pieds arrière	36.7
Logement	Logettes matelas paillée* + adjonction saniblanco 1x/sem
Nature du sol de l'aire d'exercice	Caillebotis
Raclage	Automatique : Robot racleur 10x/jour
Score moyen de propreté des pieds	1,48
Mode de traite	1 robot avec porte directionnelle ouvrant sur 2 sorties
Parage curatif	Lors du passage du pareur (2 fois par an)
Parage préventif	2 fois par an (moins de la moitié du troupeau à chaque fois)
Nombre de pieds dans l'étude curative	49
Nombre de pieds dans l'étude préventive	48

2.2.1.2 Présentation des échantillons

2.2.1.2.1 Comparaison lot témoin – lot expérimental

En tout 40 vaches ont été observées durant l'étude (20 dans le lot contrôle et 20 dans le lot test), ce qui représente 80 pieds postérieurs. Au final, après sélection des pieds pour lesquels on avait toutes les données au cours des 3 visites, 79 pieds ont été retenus pour l'étude statistique (1 pied avait été traité à V1). A partir des 20 vaches du lot témoin, 25 pieds ont été intégrés à l'étude curative et 15 à l'étude préventive. Pour le lot traité de 20 vaches, 19 pieds étaient inclus dans l'étude curative, et 20 dans l'étude préventive. Les prévalences initiales sur les pieds arrière étaient de 62.5% dans le lot témoin et 48.7% dans le lot traité.

Les principales caractéristiques du lot témoin et traité sont présentées dans le **Tableau 2** ci-dessous. Seuls les animaux dont nous possédions l'ensemble des données pour toutes les variables et tout au long de l'étude ont été présentés dans ce tableau.

Tableau 2 - Particularités des lots témoin et traité

		Lot témoin	Lot traité
Nombre de vaches		20	20
Nombre de pieds retenus pour l'étude curative		25	19
Nombre de pieds retenus pour l'étude préventive		15	20
Prévalence initiale à l'échelle de la vache		75	70
Prévalence initiale de DD tout stade confondu sur le pied arrière		62.5	48.7
Prévalence initiale de DD stade actif M1/M2/M4-1 sur le pied arrière		38	26.5
Parité	1	6	6
	2 et +	14	14
Jours en lactation	0-90	4	9
	>90	16	11
Potentiel de production laitière (en kg)	0-28	10	8
	>28	10	12

Les graphiques et les tests appliqués aux différentes variables caractérisant les lots témoin et traité (prévalence, parité, nombre de jours en lactation, potentiel de production, temps de chevauchement avec la période de post-partum immédiat/pic de lactation, nombre de passages moyen au robot les jours de de traitement) n'ont pas montré de différence significative entre les deux lots.

2.2.1.3 Présentation des échantillons d'étude préventive et curative

Après avoir obtenu les lots témoin et traité, deux échantillons ont été créés, un pour l'étude préventive à partir des pieds qui ne présentaient pas de lésions de dermatite digitée et l'autre pour l'étude sur l'efficacité curative à partir des vaches qui présentaient une lésion de DD. Ces échantillons sont présentés dans le *Tableau 3*.

Tableau 3 – Principales caractéristiques de l'échantillon de l'étude sur l'effet préventif et de l'échantillon de l'étude sur l'effet curatif

Nombre de pieds (nombre de vaches)		Echantillon étude effet curatif		Echantillon étude effet préventif	
		44 (29)		35 (24)	
		Lot témoin	Lot traité	Lot témoin	Lot traité
		25	19	15	20
Nombre de lactations	1	7	6	5	8
	2 et +	18	13	10	12
Production laitière	0-objectif ration à l'auge*	15	8	6	7
	>objectif ration à l'auge*	10	11	9	13
Jours en lactation	<90	4	8	4	7
	>90	21	11	11	13

*La ration à l'auge permet théoriquement une production de 28L de lait dans l'élevage étudié

Encore une fois, au sein des deux échantillons (curatif et préventif), ni les graphiques, ni les tests n'ont montré de différence significative au niveau des facteurs de variation entre les lots témoin et traité.

2.2.2 Résultats de l'analyse des données descriptive sur la dynamique de la dermatite digitée

2.2.2.1 Etude de la prévalence globale (pieds initialement sains et atteints confondus)

On a pu distinguer deux prévalences à l'échelle des pieds arrière ; celles des lésions actives (**Figure 13**), et celles des lésions tout stade confondu de DD (actif et chronique) (**Figure 14**).

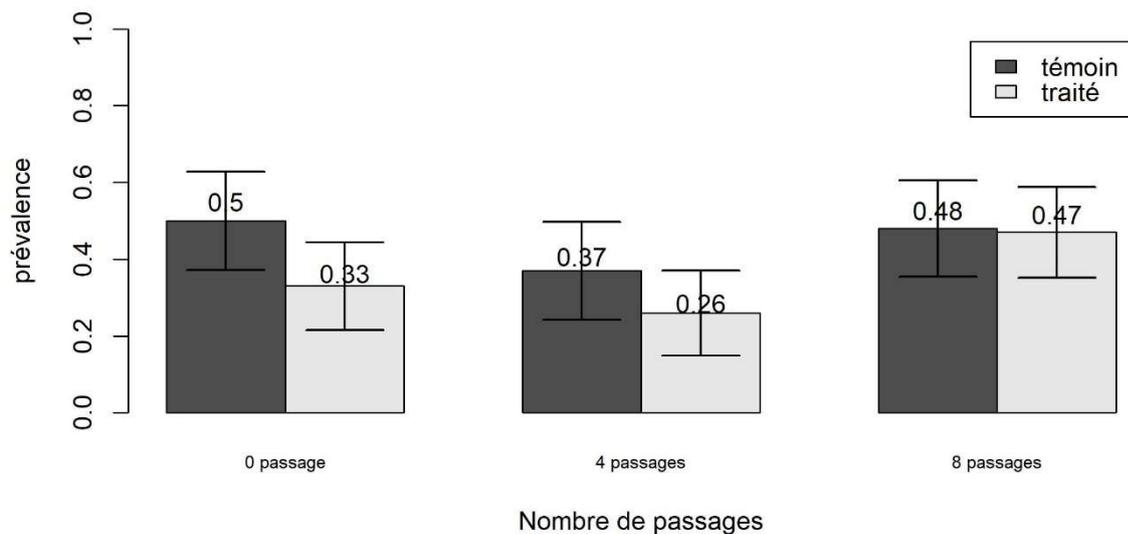


Figure 13 - Evolution de la prévalence en stade actif sur les pieds arrière dans le lot témoin et le lot traité au cours du suivi

En ce qui concerne l'évolution de la prévalence en stade actif, on a observé un écart, non significatif (p -value= 0.16), entre les prévalences initiales dans les deux lots. Au cours du suivi, la prévalence des lésions dans les deux lots semblait augmenter après V2 pour devenir identiques entre les deux lots après 9 passages dans le pédiluve. Cependant, il n'y avait pas de différence significative avec la prévalence relevée à la première visite pour le lot traité. Pour les deux lots, on a observé une baisse de la prévalence après la période de 4 passages dans le pédiluve, soit 53j après le début de l'expérience, qui n'était cependant pas significative.

Le constat a été le même quand on s'est intéressé aux prévalences des lésions de DD en général (tout stade confondu) **Figure 14**.

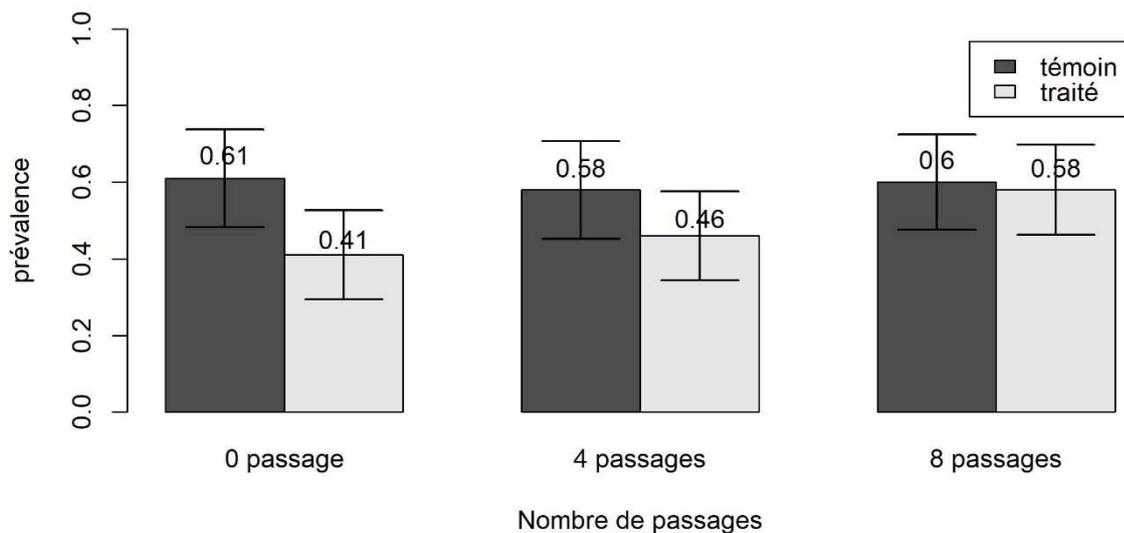


Figure 14 - Evolution de la prévalence des lésions de DD tout stade confondu sur les pieds arrière dans le lot témoin et le lot traité au cours du suivi

2.2.2.2 Etude de l'incidence de la maladie dans l'échantillon de pieds initialement sains

Les fréquences d'apparition de lésions dans les différents lots sont présentées **Tableau 4**.

