

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2023 - Thèse n° 022

**DÉTECTION DES BOITERIES DES VACHES DE RACE MONTBÉLIARDE À
L'AIDE D'UNE GRILLE D'ÉVALUATION STATIQUE DÉVELOPPÉE POUR LA
RACE PRIM HOLSTEIN**

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 30 juin 2023
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

CURT Jonathan

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2023 - Thèse n° 022

**DÉTECTION DES BOITERIES DES VACHES DE RACE MONTBÉLIARDE À
L'AIDE D'UNE GRILLE D'ÉVALUATION STATIQUE DÉVELOPPÉE POUR LA
RACE PRIM HOLSTEIN**

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 30 juin 2023
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

CURT Jonathan

Liste des enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (20-03-2023)

Pr	ABITBOL	Marie	Professeur
Dr	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences
Pr	ARCANGIOLI	Marie-Anne	Professeur
Dr	AYRAL	Florence	Maître de conférences
Pr	BECKER	Claire	Professeur
Dr	BELLUCO	Sara	Maître de conférences
Dr	BENAMOU-SMITH	Agnès	Maître de conférences
Pr	BENOIT	Etienne	Professeur
Pr	BERNY	Philippe	Professeur
Pr	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	Professeur
Dr	BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences
Dr	BRUTO	Maxime	Maître de conférences
Dr	BRUYERE	Pierre	Maître de conférences
Pr	BUFF	Samuel	Professeur
Pr	BURONFOSSE	Thierry	Professeur
Dr	CACHON	Thibaut	Maître de conférences
Pr	CADORÉ	Jean-Luc	Professeur
Pr	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Professeur
Pr	CHABANNE	Luc	Professeur
Pr	CHALVET-MONFRAY	Karine	Professeur
Dr	CHANOIT	Gullaume	Professeur
Dr	CHETOT	Thomas	Maître de conférences
Pr	DE BOYER DES ROCHES	Alice	Professeur
Pr	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur
Pr	DJELOUADJI	Zorée	Professeur
Dr	ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences
Dr	FRIKHA	Mohamed-Ridha	Maître de conférences
Dr	GALIA	Wessam	Maître de conférences
Pr	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	Professeur
Dr	GONTHIER	Alain	Maître de conférences
Dr	GREZEL	Delphine	Maître de conférences
Dr	HUGONNARD	Marine	Maître de conférences
Dr	JOSSON-SCHRAMME	Anne	Chargé d'enseignement contractuel
Pr	JUNOT	Stéphane	Professeur
Pr	KODJO	Angeli	Professeur
Dr	KRAFFT	Emilie	Maître de conférences
Dr	LAABERKI	Maria-Halima	Maître de conférences
Dr	LAMBERT	Véronique	Maître de conférences
Pr	LE GRAND	Dominique	Professeur
Pr	LEBLOND	Agnès	Professeur
Dr	LEDOUX	Dorothée	Maître de conférences
Dr	LEFEBVRE	Sébastien	Maître de conférences
Dr	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	Maître de conférences
Dr	LEGROS	Vincent	Maître de conférences
Pr	LEPAGE	Olivier	Professeur
Pr	LOUZIER	Vanessa	Professeur
Dr	LURIER	Thibaut	Maître de conférences
Dr	MAGNIN	Mathieu	Maître de conférences
Pr	MARCHAL	Thierry	Professeur
Dr	MOSCA	Marion	Maître de conférences
Pr	MOUNIER	Luc	Professeur
Dr	PEROZ	Carole	Maître de conférences
Pr	PIN	Didier	Professeur
Pr	PONCE	Frédérique	Professeur
Pr	PORTIER	Karine	Professeur
Pr	POUZOT-NEVORET	Céline	Professeur
Pr	PROUILLAC	Caroline	Professeur
Pr	REMY	Denise	Professeur
Dr	RENE MARTELLET	Magalie	Maître de conférences
Pr	ROGER	Thierry	Professeur
Dr	SAWAYA	Serge	Maître de conférences
Pr	SCHRAMME	Michael	Professeur
Pr	SERGENTET	Delphine	Professeur
Dr	TORTEREAU	Antonin	Maître de conférences
Dr	VICTONI	Tatiana	Maître de conférences
Dr	VIRIEUX-WATRELOT	Dorothée	Chargé d'enseignement contractuel
Pr	ZENNER	Lionel	Professeur

Remerciements au jury

À Madame la Professeure Elvire SERVIEN,

Professeure de l'Université Claude Bernard Lyon 1, Faculté de médecine de Lyon,

Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Sincères remerciements

À Madame la Docteure Dorothée LEDOUX,

Maître de conférences en zootechnie, bien-être animal et médecine des populations de VetAgro Sup,
Campus vétérinaire de Lyon

Pour m'avoir proposé ce sujet, pour m'avoir encadré durant ce travail, pour votre gentillesse et votre bienveillance, vos encouragements et le soutien que vous m'avez apporté, que ce soit lors de l'étude expérimentale ou lors de l'écriture de ce manuscrit.

Sincères remerciements

À Madame la Professeure Marie-Anne Arcangioli,

Professeure en Pathologie du Bétail de VetAgro Sup, Campus vétérinaire de Lyon

Pour votre disponibilité et l'intérêt que vous avez porté à mon travail.

Sincères remerciements

TABLE DES MATIÈRES

TABLES DES ANNEXES.....	11
TABLE DES FIGURES.....	13
TABLE DES TABLEAUX.....	15
TABLE DES ABRÉVIATIONS.....	17
INTRODUCTION.....	19
Partie I. Etude bibliographique.....	21
1 Les boiteries : une maladie majeure en élevage laitier.....	21
1.1 Classification des boiteries.....	21
1.1.1 Selon la localisation.....	21
1.1.2 Selon l'étiologie et les lésions associées.....	22
1.2 Prévalence des boiteries.....	24
1.2.1 En élevage laitier et en élevage allaitant.....	25
1.2.2 Selon la race.....	25
1.2.3 Selon la parité.....	26
1.2.4 Selon le stade de lactation.....	26
1.3 Impact des boiteries.....	27
1.3.1 Impact individuel en lien avec la santé et le bien-être.....	27
1.3.1.1 Augmentation de la sensation de faim et de soif lors de boiterie.....	27
1.3.1.2 Augmentation de l'inconfort lors d'une boiterie.....	28
1.3.1.3 Présence de douleur, blessure et maladie lors de boiterie.....	29
1.3.1.4 Modification du comportement normal des vaches boiteuses.....	29
1.3.1.5 Présence de peur et de détresse lors de la prise en charge d'une boiterie.....	30
1.3.2 Impact sur les performances zootechniques.....	31
1.3.2.1 Baisse du rendement laitier.....	31
1.3.2.2 Diminution des capacités de reproduction.....	32
1.3.2.3 Augmentation du taux de réforme.....	34
1.3.3 Impact économique des boiteries.....	34
1.3.3.1 Coût moyen d'un cas de boiterie selon l'étiologie.....	35
1.3.3.2 Facteurs de variation du coût des boiteries.....	36
1.4 Conclusion.....	38
2 Evaluation des boiteries.....	39
2.1 Evaluation en locomotion.....	39
2.1.1 Observations directes à l'aide de systèmes de notation manuels.....	39