Tableau 4 - Fréquence d'apparition de lésions dans le lot traité et le lot témoin selon le nombre de passages en pédiluve

		Lot témoin	Lot traité
Fréquence d'apparition	Après 4 passages	0% (0/19)	3.4% (1/29)
	Après 9 passages	17.6% (3/17)	26.9% (7/26)

D'après le test de Fisher, appliqué pour des effectifs théoriques inférieurs à 5, il n'y avait pas de différence significative du taux d'incidence de la maladie entre le lot traité et le lot témoin dans l'échantillon de pieds initialement sains (p-value respectivement égale à 1 et 0.71 après 4 et 9 passages dans le pédiluve).

2.2.2.3 Résultats de l'étude descriptive sur l'efficacité curative

Dans l'échantillon de pieds initialement atteints, on a pu noter (**Figure 15**) que le score lésionnel moyen à V1 était comparable du lot témoin au lot traité. Après 53 jours d'étude les scores lésionnels semblaient diminuer dans les deux groupes. Les différences par rapport à J0 n'étaient pas significatives (p-value 0.09 pour le lot témoin et 0.12 pour le lot traité). A 122

jours d'étude, le score lésionnel moyen du lot traité a augmenté alors qu'il était plutôt stable pour le lot témoin

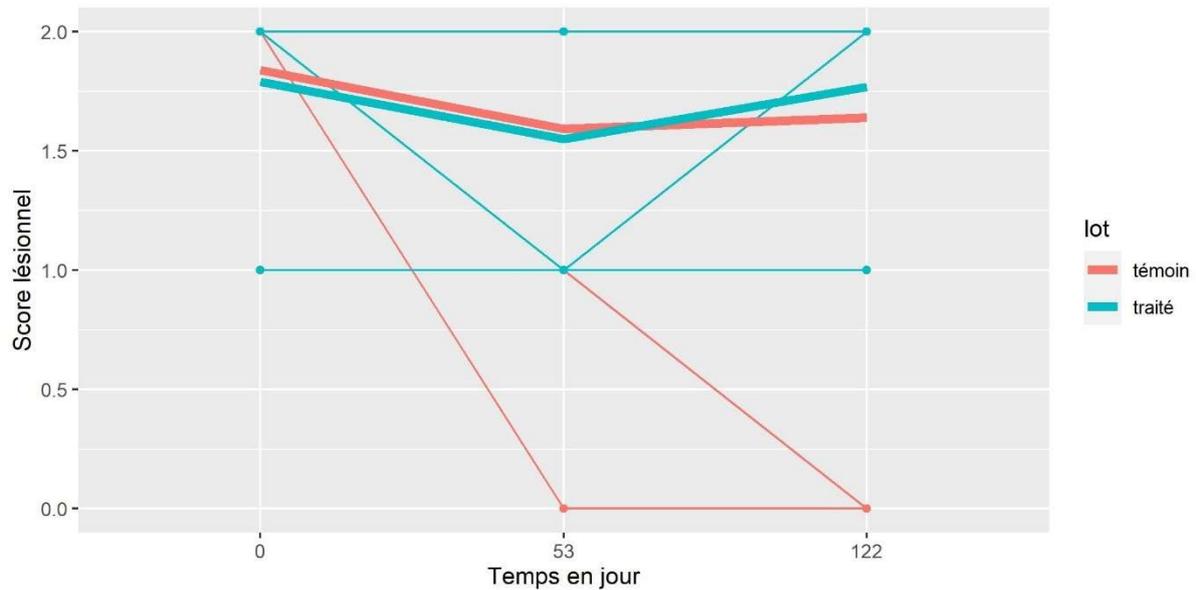


Figure 15 - Evolution du score lésionnel moyen au cours du suivi et visualisation des différentes évolutions

En bleu l'évolution du lot traité et en rouge celle du lot témoin. Les traits fins représentent les différentes évolutions possibles du score lésionnel au cours du temps et les traits épais l'évolution du score moyen au cours de l'étude

Si l'on décrit les choses de façon qualitative, au travers de la **Figure 16**, avec la variable « évolution lésionnelle », il semblerait que l'évolution des lésions soit similaire d'un lot à l'autre. La proportion de pieds ayant suivi une évolution favorable (nombre de pieds en amélioration ou guérison par rapport au nombre de pieds initial), traduisant ainsi l'effet curatif, n'était pas différente entre le lot témoin et le lot traité après 4 ou 9 passages (p -value > 0.35). Les résultats des tests de Fisher sont exposés **Tableau 5**. De même, la proportion de pieds ayant suivi une évolution favorable n'est pas différente entre les périodes V1et V2 ou V1 et V3 au sein de chaque lot (Durée de traitement, **Tableau 6**).

Tableau 5 - Résultat des tests de Fisher sur la différence entre les fréquences d'effet positif au niveau du lot témoin et du lot traité

Nombre de passages en pédiluves			Oddratio	Intervalle de confiance		P-value
4 passages	Effet positif (amélioration et guérison)	Témoin		REFERENCE		
		Traité	0.96	0.16	5.4	1
9 passages	Effet positif (amélioration et guérison)	Témoin		REFERENCE		
		Traité	0.31	0.01	3.57	0.37

Tableau 6 - Résultats des tests de Fisher sur la différence entre les fréquences d'effet positif d'une période à l'autre au sein d'un même lot (témoin ou traité)

Lot			Oddratio	Intervalle de confiance		P-value
Témoin	Effet positif (amélioration et guérison)	4 passages	REFERENCE			
		9 passages	0.31	0.01	3.57	0.37
Traité	Effet positif (amélioration et guérison)	4 passages	REFERENCE			
		9 passages	0.26	0.00	3.03	0.35

En revanche, on constate une différence sur le nombre de lésions aggravées entre le lot traité et le lot témoin à 122 jours, en effet dans le lot traité : le nombre d'aggravations a été plus important au bout de 122 jours (5 lésions aggravées sur 16, *Tableau 8*) qu'au bout de 53 jours où il n'y avait aucune aggravation (*Tableau 7*). Analysée par le test de Fisher, une association possible a ainsi été montrée entre le nombre de passages dans le pédiluve et la fréquence d'aggravation (p-value = 0.04). Il semblerait qu'il y ait bien plus d'aggravation après 9 passages qu'après 4 passages. Cependant il faut noter que cette aggravation n'a concerné qu'un nombre minime de pieds (5), dont 4 pieds étaient des pieds avec des lésions M2 qui avaient nécessité un traitement individuel de l'éleveur sur boiterie observée.

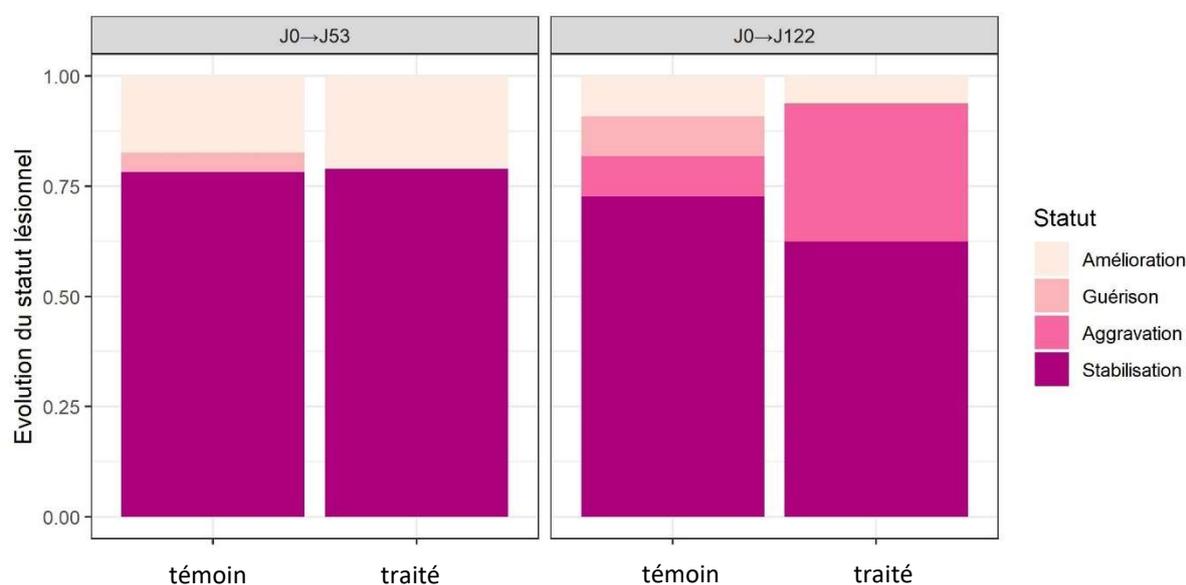


Figure 16 - Statut de l'évolution lésionnel comparé après 53 jours et 122 jours d'étude

Tableau 7 - Table de contingence de l'évolution lésionnelle à 53 jours en fonction du traitement

	Aggravation	Stabilisation	Amélioration	Guérison
Témoin	0	18 (78%)	4 (17%)	1 (4%)
Traité	0	15 (79%)	4 (21%)	0

Tableau 8 - Table de contingence de l'évolution lésionnel à 122 jours en fonction du traitement

	Aggravation	Stabilisation	Amélioration	Guérison
Témoin	2 (9%)	16 (72%)	2 (9%)	2 (9%)
Traité	5 (31%)	10 (63%)	1 (6%)	0

2.2.2.4 Résultats du parage

L'observation des autres lésions présentes sur les onglons a surtout mis en évidence une forte prévalence de fourchet dans le troupeau : environ 40% des vaches observées à V1 étaient porteuses de lésions de fourchet.

Au parage à V1, le pareur a voulu assainir ces lésions de fourchet en enlevant la corne de mauvaise qualité, effritée en talon. Cependant les vaches n'avaient déjà pas beaucoup de hauteur de talon et cela a encore diminué celle-ci, la faisant passer en dessous de la hauteur recommandée (4-5 cm minimum) [83] et accentuant ainsi le contact avec le milieu contaminé.



**Figure 17 - Photographie de la face palmaire d'un pied après parage à V1
les talons sont bas (inférieur à 4cm), flèche rouge = traces du parage des lésions de fourchet**

On peut voir sur la *Figure 18*, des photographies prises à V1 ; on peut voir à gauche un pied avec des talons de hauteur acceptable et à droite plusieurs pieds de vaches différentes avec des talons trop bas. On remarque que la zone à risque de DD est plus en contact avec le milieu contaminé.



Figure 18 - Photographie de pieds de vache dans l'élevage d'étude
A gauche un pied avec une hauteur de talon acceptable et à droite plusieurs pieds avec une hauteur de talons en dessous des recommandations de parage (supérieur à 4cm)

Aucune mesure de hauteur de talon n'a été faite au cours du parage. Cependant l'étude à postériori, de l'ensemble des photographies prises de la face plantaire de chaque pied, a montré que 40 à 50% des vaches avaient des talons de hauteur inférieure aux recommandations. Les proportions de talons bas dans le lot témoin et dans le lot traité n'étaient pas différentes significativement.

2.2.2.5 Résultat sur la production laitière

L'estimation de la production laitière a été plutôt bonne à partir de la production journalière moyenne avant l'étude (7 jours précédents). En effet, les productions avant et pendant l'étude coïncidaient avec une bonne corrélation (*Figure 19*). Seules quelques vaches ont été mal évaluées (N° de travail dans la figure), dont deux fraîchement vèlées (moins de 10 jours) au moment de l'allotement.

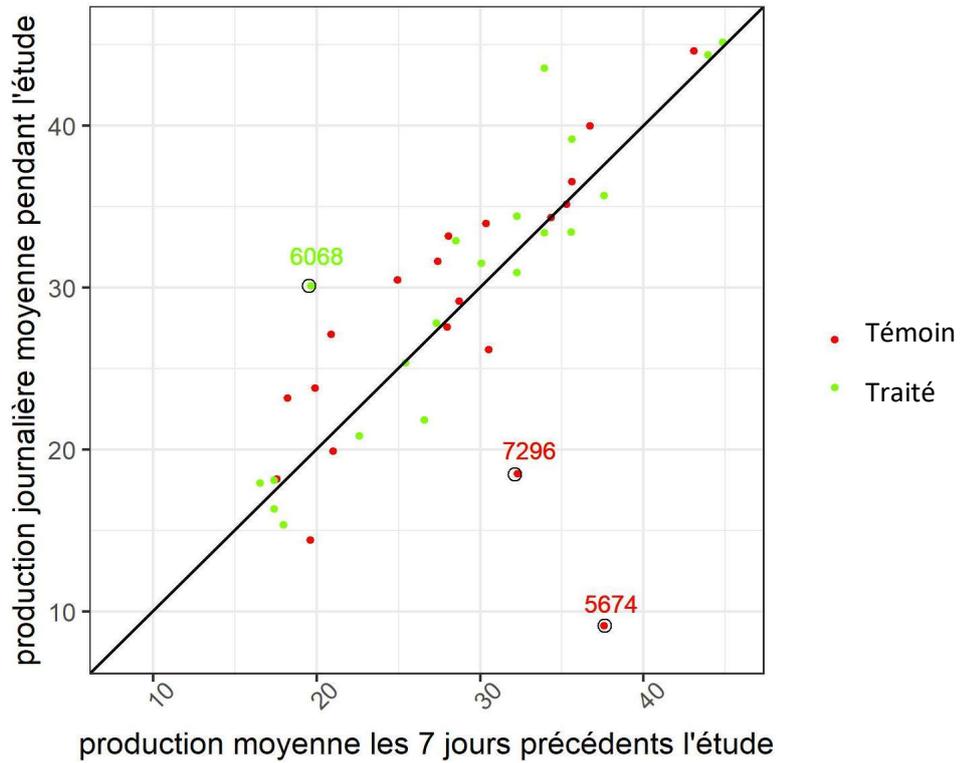


Figure 19 - Production laitière journalière moyenne au cours de l'étude en fonction de la production journalière moyenne sur les 7 jours précédents l'étude

La *Figure 20* nous montre la production laitière journalière moyenne au cours du temps dans chaque lot. Graphiquement aucune tendance ne se dessine, donc nous ne pouvons pas observer de différence entre les lots au moment du passage dans les pédiluves.

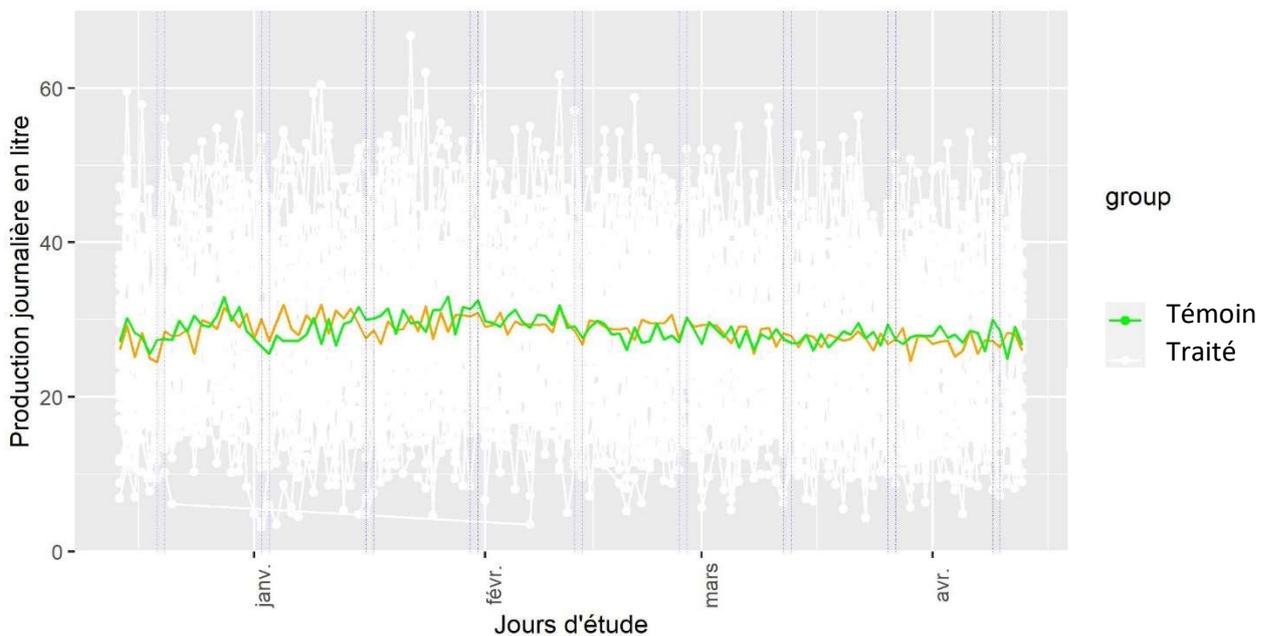


Figure 20 - Production laitière journalière au cours de l'étude

2.3 Discussion

Dans cette étude nous avons suivi l'évolution des lésions de dermatite digitée dans un élevage laitier, au cours de quatre mois de traitement alternatif avec de l'argile verte du Velay en pédiluve sec. Le troupeau a été scindé en un lot témoin et un lot traité.

2.3.1 Résultats de l'étude

- Aucun effet significatif curatif ou préventif sur la dermatite digitée de l'argile verte du Velay n'a pu être mis en évidence au cours de cette étude. Les fréquences d'apparition de lésions et la fréquence d'effet positif sur les lésions ne sont pas significativement différentes d'un lot à l'autre sur les périodes V1-V2 ou V1-V3.

Si on regarde les études similaires portant sur l'évaluation de l'efficacité curato-préventive d'un produit en pédiluve sec, les résultats ne montrent pas souvent de différence significative entre un lot témoin et un lot traité. Une étude de Lazennec *et al.* en 2018 [84] avait porté sur l'efficacité préventive et curative du Mistral® (argile sèche et huiles essentielles) en pédiluve sec. Ils avaient étudié l'évolution de la maladie sur 180 vaches de 3 élevages scindés en deux lots comme dans notre étude. Ils avaient réussi à montrer une incidence significativement plus faible (effet préventif) dans le lot traité mais n'avait pas montré de différence significative sur la guérison des lésions malgré une tendance à la diminution de prévalence dans le lot traité [84]. De même une étude de Hubert en 2015 [56] sur l'efficacité de poudre de probiotiques en pédiluve sec n'a permis de montrer qu'une tendance à l'efficacité curative (50% de guérison des lésions 26 jours avant le lot témoin). En revanche, l'incidence était significativement plus importante dans le lot traité. Cette étude avait porté sur 1850 pieds pour l'étude préventive et 596 pour l'étude curative.

D'après deux méta-analyses de 2019 et 2015 [85], [86], il semblerait que d'une façon générale les produits dont on pensait avoir prouvé scientifiquement l'efficacité mériteraient encore d'être étudiés car ces études seraient souvent mal conduites et finalement le niveau de preuve serait bien inférieur à ce que l'on pense. Par exemple, le sulfate de cuivre que l'on considère comme étant le gold standard pour la gestion de la DD et que l'on utilise même comme témoin positif dans d'autres études n'a finalement jamais vraiment fait ces preuves. Comme dans notre étude, les échantillons sont souvent trop petits. Ils ne sont pas comparés à un témoin négatif, l'analyse statistique n'a pas été ajustée aux covariables ou autres variables confondues. Les études sur les thérapeutiques de la DD manquent de standardisation pour augmenter leur puissance statistique par incrémentation.