2.1.1.1	Critères utilisés dans les systèmes de notation manuels	39
2.1.1.2	Les différents systèmes de notation manuels utilisés en locomotion	40
2.1.1.3	Exemple d'un système de notation manuel à cinq niveaux : la grille de Sprecher et al. (1997)	41
2.1.1.4	Exemple de systèmes de notation manuels à trois niveaux : la grille du projet Welfare Quality	42
2.1.1.5	Conclusion : intérêts et limites des systèmes de notation manuels	43
2.1.2	Observations avec des outils	44
2.1.2.1	Critères d'observation utilisés dans les systèmes de notation automatiques	44
2.1.2.2	Description des systèmes de notation automatiques	46
2.1.2.3	Conclusion : intérêts et limites des systèmes de notation automatiques	49
2.2	Evaluation en statique	50
2.2.1	Critères d'observation dans les systèmes de notation statiques	50
2.2.2	Présentation des systèmes de notation statiques	51
2.2.3	Exemple d'un système de notation statique : la grille de Bareille et Roussel modifiée par Poulain	52
2.2.4	Intérêts et limites des systèmes de notation statiques	52
2.3	Intérêt de l'utilisation des grilles en médecine des troupeaux : l'audit boiterie	53
2.4	Une limite : des grilles développées pour la race Holstein	54
2.5	Conclusion	55
3	La race Prim Holstein et la race Montbéliarde : deux races primordiales de l'élevage français aux caractéristiques différentes	57
3.1	Histoire	57
3.1.1	Histoire de la race Prim Holstein	57
3.1.2	Histoire de la race Montbéliarde	58
3.2	Effectif	58
3.2.1	Effectifs de la Prim Holstein et de la Montbéliarde en France	58
3.2.2	Importance des effectifs de la Prim Holstein et de la Montbéliarde au sein des effectifs laitiers	59
3.2.3	Répartition en France	60
3.2.3.1	Pour la race Prim Holstein	60
3.2.3.2	Pour la race Montbéliarde	61
3.2.4	Effectif dans le monde et exportation	62
3.3	Conduite d'élevage et intégration dans les filières	62
3.3.1	Pour la race Prim Holstein	62
3.3.2	Pour la race Montbéliarde	63
3.4	Objectifs de sélection	63

3.5	Caractéristiques zootechniques	65
3.5.1	Critères morphologiques.....	65
3.5.2	Critère de production : l'aptitude laitière	68
3.5.3	Critères fonctionnels	69
3.5.3.1	Santé de la mamelle	69
3.5.3.2	Aptitude de reproduction.....	71
3.5.3.3	Aptitude bouchère.....	72
3.5.3.4	Longévité	73
3.6	Conclusion	75
Partie II : Etude expérimentale.....		77
1	Problématique, objectifs et hypothèses	77
2	Matériels et méthodes	79
2.1	Autorisation d'expérimenter	79
2.2	Population de l'étude	79
2.2.1	Choix des élevages.....	79
2.2.2	Choix des animaux.....	80
2.3	Plan expérimental.....	80
2.3.1	Grilles utilisées.....	81
2.3.1.1	La grille en locomotion Welfare Quality : la grille de référence de mon étude	81
2.3.1.2	La grille statique de Poulain : la grille à tester dans notre étude.....	82
2.3.2	Entraînement de l'observateur	83
2.3.3	Protocole de notation.....	84
2.3.3.1	Notation en statique.....	84
2.3.3.2	Notation en locomotion	85
2.4	Méthodes d'analyse	85
2.4.1	Description de l'enregistrement des mesures	85
2.4.2	Description des variables de l'étude	86
2.4.3	Analyse des données	87
2.4.3.1	Comparaison de fréquence de boiterie selon la grille utilisée	87
2.4.3.2	Sensibilité et spécificité du score statique	88
2.4.3.3	Valeurs prédictives positive et négative des résultats obtenus par le score statique	88
2.4.3.4	Distribution des niveaux de scores.....	89
2.4.3.5	Concordance et corrélation entre les niveaux de score statique et de score en locomotion	89
2.4.3.6	Combinaisons de postures selon le score en locomotion	90

2.4.3.7	Fréquence des modifications de postures selon le score en locomotion	91
2.4.3.8	Sensibilité, spécificité, VPP et VPN des modifications de posture	91
3	Résultats	93
3.1	Fréquence de boiteries selon la grille utilisée	93
3.2	Sensibilité, spécificité du score statique de Poulain	94
3.3	VPP et VPN des scores obtenus avec la grille de Poulain	94
3.4	Distribution des niveaux de score de boiteries	95
3.4.1	Selon la notation en locomotion	95
3.4.2	Selon la notation en statique	96
3.5	Concordance et corrélation entre les niveaux de score statique et de score en locomotion	97
3.6	Combinaisons de postures et score de boiterie	98
3.7	Fréquence des modifications de postures en fonction du score de locomotion	100
3.8	Sensibilité, spécificité, valeurs prédictives positive et négative des postures du score statique.....	101
3.9	Bilan de l'utilisation du score statique de Poulain en race Montbéliarde	101
3.10	Modification du score statique	102
3.10.1	Description du nouveau score de boiterie	102
3.10.2	Evaluation du score statique modifié.....	103
3.10.2.1	Fréquence des boiteries	103
3.10.2.2	Sensibilité et spécificité du score statique modifié.....	104
3.10.2.3	VPP et VPN des scores obtenus avec la grille statique modifiée	105
3.10.2.4	Distribution des niveaux de score statique modifié.....	105
3.10.2.5	Concordance et corrélation entre les niveaux de score statique modifié et de score en locomotion.....	106
3.10.2.6	Combinaison des postures et score de boiterie	107
3.11	Bilan : comparaison des scores statiques avec le score de locomotion.....	109
4	Discussion	111
	CONCLUSION	119
	BIBLIOGRAPHIE.....	121
	ANNEXES.....	129

TABLES DES ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de consentement éclairé destinée aux éleveurs participant à l'étude expérimentale	129
Annexe 2 : Capture d'écran du fichier Excel des données de notation statique	130
Annexe 3 : Capture d'écran du fichier Excel des données de notation en locomotion	130
Annexe 4 : Capture écran du fichier Excel des scores de boiterie	130
Annexe 5 : Script R.....	131

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des boiteries (d'après Delacroix et Gervais 2023).....	21
Figure 2 : Les cinq maladies principales à l'origine de lésions podales (d'après Delacroix et Gervais 2023).....	22
Figure 3 : Liste des lésions podales et origines associées (d'après Bareille et Roussel 2014)	23
Figure 4 : Répartition des lésions parmi les lésions susceptibles de faire boiter en % de vaches atteintes de ces lésions (d'après Saillard et al. 2020)	24
Figure 5 : Evolution des fréquences d'observation de lésions selon le stade de lactation, en % de vaches parées (d'après Saillard et al. 2020)	27
Figure 6 : Comparaison de l'évolution de la production laitière lors de la lactation d'une vache saine, d'une vache boiteuse et de la lactation d'une vache boiteuse estimée sans la boiterie (d'après Green et al. 2002).....	32
Figure 7 : Coût (en €) d'un cas de boiterie selon le stade de lactation (d'après Dolecheck et al. 2019)	37
Figure 8 : Méthode cinématique utilisant un algorithme (Viazzi et al. 2013).....	46
Figure 9 : Données obtenues lors de l'analyse de la marche d'une vache sur une passerelle de pression (d'après Maertens et al. 2011)	47
Figure 10 : Répartition par race des effectifs au contrôle laitier en France en 2021 (d'après Idele 2022a).....	59
Figure 11 : Evolution du nombre de vaches de races Prim Holstein et Montbéliarde au contrôle laitier sur 10 ans (d'après Idele 2022a)	60
Figure 12 : Répartition départementale des effectifs de vaches Prim Holstein au contrôle laitier (d'après Idele 2022a).....	61
Figure 13 : Répartition départementale des effectifs de vaches montbéliardes au contrôle laitier (d'après Idele 2022a).....	61
Figure 14 : Détail du calcul de l'ISU pour la race Prim Holstein (d'après Prim'Holstein France 2023) .	64
Figure 15 : Détail du calcul de l'ISU pour la race Montbéliarde (d'après Idele 2022c)	65
Figure 16 : Comparaison des tables de pointage Montbéliarde et Prim Holstein pour les postes du dos et des aplombs (d'après Montbéliarde association 2018 ; Prim Holstein France 2021).....	67
Figure 17 : Evolution des fréquences de lactation avec un taux cellulaire élevé ou bas pour les principales races laitières françaises depuis 2011 (d'après Idele 2022a)	70
Figure 18 : Part des effectifs des vaches contrôlées par race en fonction du rang de lactation (d'après Idele 2022a).....	74
Figure 19 : Combinaisons des sous-scores de chaque posture et détermination du score statique (d'après Poulain 2018)	83
Figure 20 : Nombre de vache observées en fonction du niveau de score en locomotion de boiterie (n= 296)	95
Figure 21 : Nombre de vaches observées en fonction du niveau de score statique de boiterie (n= 296)	96
Figure 22 : Nombre de vaches présentant les modifications de postures suivantes : Dos courbé, Légère anomalie des aplombs, rotation interne des jarrets et suppression d'appui pour chaque niveau du score en locomotion	100
Figure 23 : Combinaisons possibles pour les sous scores de chaque posture et score statique modifié associé.....	103
Figure 24 : Nombre de vaches observées en fonction du niveau de score statique de boiterie (n= 296)	105

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I : Prévalences des boiteries rencontrées dans la littérature	24
Tableau II : Budget temps d'une vache laitière et modifications lors de boiterie (d'après Grant 2011)	30
Tableau III : Impact des boiteries sur les indicateurs de reproduction	33
Tableau IV : Fréquence des réformes consécutives à une boiterie selon la sévérité (d'après Roussel 2009).....	34
Tableau V : Données synthétiques des coûts totaux des boiteries et de la part de chaque contributeurs en € (et en % du coût total) (d'après Liang et al. 2017)	35
Tableau VI : Coût annuel (en €) par vache atteinte de boiterie selon la sévérité (d'après Charfeddine et Perez-Cabal 2017).....	36
Tableau VII : Les différentes échelles de systèmes de notation manuels et l'exemple le plus fréquemment décrit dans la littérature pour chacune d'elles (d'après Schlageter-Tello et al. 2014)..	41
Tableau VIII : Description de la grille développée par Sprecher et al. (d'après Sprecher et al. 1997)..	42
Tableau IX : Intérêts et limites des systèmes de notation manuels (d'après Bareille et Roussel 2014 ; Leach et al. 2009 ; Schlageter-Tello et al. 2014)	43
Tableau X : Critères analysés par les systèmes de notation automatiques (d'après Schlageter-Tello et al. 2014).....	45
Tableau XI : Intérêts et limites des systèmes de notation automatiques (d'après Alsaad et al. 2019 ; Poulain et Ledoux 2020 ; Shepley et al. 2017)	50
Tableau XII : Sensibilité et spécificité des modifications de postures observées (d'après Hoffman et al. 2014).....	51
Tableau XIII : Présentation des systèmes de notation statiques.....	51
Tableau XIV : Intérêts et limites des systèmes de notation statiques (d'après Guatteo et al. 2020 ; Palacio et al. 2017 ; Poulain 2018 ; Antoine 2020).....	53
Tableau XV : Indicateurs et objectifs pour évaluer un problème de boiterie dans un élevage (d'après Herman 2020).....	54
Tableau XVI : Effectifs des principales races bovines en France (d'après Idele 2022b)	59
Tableau XVII : Comparaison des critères morphologiques des races Montbéliarde et Prim Holstein (d'après Denis B et Avon 2010)	66
Tableau XVIII : Caractéristiques des lactations brutes au contrôle laitier en 2021 (d'après Idele 2022b)	68
Tableau XIX : Caractéristiques des lactations selon le système d'élevage et selon la race (d'après Balandraud et al. 2018)	69
Tableau XX : Indicateurs de fécondité et de fertilité selon la race (d'après Balandraud et al. 2018 ; Idele 2022d).....	71
Tableau XXI : Critères zootechniques et économiques secondaires à l'aptitude bouchère (d'après Balandraud et al. 2018)	73
Tableau XXII : Caractéristiques des élevages choisis pour les observations	80
Tableau XXIII : Ethogramme de la grille d'évaluation des boiteries en locomotion de Welfare Quality (d'après Leach et Whay 2009)	81
Tableau XXIV : Ethogramme de la grille statique de Poulain (d'après Poulain 2018).....	82
Tableau XXV : Table de contingence entre le score statique et le score de locomotion	88
Tableau XXVI : Table de concordance entre le score statique et le score en locomotion	89
Tableau XXVII : Table de concordance entre le score statique et le score en locomotion détaillée pour chaque combinaison de postures	91

Tableau XXVIII : Effectifs et fréquences des boiteries en statique et en locomotion pour chaque élevage	93
Tableau XXIX : Table de contingence du score statique et du score en locomotion	94
Tableau XXX : Table de concordance entre le score statique et le score dynamique.....	97
Tableau XXXI : Table de concordance détaillée pour chacune des combinaisons de postures du score statique	98
Tableau XXXII : Sensibilité, spécificité, VPP et VPN des modifications de postures.....	101
Tableau XXXIII : Effectifs et fréquences des boiteries en score statique modifié et en locomotion pour chaque élevage	104
Tableau XXXIV : Table de contingence du score statique modifié et du score en locomotion.....	104
Tableau XXXV : Table de concordance entre le score statique modifié et le score dynamique	106
Tableau XXXVI : Table de concordance détaillée pour chaque combinaison de postures du score statique modifié	108
Tableau XXXVII : Fréquences des boiteries observées pour chaque grille d'évaluation et sensibilités, spécificités, VPP et VPN des deux scores statiques en prenant le score en locomotion comme référence	109

TABLE DES ABRÉVIATIONS

BEA : Bien-être animal

FFPN : Française Frisonne Pie-Noire

IAF : Insémination artificielle fécondante

IA1 : Insémination artificielle première

ISU : Index de synthèse unique

IVV : intervalle vêlage-vêlage

L0 : Score en locomotion de 0

L1 : Score en locomotion de 1

L2 : Score en locomotion de 2

NEC : Note d'état corporel

S0 : Score statique de 0

S1 : Score statique de 1

S2 : Score statique de 2

Se : Sensibilité

Sm0 : Score statique modifié de 0

Sm1 : Score statique modifié de 1

Sm2 : Score statique modifié de 2

Sp : Spécificité

TB : Taux Butyreux

TP : Taux Protéique

VPN : Valeur prédictive négative

VPP : Valeur prédictive positive

INTRODUCTION

Une boiterie est une démarche anormale qui résulte d'une blessure, d'une maladie ou d'un dysfonctionnement d'un ou de plusieurs pieds et/ou membres (Whay et Shearer 2017). Les boiteries constituent la troisième cause de pertes économiques dans les élevages laitiers, derrière les mammites et les troubles de la reproduction (Enting et al. 1997), et leur prévalence décrite dans la littérature varie entre 10 (Bielfeldt et al. 2005) et 36 % (Leach et al. 2010). Les boiteries ont également un impact zooteknique négatif concernant la production laitière, la reproduction et l'augmentation du risque de réforme (Schlageter-Tello et al. 2014). Enfin, les boiteries ont un impact majeur sur le bien-être animal (Whay et Shearer 2017).