La plupart des études qui démontrent un effet d'un traitement sur des petits lots (20 à 50 pieds) sont celles qui portent sur le spray à l'oxytétracycline [87], [88]. Dans notre étude le nombre de pieds est vraiment faible, et l'essai manque de puissance pour montrer une action. En effet, pour montrer une différence de 30% entre le taux de guérison du lot témoin et celui du lot traité, avec une puissance de 80% (probabilité de mettre en évidence une différence

qui existe) et un risque d'erreur de première espèce fixé à 5%, il faut déjà 4362 pieds atteints par lot.

- Dans le lot traité, nous avons remarqué significativement plus d'aggravation des lésions à V3 qu'à V2. En effet il n'y avait aucune aggravation de lésions podales entre V1 et V2 alors qu'entre V2 et V3 cinq pieds s'étaient aggravés dans le lot traité. Ce résultat est à prendre avec précaution car quatre de ces observations ne correspondaient pas à une réelle aggravation du score lésionnel mais à des animaux catégorisés comme aggravés parce que l'éleveur avait dû réaliser un traitement additionnel, les trouvant trop douloureuses. Comme nous n'étions pas présents, il est impossible de préciser si seule la lésion de mortellaro s'était aggravée ou si un autre problème est à l'origine de la douleur (fourchet, ulcère de sole ou hémorragie de sole, etc. Malgré tout, 2 de ces vaches traitées entre V2 et V3 présentaient une lésion stable à V3 par rapport à V2 donc nous les aurions classées comme évolution négative.

Concernant l'analyse de la production laitière, elle n'a pas pu être ajustée et étudiée par une régression logistique étant donné le faible nombre d'individus dans les échantillons c'est pourquoi les résultats ont juste été reportés tel quel.

2.3.2 Difficultés à la réalisation et interprétation de l'étude

Cette étude a montré un certain nombre de difficultés quant à sa réalisation ou à l'interprétation des résultats.

La conjoncture temporelle a compliqué l'étude par plusieurs aspects : manque de préparation, absence de suivi puis difficultés de suivi avec le Covid et le confinement. Ainsi, l'arrivée tardive dans l'essai sans avoir de temps pour lire la bibliographie et l'intégrer à la réflexion méthodologique n'a pas permis de modifier ni améliorer les pratiques. De plus la COVID a modifié la chronologie de l'étude, normalement V3 aurait dû être réalisée après 4 passages en pédiluve comme entre V1 et V2. Enfin, la pandémie a sans doute aussi empêché d'adjoindre d'autres élevages au protocole.

Par ailleurs, il a manqué du temps pour me former à la reconnaissance des lésions. Nous avons pallié ce problème par la réalisation de photos, mais une formation appropriée à la reconnaissance des lésions aurait été plus pertinente [46], [56], [70]. Sans formation, il peut y avoir des variations entre observateurs, notamment avec le pareur [3]. La notation a été facilitée par la réalisation des photos et nous ne pouvons que remercier l'aide de A. Relun à la lecture et classement de certaines lésions.

Le protocole aurait été modifié avec plus de temps de préparation. Il est difficile de réaliser des lots homogènes sur un troupeau de taille moyenne (50 vaches). On ne peut pas bien apparier les vaches entre elles. De plus, initialement l'allotement a été pensé de la telle façon que l'unité statistique serait la vache donc on ne s'est pas trop préoccupé du nombre de pieds atteints sur chaque vache mais plutôt du stade le plus infectieux que portait la vache (stade actif > stade chronique > sain). Cela induit une difficulté d'analyse des résultats puisque les lots ne sont pas aussi comparables que souhaités et on se retrouve avec un nombre inégal de

pieds dans chaque lot (par exemple 25 dans le lot témoin contre 19 dans le lot traité pour l'étude sur l'effet curatif). Il aurait plutôt fallu homogénéiser les lots d'abord sur le nombre de pieds lésés ou sains que portaient chaque vache, par exemple dans le même ordre d'idée un essai avait sélectionné au départ que les vaches dont un seul pied était atteint [89]. Pour des topiques à usage individuel, l'avantage est que l'allotement peut se faire directement sur les pieds comme une vache peut à la fois être traitée [87],[90]. Ce déséquilibre a conduit à un manque d'homogénéité sur la prévalence initiale de pieds atteints : en effet elle était de 62.5% dans le lot témoin et 42% dans le lot traité. Même si cette différence s'est révélée non significative, on ne peut pas dire si elle a pu jouer sur les résultats.

Par ailleurs les talons des vaches étaient trop bas pour plus de la moitié d'entre eux. Or, on sait que c'est un facteur de risque pour l'incidence de la maladie. De plus, les vaches présentaient aussi des lésions de fourchet, ce qui incitait le pareur à enlever les talons abîmés, contrairement à mes recommandations *Figure 17* et *Figure 18*. Cela pourrait avoir favorisé l'apparition de la maladie et donc encore augmenté la pression infectieuse qui pourrait avoir masqué l'effet du traitement.

Lors des visites, les pieds étaient lavés à l'aide d'un seau d'eau versé sur la face palmaire, additionné d'un coup de brosse nylon. Subjectivement, il semblait que les vaches sortaient plus boiteuses après que les lésions aient été brossées, le lavage était peut-être trop traumatique, et on ne peut écarter que cette brosse ait ensemencé les pieds de vaches en voie de guérison [23]. Même si de nos jours, certains conseillent de gratter les lésions pour enlever les tissus nécrotiques et une partie des bactéries pour aider à la guérison des lésions [62], une désinfection ou un lavage au jet (inaccessible ici) aurait été bienvenu pour notre étude.

D'une façon générale, l'étude a souffert d'un manque de temps pour mieux élaborer le protocole (d'allotement notamment) et réfléchir aux conséquences de nos choix initiaux.

2.3.3 Explications potentielles de l'absence de résultat positif pour l'argile verte du Velay®

Au vu des résultats, nous pourrions penser que l'argile verte du Velay® n'a pas d'efficacité curato-préventive sur les lésions de dermatite digitée. L'effet bénéfique de l'argile sur la réparation des plaies ne suffirait pas à soigner une lésion de dermatite digitée. Cependant d'autres hypothèses ou biais peuvent expliquer l'absence de mise en évidence d'effet positif de l'argile verte du Velay® sur ces lésions.

2.3.3.1 Mauvaise représentativité du troupeau vis-à-vis du problème

Le troupeau n'était peut-être pas adapté à l'étude entreprise. Outre sa taille modérée, la prévalence initiale était assez élevée, avec entre 49 (témoins) et 63% (traitées) de pieds atteints. La plupart des études évaluent l'efficacité de produit sur des troupeaux où la prévalence est plus faible, elle n'excède pas les 30-40% (liste non exhaustive : [3], [56], [69], [84]). Pour rappel, Relun *et al.* [3] ont montré des incidences plus élevées dans les troupeaux atteints à plus de 10% par rapport aux autres. Il n'est donc pas exclus que cela ait contrebalancé l'effet du traitement. En effet, cette forte prévalence aurait pu rendre le traitement moins efficace par une pression d'infection du milieu trop forte, notamment avec un milieu de vie partagé entre les animaux du lot traité et ceux du lot témoin. Cependant on peut trouver des études où la prévalence initiale était également haute, par exemple de 50% chez Berry *et al.* [34] qui observaient tout de même des résultats positifs au bout de quelques jours suite à l'application topique de lincomycine sous pansement mais assistaient cependant à un taux de récurrence important dans les mois qui suivaient. Un pansement est également plus protecteur pour empêcher la réinfection juste après application du topique. Dans d'autres études, le mode de vie et le devenir des vaches saines étaient non expliqués au cours de l'étude : étaient-elles écartées ou restaient-elles dans le lot ? [87], [90], [91].

De plus l'étude a été développée dans un élevage de 60 vaches laitières, avec un échantillon d'étude plus petit que prévu qui n'a compté que 44 vaches. Notre étude était donc peu puissante au niveau statistique avec une faible probabilité de mettre en évidence l'effet du traitement qui pour autant peut exister.

Pour compenser ce manque d'effectif, les vaches qui n'étaient pas présentes à V1 mais qui réintégraient le troupeau de VL avant V2 auraient pu être étudiées sur la période V2-V3. Ces vaches, tarées ou génisses au moment de V1, avaient même été prises en compte dans l'allotement initial et rejoignaient donc l'un ou l'autre des lots à leur arrivée dans la stabulation des vaches en lactation. Cependant l'allotement aurait dû être fait sur leur score à V2 et pas à V1 pour pouvoir tenir compte de l'évolution possible. Il aurait alors été nécessaire de vérifier à nouveau l'équilibre entre les lots traités et témoins.

2.3.3.2 Les biais

L'étude a souffert de biais qui ont pu masquer une éventuelle différence entre les lots témoins et traités en ayant un effet positif vis-à-vis de la dermatite digitée dans le lot témoin et un effet négatif sur le lot traité :

* Ce qui a pu avoir un effet favorable sur l'évolution des lésions du lot témoin :

- Tous les pieds arrières étaient lavés et ce tous les jours de l'étude sauf les 2 jours qui suivaient le passage dans les pédiluves pour laisser l'argile en contact des pieds traités. Or un lavage régulier a un effet bénéfique sur l'évolution des lésions [69], y compris en dehors de tout traitement. En effet le lavage permet de maintenir le pied au propre, or il a été montré dans la littérature que la propreté du pied influençait l'efficacité des traitements [3] : ici elle avait été relevée lors de la première visite pour comparer les élevages mais il aurait été intéressant que cela soit fait aussi à V2 et V3 pour voir si effectivement la propreté du pied aurait pu jouer sur l'évolution des lésions.

- L'éleveur utilisait de l'asséchant litière (Saniblanc®), il recouvrait les matelas d'une fine couche une fois par semaine. Ce produit a été testé dans un essai contre la DD [79], et a été considéré comme pouvant avoir un effet bénéfique. Il aurait pu interférer avec les résultats en améliorant aussi les pieds du lot témoin, réduisant ainsi les différences.

* Ce qui a pu avoir un effet défavorable sur l'évolution des lésions du lot traité :

- Le design de l'étude n'était pas adapté. Il aurait dû être tel que l'ensemble du troupeau ait été traité en même temps plutôt que d'avoir un lot témoin non traité au contact d'un lot traité. Ce n'était pas représentatif des conditions réelles d'application du produit en élevage et les animaux traités ont évolué dans un environnement d'autant plus contaminé qu'ils évoluaient avec des animaux non traités. Dans les essais où des effets positifs ont été démontrés, il s'agissait souvent de troupeaux complets qui étaient traités, même si la comparaison avec un lot témoin est alors difficile [32].

- On a pu observer une forte prévalence de fourchet dans le troupeau qui est un facteur aggravant pour la dermatite digitée. Cependant l'allotement n'a pas pris en compte ce facteur et le hasard a mené à ce que plus de vaches avec du fourchet soient dans le lot traité.

De la même façon les parages trop fréquents, et surtout en laissant peu de talons, ont pu aggraver les lésions, en diminuant ainsi la fréquence de guérison (paragraphe 1.1.2.6).

- Nous avons considéré que les traitements intercurrents réalisés par l'éleveur correspondaient à une aggravation de l'état lésionnel, ce qui est un critère sévère qui a pu pénaliser le lot traité puisque deux tiers des vaches traitées par l'éleveur appartenaient à ce même lot.

2.3.3.3 *Conditions d'application de l'argile inappropriées*

Il est aussi possible que les conditions d'application de l'argile (fréquence, durée, forme) ne suffisent pas à en exprimer les bienfaits, ce qu'on peut facilement s'imaginer quand on voit que les plaies, chez les chevaux par exemple, lorsqu'elles sont soignées à l'argile, sont enduites d'un cataplasme chaque jour jusqu'à guérison. De plus, la différence entre une lésion de dermatite digitée et une plaie quelconque c'est qu'il y a des tréponèmes en nombre et d'autres bactéries anaérobies jusque dans la profondeur de l'épiderme qui continuent à causer une inflammation et une érosion sévère, et qui pourrait donc limiter l'effet de l'argile. Par ailleurs, l'argile n'a peut-être pas d'effet sur la viabilité de ces bactéries anaérobies. Une application sous pansement aurait permis la protection de la plaie par des surinfections et dans le même temps l'augmentation du temps de contact avec le produit.

2.3.4 Perspectives

2.3.4.1 *Perspectives pour le produit*

Pour le moment, il paraît difficile de conseiller l'utilisation de ce produit à des éleveurs comme les preuves scientifiques d'un éventuel effet curatif ou préventif ne sont pas là. En revanche il pourrait être intéressant d'étudier son effet en cataplasme sur du traitement individuel. Nous aurions pu conseiller à l'éleveur de l'inclure dans les traitements individuels des vaches douloureuses, pour les animaux du lot traité.

2.3.4.2 *Perspectives pour l'étude*

Si l'étude devait être réitérée ou pour une étude future, certains ajustements seraient à prévoir :

- Un autre essai devrait impérativement traiter l'ensemble des animaux vivant dans un même espace pour éviter qu'une pression infectieuse trop importante, liée à la présence d'animaux non traités, masque les effets du traitement. Donc plusieurs options pour la population témoin :
 - soit d'autres élevages plutôt similaires (par exemple comme l'a fait A. Hubert dans sa thèse où elle a pris comme population témoin les élevages pour lesquelles A. Relun avait déjà réalisé une étude [56])
 - Soit les individus du même élevage étudié durant la lactation qui précède l'application du produit
 - Soit la séparation complète des deux lots sur la durée d'étude (6 mois).

- On pourrait tester le produit argile verte du Velay® en pansement sur les cas les plus graves en complément du pédiluve. Ainsi un nouveau protocole pourrait être proposé, identique à ce qui précède, dans lequel l'éleveur serait autorisé à faire des pansements à l'argile verte du Velay® sur les traités versus, par exemple, à l'acide acétylsalicylique dans le lot témoin. Cela permettrait d'observer spécifiquement l'efficacité anti-inflammatoire sur l'évolution des lésions les plus graves.
- Le modèle statistique d'analyse le plus adapté semblerait être une analyse de survie comme a réalisé Relun dans ses études [3]. Cela permettrait de voir si les lésions guérissent plus vite avec de l'argile, car il arrive que les lésions finissent par s'améliorer d'elles-mêmes. On pourrait aussi faire des suivis plus rapprochés, mais pas avec un robot de traite, car la nécessité du pareur alourdit le protocole d'étude. On pourrait éventuellement opter pour la technique de lecture en salle de traite avec l'aide d'un miroir et d'une lampe, méthode également développée par Relun [3].

CONCLUSION

La dermatite digitée, maladie infectieuse de la peau du pied des vaches fait parler d'elle depuis déjà des dizaines d'années et particulièrement ces dernières années où elle prend une ampleur importante. Elle affecte 70 à 90% des troupeaux, la prévalence intra-troupeau peut être très importante. Elle est une des causes majeures de boiterie et donc d'atteinte du bien-être animal en élevage bovin. Elle est à l'origine de pertes économiques importantes pour l'éleveur.

Elle nécessite d'être prise en charge de façon multimodale avec une évaluation des facteurs de risque pour une conduite d'élevage moins à risque, et avec l'utilisation de traitements topiques pertinents. Ces produits, sous forme de pédiluves le plus souvent, ont également des effets néfastes pour l'environnement qui les rend difficile d'usage actuellement.

L'objectif de l'étude était d'évaluer l'efficacité préventive et curative de l'argile verte du Velay micronisée en poudre, en pédiluve, sur les lésions de dermatite digitée. Ce produit est intéressant au sens où il répond aux contraintes de toxicité environnementale, de manipulation en sécurité pour l'éleveur et de facilité d'usage par les bovins. Il serait de plus utilisable en agriculture biologique.

Au cours de cette étude, l'argile verte du Velay® a pu être évaluée sur un lot de 20 vaches en comparaison d'un lot témoin du même élevage. Le pédiluve était mis en place au robot de traite 2 jours consécutifs tous les 15 jours. Au total, neuf périodes de traitement ont été appliquées. Le suivi lésionnel était réalisé en travail de pareur après 4 et 9 traitements.

A la fin de l'essai, l'incidence d'amélioration et l'incidence des nouvelles infections étaient similaires sur les pieds traités et ceux du lot témoin. Cet essai a souffert de deux problèmes majeurs : le manque d'individus dans l'échantillon de départ, et une prévalence initiale forte. Ces deux points ont limité la puissance de l'essai en gardant les pieds traités dans un environnement toujours aussi contaminé. Par ailleurs, les facteurs de risque, notamment individuels (parage) n'étaient pas assez maîtrisés.

Plusieurs modifications seraient à prévoir dans une étude future avec un plus grand effectif et des lots témoin et traité séparés, en prenant également en compte les facteurs de risque et la production permise.