La maîtrise des boiteries constitue donc un enjeu majeur en élevage laitier. Les outils les plus fréquemment utilisés pour la détection des boiteries sont les grilles d'évaluation en locomotion (Viazzi et al. 2013), mais leur utilisation à l'échelle d'un troupeau peut s'avérer très chronophage (Bareille et Roussel 2014). Face au manque de temps des éleveurs dans des élevages grandissants, les systèmes automatiques d'évaluation des boiteries ont été mis au point, mais leur coût élevé et leur manque de performance constituent un frein à leur développement (Alsaad et al. 2019). Ainsi, face aux limites de l'évaluation des boiteries en locomotion et au faible nombre de systèmes automatiques performants et économiquement utilisables dans les élevages, les systèmes d'évaluation en statique des boiteries semblent être une alternative intéressante. Ces systèmes se basent sur l'observation de modifications de certaines postures corrélées à la présence de boiterie chez les vaches prim holstein (Hoffman et al. 2014).

Malgré l'importance de la race Montbéliarde au sein des effectifs bovins et de la filière laitière, aucune étude n'a été réalisée, à notre connaissance, sur la corrélation entre ces modifications de postures et la présence de boiterie en race Montbéliarde. Ainsi, les nombreuses différences morphologiques entre les races Prim Holstein et Montbéliarde nous ont amenés à nous interroger sur la possibilité d'utiliser une grille d'évaluation statique des boiteries développée en race Prim Holstein pour la détection des boiteries en race Montbéliarde. Par exemple, la musculature plus développée en race Montbéliarde qu'en race Prim Holstein, et notamment au niveau de la ligne de dos pourrait influencer les observations de la modification de posture du dos.

L'objectif de ce travail était d'évaluer la capacité d'une grille d'évaluation statique, développée par Bareille et Roussel (Bareille et Roussel 2014) et modifiée par Poulain (Poulain 2018), à détecter les boiteries et à déterminer le niveau de score de boiterie chez des vaches de race Montbéliarde, et d'améliorer cette grille le cas échéant.

Dans un premier temps, nous montrerons que la boiterie constitue une maladie majeure en élevage laitier. Ensuite, nous étudierons les méthodes disponibles pour l'évaluation des boiteries. Puis, nous mettrons en évidence l'importance des races Prim Holstein et Montbéliarde tout en nous attardant sur les différences morphologiques entre ces deux races. Enfin, à travers une étude expérimentale, nous étudierons la capacité de la grille de Bareille et Roussel modifiée par Poulain à détecter et à déterminer le niveau de boiterie des vaches de race Montbéliarde puis nous proposerons une amélioration de cette grille.

Partie I. Etude bibliographique

1 Les boiteries : une maladie majeure en élevage laitier

1.1 Classification des boiteries

1.1.1 Selon la localisation

Dans 90 % des cas, les boiteries sont causées par une atteinte podale. Pour les 10% restants, les boiteries peuvent avoir une origine osseuse, articulaire, musculaire ou nerveuse avec des localisations très diverses. Environ 80% des affections podales sont localisées au niveau des postérieurs contre 20% au niveau des antérieurs. En effet, les postérieurs sont soumis à de plus grandes contraintes. Enfin, les onglons externes sont les plus touchés sur les postérieurs, toujours pour des raisons biomécaniques (Figure 1) (Delacroix et Gervais 2023).

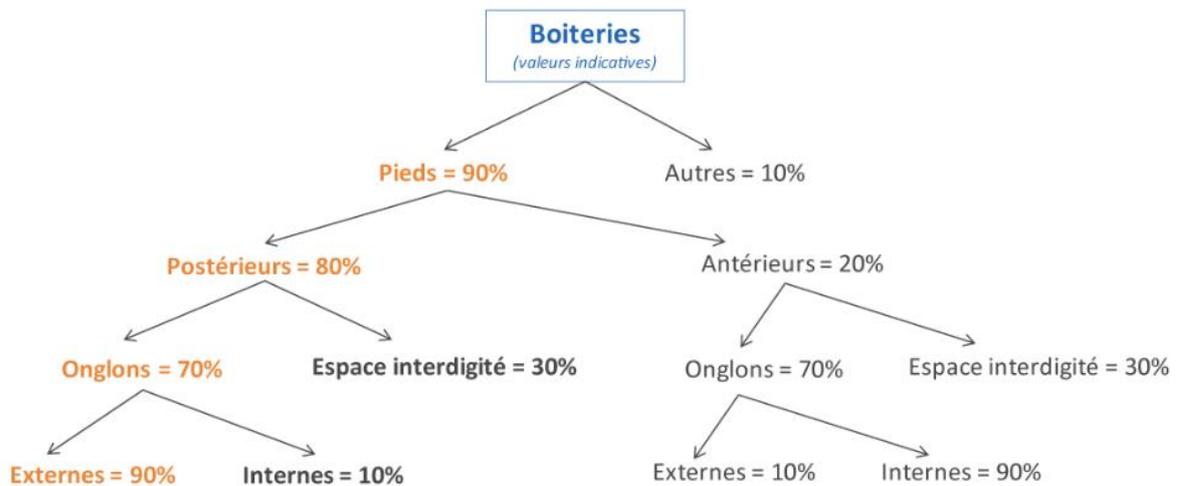


Figure 1 : Localisation des boiteries (d'après Delacroix et Gervais 2023)

1.1.2 Selon l'étiologie et les lésions associées

Les boiteries d'origine podale sont causées par cinq maladies principales (Delacroix et Gervais 2023) (Figure 2) :

- La fourbure est une maladie non-infectieuse secondaire à des perturbations complexes de la vascularisation du pied, de la position de la troisième phalange et de la fabrication de la corne ;
- Le fourchet et la maladie de Mortellaro sont des maladies bactériennes contagieuses. Le fourchet est causé par *Fusobacterium necrophorum* et *Dichelobacter nodosus*. La maladie de Mortellaro est causée par des bactéries du genre *Tréponème* ;
- Le panaris apparaît à la suite de l'entrée de germes par une plaie de la peau interdigitale créée par un traumatisme ou à la suite de la présence de fourchet. Le panaris peut prendre des allures de maladie contagieuse ;
- L'abcès de la sole apparaît à la suite de l'entrée de germes due à la perforation de la sole par un objet contondant.