Thèse de Mme JOBIN Charline

BIBLIOGRAPHIE

- [1] T. Trojancanec, T. Dovenski, et V. Petkov, « Transition of a dairy farm from tie-stall to free-stall housing system and its implications for hoof health. », 2011.
- [2] R. Cheli et C. Mortellaro, « Proceedings of the 8th International Conference on Diseases of Cattle, 1974 », 1974, p. 208-2013.
- [3] A. Relun, « Evaluation des mesures de maîtrise de la dermatite digitée dans les troupeaux bovins laitiers », Thèse de doctorat vétérinaire, Université Nantes Angers Le Mans, 2012.
- [4] A. Gomez *et al.*, « The effect of digital dermatitis on hoof conformation », *J. Dairy Sci.*, vol. 98, n° 2, p. 927-936, févr. 2015, doi: 10.3168/jds.2014-8483.
- [5] T. Landers, B. Cohen, T. Wittum, et E. Larson, « A Review of Antibiotic Use in Food Animals: Perspective, Policy, and Potential », *Public Health Rep. Wash. DC 1974*, vol. 127, p. 4-22, janv. 2012, doi: 10.1177/003335491212700103.
- [6] K. A. Leach *et al.*, « Working towards a reduction in cattle lameness: 1. Understanding barriers to lameness control on dairy farms », *Res. Vet. Sci.*, vol. 89, n° 2, p. 311-317, oct. 2010, doi: 10.1016/j.rvsc.2010.02.014.
- [7] R. W. Blowey et M. W. Sharp, « Digital dermatitis in dairy cattle », *Vet. Rec.*, vol. 122, n° 21, p. 505-508, mai 1988, doi: 10.1136/vr.122.21.505.
- [8] E. Toussaint Raven et J. L. Cornelisse, « The specific contagious inflammation of the interdigital skin in cattle », *Vet. Med. Rev.*, n° 2, p. 223-247, 1971.
- [9] R. D. Murray, D. Y. Downham, I. Demirkan, et S. D. Carter, « Some relationships between spirochaete infections and digital dermatitis in four UK dairy herds », *Res. Vet. Sci.*, vol. 73, n° 3, p. 223-230, déc. 2002, doi: 10.1016/S0034-5288(02)00027-9.
- [10] H. M. Espiritu *et al.*, « Microbiome Shift, Diversity, and Overabundance of Opportunistic Pathogens in Bovine Digital Dermatitis Revealed by 16S rRNA Amplicon Sequencing », *Anim. Open Access J. MDPI*, vol. 10, n° 10, oct. 2020, doi: 10.3390/ani10101798.
- [11] A. C. Krull, J. K. Shearer, P. J. Gorden, V. L. Cooper, G. J. Phillips, et P. J. Plummer, « Deep Sequencing Analysis Reveals Temporal Microbiota Changes Associated with Development of Bovine Digital Dermatitis », *Infect. Immun.*, vol. 82, n° 8, p. 15, 2014.
- [12] R. L. Walker, D. H. Read, K. J. Loretz, et R. W. Nordhausen, « Spirochetes isolated from dairy cattle with papillomatous digital dermatitis and interdigital dermatitis », *Vet. Microbiol.*, vol. 47, n° 3, p. 343-355, déc. 1995, doi: 10.1016/0378-1135(95)00114-X.
- [13] D. H. Read, R. Walker, A. E. Castro, J. P. Sunberg, et M. C. Thurmond, « An invasive spirochaete associated with interdigital papillomatosis of dairy cattle », *Vet. Rec.*, n° 130, p. 59-60, 1992.
- [14] R. W. Blowey, M. W. Sharp, et S. H. Done, « Digital dermatitis », *Vet. Rec.*, n° 131, p. 39, 1992.
- [15] B.-K. CHOI, H. NATTERMANN, S. GRUND, W. HAIDER, et U. B. Y. GÖBEL, « Spirochetes from Digital Dermatitis Lesions in Cattle Are Closely Related to Treponemes Associated with Human Periodontitis », *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, vol. 47, n° 1, p. 175-181, 1997, doi: 10.1099/00207713-47-1-175.
- [16] M. W. Nielsen *et al.*, « Potential bacterial core species associated with digital dermatitis in cattle herds identified by molecular profiling of interdigital skin samples », *Vet. Microbiol.*, vol. 186, p. 139-149, avr. 2016, doi: 10.1016/j.vetmic.2016.03.003.
- [17] M. Zinicola *et al.*, « Altered Microbiomes in Bovine Digital Dermatitis Lesions, and the Gut as a Pathogen Reservoir », *PLOS ONE*, vol. 10, n° 3, p. e0120504, mars 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0120504.
- [18] T. F. Moreira *et al.*, « Pathology and bacteria related to digital dermatitis in dairy cattle in all year round grazing system in Brazil », *PLoS ONE*, vol. 13, n° 3, mars 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0193870.
- [19] T. Yano, K. K. Moe, K. Yamazaki, T. Ooka, T. Hayashi, et N. Misawa, « Identification of candidate pathogens of papillomatous digital dermatitis in dairy cattle from quantitative 16S rRNA clonal analysis », *Vet. Microbiol.*, vol. 143, n° 2-4, p. 352-362, juill. 2010, doi: 10.1016/j.vetmic.2009.12.009.
- [20] K. Klitgaard, M. W. Nielsen, H.-C. Ingerslev, M. Boye, et T. K. Jensen, « Discovery of Bovine Digital Dermatitis-Associated Treponema spp. in the Dairy Herd Environment by a Targeted Deep-

- Sequencing Approach », *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 80, n° 14, p. 4427-4432, juill. 2014, doi: 10.1128/AEM.00873-14.
- [21] M. Palmer et N. O'Connell, « Digital Dermatitis in Dairy Cows: A Review of Risk Factors and Potential Sources of Between-Animal Variation in Susceptibility », *Animals*, vol. 5, n° 3, p. 512-535, juill. 2015, doi: 10.3390/ani5030369.
- [22] L. E. Sullivan *et al.*, « Presence of digital dermatitis treponemes on cattle and sheep hoof trimming equipment », *Vet. Rec.*, vol. 175, n° 8, p. 201-201, août 2014, doi: 10.1136/vr.102269.
- [23] A. V. Gillespie, S. D. Carter, R. W. Blowey, G. J. Staton, et N. J. Evans, « Removal of bovine digital dermatitis-associated treponemes from hoof knives after foot-trimming: a disinfection field study », *BMC Vet. Res.*, vol. 16, n° 1, p. 330, sept. 2020, doi: 10.1186/s12917-020-02552-8.
- [24] K. Klitgaard, M. Strube, A. Isbrand, T. Jensen, et M. Nielsen, « Microbiota analysis of environmental slurry and its potential role as a reservoir of bovine digital dermatitis pathogens », *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 83, mars 2017, doi: 10.1128/AEM.00244-17.
- [25] K. Frankena *et al.*, « The effect of digital lesions and floor type on locomotion score in Dutch dairy cows », *Prev. Vet. Med.*, vol. 88, n° 2, p. 150-157, févr. 2009, doi: 10.1016/j.prevetmed.2008.08.004.
- [26] A. Rodriguez-Lainz, P. Melendez-Retamal, D. W. Hird, et D. H. Read, « Papillomatous digital dermatitis in Chilean dairies and evaluation of a screening method », *Prev. Vet. Med.*, vol. 37, n° 1, p. 197-207, déc. 1998, doi: 10.1016/S0167-5877(98)00091-9.
- [27] J. Shearer, S. Van Amstel, et A. Gonzalez, *Manual of foot care in cattle. Hoard's Hairyman*, p. 41, 2013.
- [28] M. Holzhauser, C. J. M. Bartels, D. Döpfer, et G. van Schaik, « Clinical course of digital dermatitis lesions in an endemically infected herd without preventive herd strategies », *Vet. J.*, vol. 177, n° 2, p. 222-230, août 2008, doi: 10.1016/j.tvjl.2007.05.004.
- [29] J. Shearer, P. Plummer, et A. Krull, « Digital Dermatitis: New Ideas on an Old Disease », in *Proceedings of the first Regional Conference on Cow Comfort and Lameness*, Tehran, Iran, 2016, p. 54-61.
- [30] D. Read et R. Walker, « Papillomatous Digital Dermatitis (Footwarts) in California Dairy Cattle: Clinical and Gross Pathologic Findings », *J. Vet. Diagn. Investig. Off. Publ. Am. Assoc. Vet. Lab. Diagn. Inc.*, vol. 10, p. 67-76, janv. 1998, doi: 10.1177/104063879801000112.
- [31] D. Döpfer *et al.*, « Epidemiological investigations of digital dermatitis in dutch dairy cattle. », Banff, Canada, 1994, p. 180-181. doi: 10.5282/ubm/epub.3605.
- [32] L. Solano, H. W. Barkema, C. Pickel, et K. Orsel, « Effectiveness of a standardized footbath protocol for prevention of digital dermatitis », *J. Dairy Sci.*, vol. 100, n° 2, p. 1295-1307, févr. 2017, doi: 10.3168/jds.2016-11464.
- [33] P. Greenough, C. Mülling, D. Döpfer, et D. Tomlinson, « International atlas of lesions of cattle feet », présenté à XVth International Symposium for Lameness in cattle and Disorders of the ruminant digit in Kuopio, Finland, 9th to 12th of June, in 2008.
- [34] S. L. Berry, D. H. Read, T. R. Famula, A. Mongini, et D. Döpfer, « Long-term observations on the dynamics of bovine digital dermatitis lesions on a California dairy after topical treatment with lincomycin HCl », *Vet. J.*, vol. 193, n° 3, p. 654-658, sept. 2012, doi: 10.1016/j.tvjl.2012.06.048.
- [35] M. Tremblay, T. Bennett, et D. Döpfer, « The DD Check App for prevention and control of digital dermatitis in dairy herds », *Prev. Vet. Med.*, vol. 132, p. 1-13, sept. 2016, doi: 10.1016/j.prevetmed.2016.07.016.
- [36] A. C. Krull, J. K. Shearer, P. J. Gorden, H. M. Scott, et P. J. Plummer, « Digital dermatitis: Natural lesion progression and regression in Holstein dairy cattle over 3 years », *J. Dairy Sci.*, vol. 99, n° 5, p. 3718-3731, mai 2016, doi: 10.3168/jds.2015-10535.
- [37] W. C. Rebhun, R. M. Payne, J. M. King, M. Wolfe, et S. N. Begg, « Interdigital papillomatosis in dairy cattle », *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, vol. 177, n° 5, p. 437-440, sept. 1980.
- [38] B. Cribier, *Histologie de la peau normale et lésions histopathologiques élémentaires*. Elsevier Masson, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/1400351/histologie-de-la-peau-normale-et-lesions-histopath>
- [39] K. Devitt, « Mitotic activity of keratinocytes in regeneration and tissue homestasis », thèse de doctorat, German cancer research center, 2015.
- [40] J.-M. Gourreau, D. W. Scott, et J.-F. Rousseau, « La dermatite digitée des bovins », *Point Vét. Rev. Enseign. Post-Univ. Form. Perm.*, vol. 24, n° 143, p. 49-57, 1992.

- [41] H. F. Bassett, M. L. Monaghan, P. Lenhan, M. L. Doherty, et M. E. Carter, « Bovine digital dermatitis », *Vet. Rec.*, vol. 126, n° 7, p. 164-165, févr. 1990.
- [42] D. Döpfer *et al.*, « Histological and bacteriological evaluation of digital dermatitis in cattle, with special reference to spirochaetes and *Campylobacter faecalis* », *Vet. Rec.*, vol. 140, n° 24, p. 620-623, 1997, doi: 10.1136/vr.140.24.620.
- [43] R. C. Souza, J. C. T. Jr, P. M. Ferreira, M. G. Ferreira, et E. R. G. Ferreira, « ASPECTOS HISTOPATOLÓGICOS DA DERMATITE DIGITAL EM VACAS LEITEIRAS », *Ciênc. Anim. Bras.*, vol. 7, n° 4, p. 9, 2006.
- [44] D. H. Read, R. L. Walker, L. stamm, D. J. Keil, et D. Keil, « Is digital dermatitis related to ulcerative mammary dermatitis of dairy cattle? », in *Proceedings of the International Ruminant Digit Symposium*, Rotura, NZ, 2011, p. 19.
- [45] W. Refaai, R. Ducatelle, P. Geldhof, B. Mihi, M. El-shair, et G. Opsomer, « Digital dermatitis in cattle is associated with an excessive innate immune response triggered by the keratinocytes », *BMC Vet. Res.*, vol. 9, n° 1, p. 193, oct. 2013, doi: 10.1186/1746-6148-9-193.
- [46] M. Bruggink, « Facteurs de variation de l'efficacité de traitement collectif de la dermatite digitée chez la vache laitière », Thèse de doctorat vétérinaire, ONIRIS, 2011.
- [47] E. de Jong, K. Frankena, et K. Orsel, « Risk factors for digital dermatitis in free-stall-housed, Canadian dairy cattle », *Vet. Rec. Open*, vol. 8, n° 1, p. e19, 2021, doi: 10.1002/vro2.19.
- [48] J. G. C. J. Somers, K. Frankena, E. N. Noordhuizen-Stassen, et J. H. M. Metz, « Risk factors for digital dermatitis in dairy cows kept in cubicle houses in The Netherlands », *Prev. Vet. Med.*, vol. 71, n° 1, p. 11-21, sept. 2005, doi: 10.1016/j.prevetmed.2005.05.002.
- [49] V. H. S. Oliveira, J. T. Sørensen, et P. T. Thomsen, « Associations between biosecurity practices and bovine digital dermatitis in Danish dairy herds », *J. Dairy Sci.*, vol. 100, n° 10, p. 8398-8408, oct. 2017, doi: 10.3168/jds.2017-12815.
- [50] A. Relun, A. Lehebel, M. Bruggink, N. Bareille, et R. Guatteo, « Estimation of the relative impact of treatment and herd management practices on prevention of digital dermatitis in French dairy herds », *Prev. Vet. Med.*, vol. 110, n° 3-4, p. 558-562, juill. 2013, doi: 10.1016/j.prevetmed.2012.12.015.
- [51] M. Holzhauer, C. Hardenberg, C. J. M. Bartels, et K. Frankena, « Herd- and Cow-Level Prevalence of Digital Dermatitis in The Netherlands and Associated Risk Factors », *J. Dairy Sci.*, vol. 89, n° 2, p. 580-588, févr. 2006, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72121-X.
- [52] D. A. Yang, R. A. Laven, C. Heuer, W. D. Vink, et R. N. Chesterton, « Farm level risk factors for bovine digital dermatitis in Taranaki, New Zealand: An analysis using a Bayesian hurdle model », *Vet. J.*, vol. 234, p. 91-95, avr. 2018, doi: 10.1016/j.tvjl.2018.02.012.
- [53] A. Gomez *et al.*, « A randomized trial to evaluate the effect of a trace mineral premix on the incidence of active digital dermatitis lesions in cattle », *J. Dairy Sci.*, vol. 97, n° 10, p. 6211-6222, oct. 2014, doi: 10.3168/jds.2013-7879.
- [54] A. Gomez *et al.*, « Immune response against *Treponema* spp. and ELISA detection of digital dermatitis », *J. Dairy Sci.*, vol. 97, n° 8, p. 4864-4875, août 2014, doi: 10.3168/jds.2013-7616.
- [55] R. A. Scholey *et al.*, « Investigating host genetic factors in bovine digital dermatitis », *Vet. Rec.*, vol. 171, n° 24, p. 624, déc. 2012, doi: 10.1136/vr.101251.
- [56] A. Hubert, « Etude d'efficacité curative et préventive du podoconcept sur la dermatite digitée en élevage bovin laitier », Thèse de doctorat vétérinaire, ONIRIS, 2016.
- [57] A. Vanhoudt, K. Orsel, M. Nielen, et T. van Werven, « An observational study on the management of digital dermatitis through a repeated risk assessment on 19 Dutch dairy herds », *J. Dairy Sci.*, vol. 104, n° 1, p. 947-956, janv. 2021, doi: 10.3168/jds.2020-18730.
- [58] K. Dolecheck et J. Bewley, « Animal board invited review: Dairy cow lameness expenditures, losses and total cost », *animal*, vol. 12, n° 7, p. 1462-1474, juill. 2018, doi: 10.1017/S1751731118000575.
- [59] K. A. Dolecheck, M. W. Overton, T. B. Mark, et J. M. Bewley, « Use of a stochastic simulation model to estimate the cost per case of digital dermatitis, sole ulcer, and white line disease by parity group and incidence timing », *J. Dairy Sci.*, vol. 102, n° 1, p. 715-730, janv. 2019, doi: 10.3168/jds.2018-14901.
- [60] N. J. Evans, R. D. Murray, et S. D. Carter, « Bovine digital dermatitis: Current concepts from laboratory to farm », *Vet. J.*, vol. 211, p. 3-13, mai 2016, doi: 10.1016/j.tvjl.2015.10.028.

- [61] M. R. N. Bruijnis, H. Hogeveen, et E. N. Stassen, « Assessing economic consequences of foot disorders in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model », *J. Dairy Sci.*, vol. 93, n° 6, p. 2419-2432, juin 2010, doi: 10.3168/jds.2009-2721.
- [62] N. Bell et A. Vanhoudt, « Treating and controlling digital dermatitis in dairy cattle », *In Pract.*, vol. 42, n° 10, p. 554-567, 2020, doi: 10.1136/inp.m4454.
- [63] R. A. Laven et D. N. Logue, « Treatment strategies for digital dermatitis for the UK », *Vet. J.*, vol. 171, n° 1, p. 79-88, janv. 2006, doi: 10.1016/j.tvjl.2004.08.009.
- [64] J. S. Britt, M. C. Carson, J. D. von Bredow, et R. J. Condon, « Antibiotic residues in milk samples obtained from cows after treatment for papillomatous digital dermatitis », *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, vol. 215, n° 6, p. 833-836, sept. 1999.
- [65] S. Berry, D. Read, R. Walker, et T. Famula, « Clinical, histologic, and bacteriologic findings in dairy cows with digital dermatitis (footwarts) one month after topical treatment with lincomycin hydrochloride or oxytetracycline hydrochloride », *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, vol. 237, p. 555-60, sept. 2010, doi: 10.2460/javma.237.5.555.
- [66] M. Klawitter, D. Döpfer, T. B. Braden, E. Amene, et K. E. Mueller, « Randomised clinical trial showing the curative effect of bandaging on M2-stage lesions of digital dermatitis in dairy cows », *Vet. Rec. Open*, vol. 6, n° 1, p. e000264, mai 2019, doi: 10.1136/vetreco-2017-000264.
- [67] M. Holzhauser, C. J. Bartels, M. van Barneveld, C. Vulders, et T. Lam, « Curative effect of topical treatment of digital dermatitis with a gel containing activated copper and zinc chelate », *Vet. Rec.*, vol. 169, n° 21, p. 555, sept. 2011, doi: 10.1136/vr.d5513.
- [68] « Information on biocides - ECHA ». <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/active-substance-suppliers> (consulté le oct. 24, 2021).
- [69] P. T. Thomsen, A. K. Ersbøll, et J. T. Sørensen, « Short communication: Automatic washing of hooves can help control digital dermatitis in dairy cows », *J. Dairy Sci.*, vol. 95, n° 12, p. 7195-7199, déc. 2012, doi: 10.3168/jds.2011-5171.
- [70] A. Relun *et al.*, « Perspectives de contrôle de la dermatite digitée : de la sélection génomique à l'automatisation de la désinfection », *Point Vét.*, vol. expert rural, n° 324, p. 65-68, janv. 2012.
- [71] A. Relun, J.-M. Ariza, et R. Guatteo, « Place du microbiote dans la physiopathologie de la dermatite digitale : vers de nouvelles approches de contrôle ? », *Bull. GTV*, vol. 96, p. 6, 2019.
- [72] N. B. Cook, J. Rieman, A. Gomez, et K. Burgi, « Observations on the design and use of footbaths for the control of infectious hoof disease in dairy cattle », *Vet. J.*, vol. 193, n° 3, p. 669-673, sept. 2012, doi: 10.1016/j.tvjl.2012.06.051.
- [73] D. Döpfer, « The dynamics of digital dermatitis in dairy cattle and the manageable state of disease », School of veterinary medicine - university of Wisconsin Madison, 2012. [En ligne]. Disponible sur: https://www.zinpro.com/wp-content/uploads/2020/12/DynamicsofDD_DopferPaper.pdf
- [74] F. Biemans, P. Bijma, N. M. Boots, et M. C. M. de Jong, « Digital Dermatitis in dairy cattle: The contribution of different disease classes to transmission », *Epidemics*, vol. 23, p. 76-84, juin 2018, doi: 10.1016/j.epidem.2017.12.007.
- [75] G. Cramer, T. Winders, L. Solano, et D. H. Kleinschmit, « Evaluation of agreement among digital dermatitis scoring methods in the milking parlor, pen, and hoof trimming chute », *J. Dairy Sci.*, vol. 101, n° 3, p. 2406-2414, mars 2018, doi: 10.3168/jds.2017-13755.
- [76] J. Wilson-Welder, D. Alt, et J. Nally, « Digital Dermatitis in Cattle: Current Bacterial and Immunological Findings », *Animals*, vol. 5, n° 4, p. 1114-1135, nov. 2015, doi: 10.3390/ani5040400.
- [77] G. Cramer, K. D. Lissemore, C. L. Guard, K. E. Leslie, et D. F. Kelton, « Herd- and Cow-Level Prevalence of Foot Lesions in Ontario Dairy Cattle », *J. Dairy Sci.*, vol. 91, n° 10, p. 3888-3895, oct. 2008, doi: 10.3168/jds.2008-1135.
- [78] L. Solano, H. W. Barkema, S. Mason, E. A. Pajor, S. J. LeBlanc, et K. Orsel, « Prevalence and distribution of foot lesions in dairy cattle in Alberta, Canada », *J. Dairy Sci.*, vol. 99, n° 8, p. 6828-6841, août 2016, doi: 10.3168/jds.2016-10941.
- [79] I. Leperlier, T. Aubineau, S. Geollot, A. Lehébel, R. Guatteo, et N. Bareille, « Efficacité préventive et curative d'une désinfection collective avec Saniblanco Litières® en pédiluve à sec vis-à-vis de la dermatite digitée en élevage laitier », in *21. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, déc. 2014, vol. 21, n° 21ème ed., p. 335. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.inrae.fr/hal-02740487>