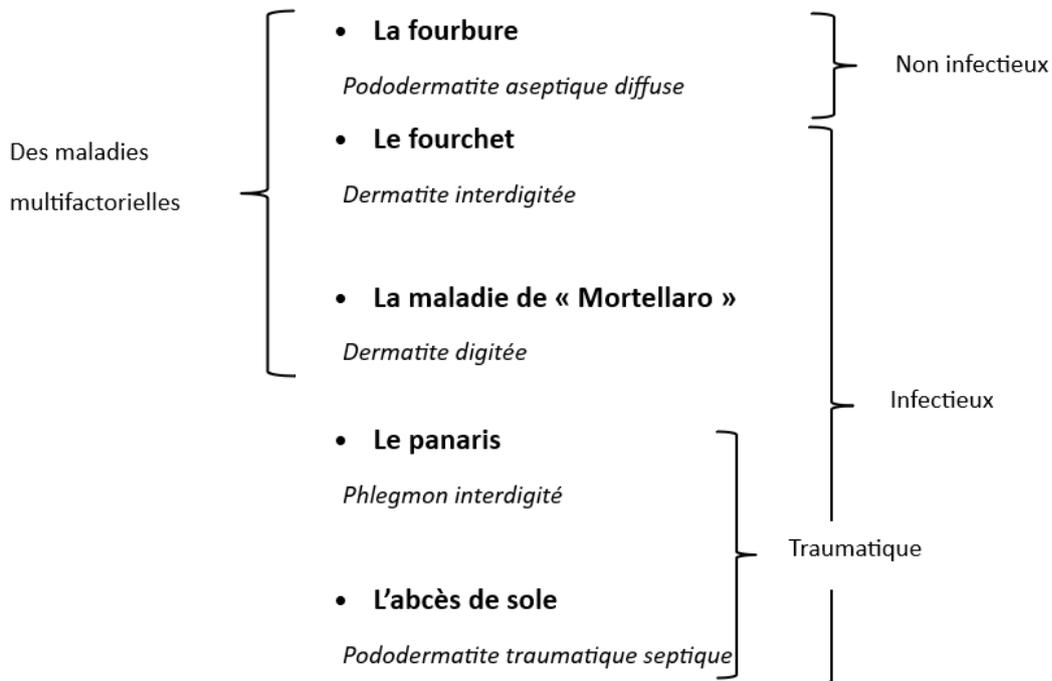


Figure 2 : Les cinq maladies principales à l'origine de lésions podales (d'après Delacroix et Gervais 2023)

Les boiteries peuvent être secondaires à des lésions podales d'origine non infectieuse, infectieuse ou commune (dont l'origine peut être non infectieuse ou consécutive à la lésion infectieuse du fourchet) (Saillard et al. 2020). La liste des lésions susceptibles d'être observées lors d'un parage est présentée dans la Figure 3.

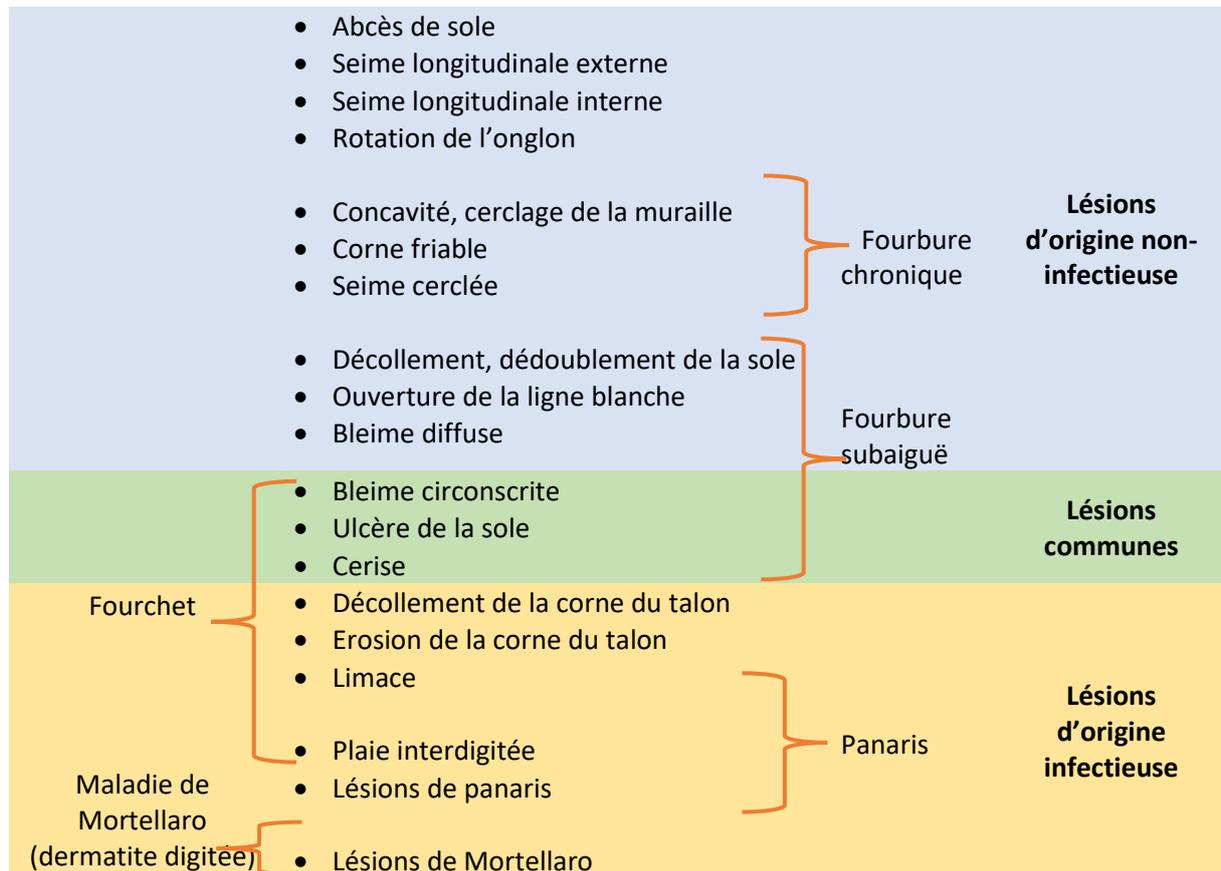


Figure 3 : Liste des lésions podales et origines associées (d'après Bareille et Roussel 2014)

L'érosion de la corne du talon et la bleime diffuse sont les deux lésions les plus fréquemment observées. Leurs fréquences d'observation lors d'un parage sont respectivement de 74,8 % et 68,2 %. Cependant, dans la majorité des cas, ces lésions ne sont pas susceptibles d'engendrer une boiterie (Saillard et al. 2020).

Les lésions de dermatite digitée constituent les lésions les plus souvent observées lors de boiteries. L'ulcère de la sole, la cerise et l'ouverture de la ligne blanche sont également des lésions responsables de boiteries (Charfeddine et Perez-Cabal 2017). La répartition des lésions parmi les lésions susceptibles de faire boiter est représentée dans la Figure 4.

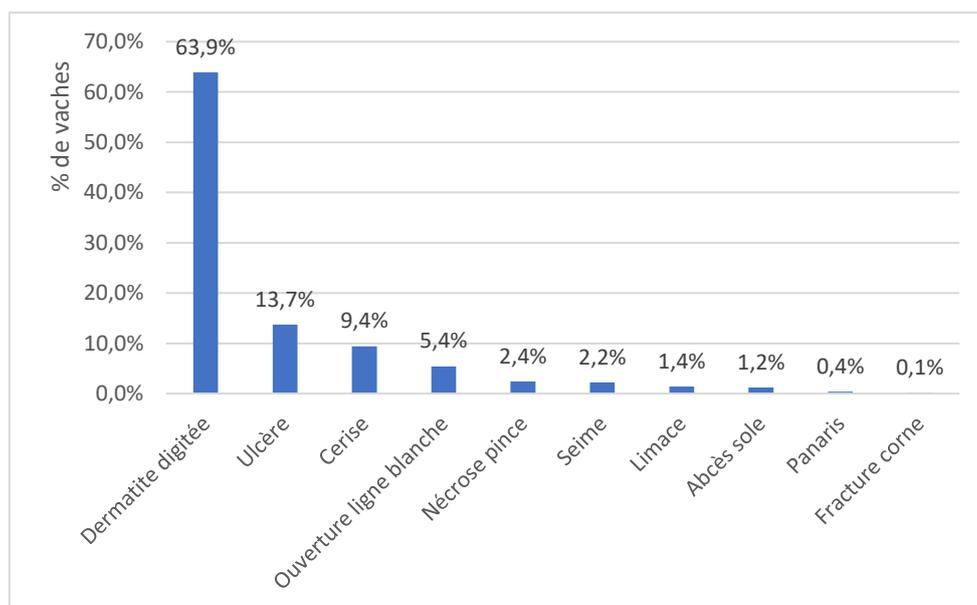


Figure 4 : Répartition des lésions parmi les lésions susceptibles de faire boiter en % de vaches atteintes de ces lésions (d'après Saillard et al. 2020)

1.2 Prévalence des boiteries

Les prévalences de boiteries évoquées dans la littérature sont variables mais se situent généralement entre 10 et 36 % selon les études (Tableau I). Cette variabilité de prévalence entre les études pourrait s'expliquer par la difficulté à définir une boiterie (Green et al. 2002) et par la diversité des facteurs de risque des populations de chaque étude (Harris et al. 1988).

Tableau I : Prévalences des boiteries rencontrées dans la littérature

Etude	Année	Grille d'évaluation utilisée	Effectif	Race	Prévalence moyenne (en %)	Pays
Clarkson et al. (1996)	1989 à 1991	Manson et Leaver (9 niveaux)	4230 vaches	Laitières	20,6	Pays de Galles
Bielfeldt et al. 2005	2005	Lischer et al. (6 niveaux)	4621 vaches	Laitières	10,0	Suisse
Espejo et al. (2006)	2006	Sprecher et al. (5 niveaux)	5626 vaches	Prim Holstein	24,6	Etat Unis
Ji et al. (2021)	2007 à 2008	Flower et Weary (9 niveaux)	1319 vaches	Laitières	28,5	Canada
Leach et al. (2010)	2010	Barker et al (4 niveaux)	222 élevages	Laitières	36,0	Angleterre et Pays de Galles
Solano et al. (2015)	2015	Flower et Weary (9 niveaux)	5637 vaches	Prim Holstein	20,8	Canada

1.2.1 En élevage laitier et en élevage allaitant

Les boiteries constituent un problème majeur dans tous les types d'élevages bovins (Relun, et al. 2020) mais les prévalences présentées dans la littérature sont couramment plus élevées chez les vaches laitières. À notre connaissance, aucune étude ne compare les prévalences de boiterie chez les bovins laitiers et allaitants et la majorité des études de prévalence reposent sur l'observation des vaches laitières (Tableau I). Au cours de leur étude, Tunstall et al. (2019) ont montré que la prévalence des boiteries était en moyenne de 7,8 % chez les bovins allaitants à l'engraissement et de 13,4 % chez les vaches allaitantes. Les boiteries constituent la deuxième cause de morbidité chez les jeunes bovins à l'engraissement derrière les affections respiratoires (Relun et al. 2020) et sont responsables de 16 % (Griffin 2006) à 40 % (Hendrick et Abeysekara 2014) des traitements.

1.2.2 Selon la race

Les vaches de race Prim Holstein pourraient présenter une prévalence de boiterie particulièrement élevée. La forte production laitière (Idele 2022a) et la faible note d'état corporel (NEC) de la race Prim Holstein (Balandraud et al. 2018) pourraient expliquer cette tendance. En effet, la prévalence des boiteries serait supérieure chez les vaches hautes productrices (Green et al. 2002) et chez les vaches présentant une faible note d'état corporel ou un fort amaigrissement (Bicalho et al. 2009). Par exemple, Harris et al. (1988) ont montré dans leur étude que la Prim Holstein avait une prévalence de boiterie plus élevée que la Jersiaise.

À notre connaissance, les variations de prévalence des boiteries entre les races françaises ne sont pas connues mais ces dernières présentent des variations de fréquence des lésions observées lors de parages. Par exemple, les Montbéliardes et les Normandes présenteraient une prévalence plus importante pour la bleime diffuse, l'ouverture ligne blanche, l'ulcère et la cerise. Cette différence pourrait être liée à des prédispositions raciales ou secondaires à des conduites d'élevage différentes (chemin parcouru lié à la pâture). À l'inverse, les Prim Holstein seraient plus touchées par la dermatite digitée, mais ce résultat pourrait être lié au système d'élevage, incluant la part de pâturage et le type de bâtiment (Saillard et al. 2020).

1.2.3 Selon la parité

De nombreuses études indiquent que la prévalence des boiteries augmente avec la parité (Dippel et al. 2009), (Booth et al. 2004), (Bicalho et al. 2007). Par exemple, dans leur étude, Solano et al. (2015) ont montré que la prévalence de boiterie était de 14 % chez les primipares, 18 % chez les deuxièmes lactations, contre plus de 32 % chez les vaches étant en quatrième lactation ou plus et 38 % chez les vaches étant en septième lactation ou plus.

L'augmentation de la prévalence avec le rang de lactation se traduit par une évolution des lésions observées selon le rang de lactation. Trois profils de lésions sont alors décrits (Saillard et al. 2020) :

- Les lésions comme l'érosion de la corne du talon, l'ouverture de la ligne blanche, l'ulcère et la cerise pour lesquelles on observe une augmentation progressive du risque de lésion avec le rang de lactation ;
- Les lésions comme la bleime diffuse pour lesquelles aucune différence significative entre rangs de lactation n'est observée ;
- Les lésions comme la dermatite digitée présentant un pic de prévalence en deuxième lactation. Cela pourrait s'expliquer par le temps nécessaire à la contamination des nouvelles vaches à l'arrivée dans le troupeau, puis par le développement de l'immunité ou la réforme.

1.2.4 Selon le stade de lactation

Un pic de fréquence peut être observé trois mois après le vêlage (Green et al. 2002). Cela se traduit par des évolutions de la fréquence d'observation de chaque lésion en fonction du stade de lactation (Figure 5). Deux profils d'évolution de la fréquence se distinguent (Saillard et al. 2020) :

- Les lésions plus souvent présentes dans le premier tiers de lactation (Figure 5). Ce sont les bleimes diffuses ou circonscrites secondaires aux facteurs de risque liés à l'élevage, à l'amaigrissement et à la gestion du début de lactation. Les lésions d'ulcère et cerises ont un pic plus étalé sur la phase 12 à 200 jours de lactation. L'enchaînement du pic de présence de blème circonscrite puis de celui des ulcères et des cerises semble conforter le lien d'apparition entre ces lésions au même endroit de la sole ;

- Les lésions dont le risque de présence augmente avec l'avancée de la lactation. Ce sont la dermatite digitée et l'érosion de la corne du talon. Cette évolution pourrait évoquer une accumulation des cas de boiterie d'origine infectieuse avec l'avancée en lactation.