- [80] F. García-Villén *et al.*, « Natural Inorganic Ingredients in Wound Healing », *Curr. Pharm. Des.*, vol. 26, n° 6, p. 621-641, févr. 2020, doi: 10.2174/1381612826666200113162114.
- [81] G. Sandri *et al.*, « 19 - Clay minerals for tissue regeneration, repair, and engineering », in *Wound Healing Biomaterials*, M. S. Ågren, Éd. Woodhead Publishing, 2016, p. 385-402. doi: 10.1016/B978-1-78242-456-7.00019-2.
- [82] R. R. Guatteo, A. Arnoult, J.-L. Ménard, et N. N. Bareille, « Élaboration d'une grille de notation spécifique de la propreté des pieds des bovins laitiers et investigation des facteurs de risque en période hivernale », in 20. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, Paris, France, déc. 2013, vol. 20, p. 379-382. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.inrae.fr/hal-02750173>
- [83] M. Vidmar, J. J. Hodnik, et J. Starič, « Review of guidelines for functional claw trimming and therapeutic approach to claw horn lesions in cattle », *Trop. Anim. Health Prod.*, vol. 53, n° 5, p. 476, sept. 2021, doi: 10.1007/s11250-021-02924-8.
- [84] E. Lazennec, J. Laurain, et Y. Saillard, « Efficacité de MISTRAL® appliqué en pédiluve sec dans la maîtrise de la dermatite digitée en élevage laitier », in 17. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 2018, vol. 17, p. 479. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.journees3r.fr/spip.php?article4689>
- [85] C. Jacobs, C. Beninger, G. S. Hazlewood, K. Orsel, et H. W. Barkema, « Effect of footbath protocols for prevention and treatment of digital dermatitis in dairy cattle: A systematic review and network meta-analysis », *Prev. Vet. Med.*, vol. 164, p. 56-71, mars 2019, doi: 10.1016/j.prevetmed.2019.01.011.
- [86] P. T. Thomsen, « Short communication: Efficacy of copper sulfate hoof baths against digital dermatitis—Where is the evidence? », *J. Dairy Sci.*, vol. 98, n° 4, p. 2539-2544, avr. 2015, doi: 10.3168/jds.2014-9135.
- [87] M. van Mil, « Efficacy of Digital Dermatitis treatment with non-antibiotic Hoof-Sol spray in dairy cattle », Thèse de doctorat vétérinaire, Universiteit Utrecht, 2016.
- [88] T. Manske, J. Hultgren, et C. Bergsten, « Topical treatment of digital dermatitis associated with severe heel-horn erosion in a Swedish dairy herd », *Prev. Vet. Med.*, vol. 53, n° 3, p. 215-231, mars 2002, doi: 10.1016/S0167-5877(01)00268-9.
- [89] J. K. Shearer et J. Hernandez, « Efficacy of Two Modified Nonantibiotic Formulations (Victory) for Treatment of Papillomatous Digital Dermatitis in Dairy Cows », *J. Dairy Sci.*, vol. 83, n° 4, p. 741-745, avr. 2000, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74936-8.
- [90] J. Kofler, M. Pospichal, et M. Hofmann-Parisot, « Efficacy of the Non-antibiotic Paste ProtexinR Hoof-Care for Topical Treatment of Digital Dermatitis in Dairy Cows », *J. Vet. Med. Ser. A*, vol. 51, n° 9-10, p. 447-452, déc. 2004, doi: 10.1111/j.1439-0442.2004.00671.x.
- [91] R. A. Laven et H. Hunt, « Evaluation of copper sulphate, formalin and peracetic acid in footbaths for the treatment of digital dermatitis in cattle », *Vet. Rec.*, vol. 151, n° 5, p. 144-146, août 2002, doi: 10.1136/vr.151.5.144.

ANNEXES

Annexe 1 - Fiche caractéristique de l'argile verte du Velay



Argile du Velay
un monde plus sain par l'argile!

FICHE TECHNIQUE

Additif technologique alimentation animale



Règlement CE 1831/2003 du parlement européen et du conseil du 22/09/2003 – Règlement CE 1831/2009 du parlement européen et du conseil du 12/01/2005 – Règlement UE 2019/10 de la commission du 03/01/2019

Date de création : 13/11/2014
Date de modification : 08/01/2019
Version 2

Nom commercial : Argile verte du Velay
Référence produit correspondante : MVF 300
Origine : Argile 100% naturelle extraite en Auvergne et transformée sur notre site de production dédié à l'argile. Ingrédient fabriqué sans additif ou traitement chimique.
Description du processus de fabrication
 L'argile verte du Velay subit un traitement mécanique, sans aucun processus chimique. L'argile est broyée et séchée à 350 ° C pendant 20 minutes. Les grains sont ensuite triés selon un procédé innovant et sophistiqué: une sélection par induction.

CARACTERISTIQUES

❖ **Minéralogie**

Nom INCI	N° CAS	Proportion	Pureté en argile
Illite	106958-53-6	40 - 65 %	
Montmorillonite	1318-93-0	10 - 15 %	> 80 %
Kaolinite	1318-74-7	8 - 20 %	

Argile garantie sans quartz, non fibreuse.

❖ **Granulométrie**

90 % : 0 à 300 µ
 100 % : < 600 µ

❖ **Chimie**

Composés chimiques	Proportions moyennes	Ecart-types moyens
Oxyde de silicium SiO ₂	42.10 %	± 2.78 %
Oxyde d'aluminium Al ₂ O ₃	24.69 %	± 1.45 %
Oxyde de fer Fe ₂ O ₃	11.97 %	± 3.99 %
Oxyde de calcium CaO	8.19 %	± 2.64 %
Oxyde de potassium K ₂ O	7.54 %	± 0.88 %
Oxyde de magnésium MgO	3.39 %	± 0.43 %
Oxyde de sodium Na ₂ O	2.27 %	± 1.50 %
Oxyde de titane TiO ₂	0.96 %	± 0.23 %
Oxyde de phosphore P ₂ O ₅	0.21 %	± 0.12 %
Oxyde de manganèse MnO	0.14 %	± 0.04 %

❖ **Physico chimie**

Aspect	Poudre beige-verte
Odeur	Aucune
Humidité (Humidimètre METTLER TOLEDO)	< 8 %
pH (Méthode NF EN ISO 787-9 T31-235)	8 - 9
Perte au feu (à 900° C)	Entre 13 et 20%
Densité	800 g/L

FABRICANT : ARGILE DU VELAY -Z.A. de Nothac, 43350 Saint-Paulien, France
 SAS au capital de 1 000 000 € - N°TVA : FR26 888171876- SIRET 888 171 876 80028 - APE 2388Z - RC LE PUY EN VELAY- France

1

PRE-ESSAI DE CONTRÔLE DE LA DERMATITE DIGITEE EN ELEVAGE BOVIN LAITIER PAR PEDILUVE SEC A L'ARGILE VERTE DU VELAY ®

Auteur

JOBIN Charline

Résumé

L'objectif de cette thèse était d'évaluer l'efficacité préventive et curative de l'argile en pédiluve sec sur les lésions de dermatite digitée. Ce produit était intéressant au sens où il répondait aux contraintes de toxicité environnementale, de manipulation en sécurité pour l'éleveur et de facilité d'usage par les bovins. La dermatite digitée, maladie infectieuse de la peau du pied des vaches, a été identifiée en 1974 et prend de l'ampleur ces dernières années. Elle est une des causes majeures de boiterie chez les bovins, à l'origine d'atteinte du bien-être animal et de pertes économiques pour l'éleveur. Après un rappel des connaissances actuelles sur la maladie son étiologie et sa gestion en élevage, nous exposons l'essai clinique auquel nous avons participé. Ce dernier s'est déroulé sur un unique élevage de vaches laitières, suivi 4 mois, avec un lot témoin et un lot traité, deux jours toutes les deux semaines par passage en pédiluve sec. Les résultats de l'effet curatif ou préventif du produit ne sont pas conclusifs. Cet essai a souffert de biais comme le manque d'individus dans l'échantillon de départ, une prévalence initiale forte, et une maîtrise insuffisante des facteurs de risque qui ont limité sa puissance. Des modifications sont proposées pour une éventuelle étude future.

Mots-clés

Élevage laitier, Pied--maladies, Peau -- Maladies, Pied--Soins et hygiène, Argile

Jury

Président du jury : Pr **BOSCHETTI Gilles**

Directeur de thèse : Dr **ARCANGIOLI Marie-Anne**

1er assesseur : Dr **ARCANGIOLI Marie-Anne**

2ème assesseur : Dr **LEDOUX Dorothée**