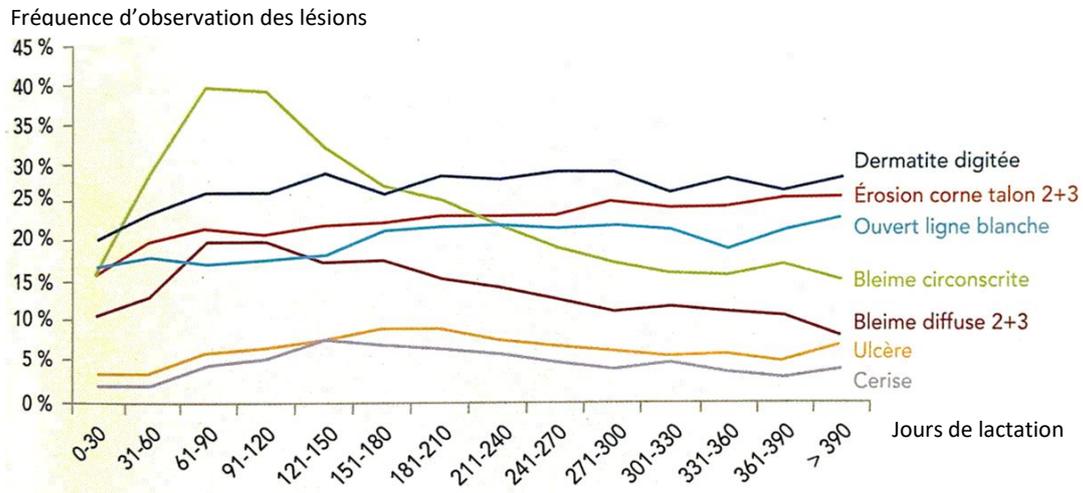


Figure 5 : Evolution des fréquences d'observation de lésions selon le stade de lactation, en % de vaches parées (d'après Saillard et al. 2020)

1.3 Impact des boiteries

1.3.1 Impact individuel en lien avec la santé et le bien-être

L'étude des conséquences des boiteries sur les cinq grandes libertés est essentielle à la compréhension de l'impact des boiteries sur le bien être-animal. En effet, ces libertés correspondent aux besoins fondamentaux nécessaires aux vaches pour jouir d'un bien-être suffisant. Les cinq grandes libertés du bien-être animal sont l'absence de faim et de soif, l'absence d'inconfort, l'absence de douleur, blessure et maladie, la liberté d'exprimer un comportement normal et l'absence de peur et de détresse (Farm Animal Welfare Council 1993).

1.3.1.1 Augmentation de la sensation de faim et de soif lors de boiterie

Les boiteries empêchent les vaches de s'alimenter selon leurs besoins. En effet, la douleur engendrerait une diminution de la fréquence des déplacements vers la zone d'alimentation, une diminution du temps passé en station debout et une diminution de la

capacité de l'animal à entrer en compétition avec ses congénères lors de la distribution de l'alimentation (Whay et Shearer 2017). De plus, les vaches boiteuses auraient tendance à entrer parmi les dernières en salle de traite puis à arriver après leurs congénères aux cornadis. Par conséquent, elles ont accès à moins d'aliments à haute valeur énergétique si ceux-ci sont distribués pendant la traite (Walker et al. 2008). Aussi, elles restent moins longtemps dans la zone de pâturage (Gomez et Cook 2010). Par exemple, le temps consacré à l'alimentation serait de 4,50 heures par jour pour une vache saine contre 3,79 heures par jour pour une vache sévèrement boiteuse. Le défaut d'alimentation des vaches boiteuses est visible par leur perte d'état corporel et peut être considéré comme un indicateur indirect de la faim (Whay et Shearer 2017).

Les vaches boiteuses présentent une diminution de la prise de boisson. Cela s'expliquerait par une diminution de la fréquentation des allées à proximité des abreuvoirs. Par exemple, le temps passé dans les allées serait de 2,37 heures par jour pour une vache saine contre 1,82 heure par jour pour une vache sévèrement boiteuse (Gomez et Cook 2010).

1.3.1.2 Augmentation de l'inconfort lors d'une boiterie

Une démarche anormale lors d'un épisode de boiterie résulte d'un inconfort lors des déplacements. Les vaches boiteuses présentent également plus de difficultés pour se lever et se coucher. Il est particulièrement important d'offrir à ces animaux un confort optimal lors de leur période de couchage et de déplacement afin de limiter leur inconfort et de favoriser leur récupération (Gomez et Cook 2010).

De plus, les vaches boiteuses sont davantage susceptibles de souffrir d'inconfort thermique. En effet, elles présenteraient une capacité moindre à adapter leur comportement à leur environnement. Par exemple, en cas de température élevée, ces vaches ne sont pas capables de rester debout pour réguler leur température ou de se déplacer vers une zone plus fraîche (Whay et Shearer 2017).

1.3.1.3 Présence de douleur, blessure et maladie lors de boiterie

Les boiteries résultent d'une douleur, d'une maladie ou du dysfonctionnement d'un membre ou du reste de l'appareil locomoteur. De plus, bien que souvent nécessaire pour soigner les causes de boiterie, le parage renforce temporairement la douleur. La difficulté à traiter certaines boiteries entraîne une douleur chronique chez ces animaux. Celle-ci s'accompagnerait parfois d'un état d'hyperalgésie pouvant durer jusqu'à 28 jours après la détection de la boiterie (Whay et Shearer 2017).

1.3.1.4 Modification du comportement normal des vaches boiteuses

Le budget temps d'une vache laitière est significativement modifié lors de boiterie (Whay et Shearer 2017) (Tableau II) :

Les vaches boiteuses passeraient plus de temps couchées (Hut et al. 2021). Elles augmenteraient la durée des périodes de couchage (Yunta et al. 2012) et diminueraient le nombre de celles-ci (Hut et al. 2021). Elles resteraient plus longtemps debout devant les logettes (Whay et Shearer 2017).

Le temps consacré à l'alimentation serait plus faible, jusqu'à 38 minutes de moins par jour (Hut et al. 2021). Cela se traduirait par un nombre de repas diminué (jusqu'à 0,8 repas de moins par jour) et une durée réduite de chaque prise alimentaire (jusqu'à 2,4 min) (Hut et al. 2021). De plus, les vaches boiteuses se coucheraient en moyenne 19 minutes plus tôt que les vaches saines après la distribution de l'alimentation (Yunta et al. 2012).

Les vaches boiteuses initieraient moins d'interactions sociales avec leurs congénères. Il est possible que ce comportement s'explique par un évitement des possibilités d'agressions (Whay et Shearer 2017).

Le temps de rumination serait diminué en cas de boiterie. Cependant, toutes les études ne s'accordent pas quant à la diminution de cette durée (Hut et al. 2021).

Les vaches boiteuses consacraient moins de temps à l'expression du comportement œstral (Walker et al. 2008). L'expression de cet œstrus serait moins intense. Elles chevaucheraient moins fréquemment leurs congénères (Walker et al. 2010).

Le temps passé en salle de traite serait plus élevé chez les vaches boiteuses (Gomez et Cook 2010). Ces vaches auraient tendance à passer après leurs congénères afin de limiter les risques d'agression.

Tableau II : Budget temps d'une vache laitière et modifications lors de boiterie (d'après Grant 2011)

Activités	Durée chez les vaches laitières saines	Variation de la durée lors d'une boiterie
Repos (temps de couchage)	12 à 14 heures par jour (12,9 périodes de 1,2 heure)	Augmentée
Alimentation	3 à 5 heures par jour (En 9 à 14 repas)	Diminuée (Diminuée)
Interactions sociales	2 à 3 heures par jour	Diminuée
Rumination (debout ou couchée)	7 à 10 heures par jour	Diminuée
Prise de boisson	0,5 heure par jour	Diminuée
Traite	2,5 à 3,5 heures par jour	Augmentée

1.3.1.5 Présence de peur et de détresse lors de la prise en charge d'une boiterie

La prise en charge d'une boiterie est une source importante de peur et de détresse pour la vache. L'isolement d'une vache et l'utilisation d'un moyen de contention quel qu'il soit est un facteur de stress chez les bovins. Le parage en lui-même est aussi une source de stress et de douleur. Les vaches ont une bonne mémoire des mauvaises expériences. Par exemple, le passage dans une cage de contention en faisant partie, il est souvent difficile de les y faire rentrer. Par conséquent, l'opérateur a souvent recours à des attitudes agressives qui augmentent le stress et renforcent la négativité de l'expérience. La simple séparation du troupeau d'une vache en vue d'un parage pourrait engendrer un niveau de cortisol significativement plus élevé que chez les vaches témoins (Whay et Shearer 2017).

1.3.2 Impact sur les performances zootechniques

Les boiteries sont un problème majeur en élevage laitier. Elles sont associées à un effet négatif sur le rendement laitier et sur les performances reproductrices et elles augmentent le risque de réforme (Schlageter-Tello et al. 2014).

1.3.2.1 Baisse du rendement laitier

Une vache boiteuse présente une baisse de la production laitière de 350 kg de lait en moyenne lors de sa lactation. Cette baisse de production peut être observée dès le quatrième mois précédant le diagnostic de la boiterie et jusqu'à cinq mois après le traitement. Elle dépend du stade de lactation au moment de la boiterie et de la sévérité de celle-ci (Ji et al. 2021). Par exemple, la baisse de production laitière au cours de la lactation serait de 50 kg pour une boiterie légère, 250 kg pour une boiterie modérée et 800 kg pour une boiterie sévère (Roussel 2009). Cette baisse de production pourrait se traduire par le fait que les vaches boiteuses se rendent moins souvent au robot de traite que les vaches non boiteuses. L'inconfort pourrait expliquer cette baisse de fréquentation des robots de traite (Alsaad et al. 2019).

Cependant, cette baisse de production est difficile à estimer pour les vaches laitières hautes productrices, chez qui la prévalence des boiteries est supérieure. En effet, leur production initialement au-dessus de la moyenne peut finalement être dans la moyenne et non au-dessous de la moyenne (Green et al. 2002) (Figure 6).

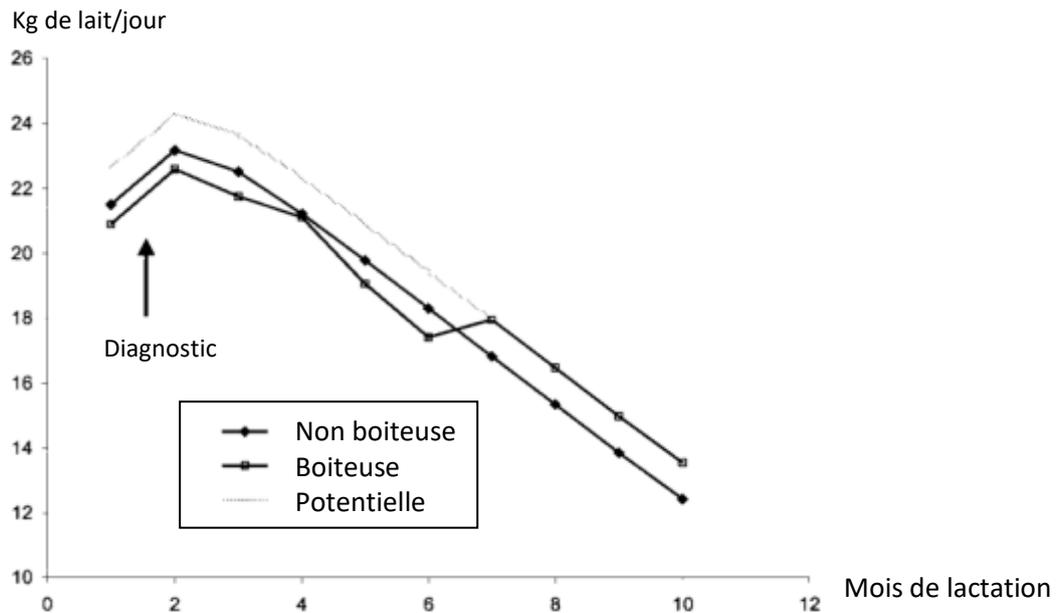


Figure 6 : Comparaison de l'évolution de la production laitière lors de la lactation d'une vache saine, d'une vache boiteuse et de la lactation d'une vache boiteuse estimée sans la boiterie (d'après Green et al. 2002)

1.3.2.2 Diminution des capacités de reproduction

Les boiteries sont responsables d'une dégradation des paramètres de reproduction (Tableau III). L'intervalle vêlage-insémination artificielle fécondante (IAF) (Collick et al. 1989) et par conséquent l'intervalle vêlage-vêlage (IVV) (Roussel 2009) sont augmentés en cas d'épisode de boiterie dans les quatre premiers mois de lactation. Cette diminution des performances de reproduction est présente à plusieurs moments clés :

- Impact sur la reprise de la cyclicité ovarienne post-partum et l'ovulation :

Il a été montré que les boiteries conduisaient à un taux d'ovulation plus faible (Morris et al. 2009). Cela pourrait s'expliquer par une perturbation du fonctionnement de l'axe hypothalamus-hypophyse-ovaire causé par le stress chronique qu'est la boiterie. Cela se traduit par une baisse de fréquence des impulsions de l'hormone de libération de la gonadotrophine et de l'hormone lutéinisante (Walker et al. 2010). Les vaches qui sont devenues boiteuses dans les 30 premiers jours du post-partum présenteraient un retard de 18 jours de la première activité lutéale et une incidence plus élevée de kystes ovariens (Melendez et al. 2003). Par conséquent, un retard des premières chaleurs de huit jours serait observé chez les vaches boiteuses (Hernandez et al. 2001).

- Impact sur l'expression des chaleurs :

Les vaches boiteuses seraient davantage exposées à une inhibition du comportement lié à l'œstrus. En effet, il a été montré que les vaches sévèrement boiteuses présentaient une diminution du temps total de chevauchement (temps passé debout pour être chevauché par leur congénère, fréquence de chevauchement sur ses congénères et de reniflement de la vulve) (Walker et al. 2010). Par conséquent, l'œstrus est moins bien détecté chez des vaches boiteuses et une augmentation de l'intervalle vêlage-première insémination (IA1) est alors observé (Barkema et al. 1994).

- Impact sur la fertilité :

Les boiteries auraient un impact négatif sur la fertilité. En effet, on observe une diminution du taux de réussite à la première insémination (Melendez et al. 2003) et une augmentation du nombre d'inséminations nécessaires à la fécondation (Collick et al. 1989).

Tableau III : Impact des boiteries sur les indicateurs de reproduction

Paramètre	Variation	Source
Incidence des kystes ovariens	11,1 -> 25,0 %	Melendez et al. (2003)
Intervalle vêlage-1ère chaleur	+ 8 jours	Hernandez et al. (2001)
Intervalle vêlage-IA1	+ 2,9 à 4,6 jours	Barkema et al. (1994)
Intervalle vêlage-IAF	+ 14 jours à + 40 jours	Collick et al. (1989) Hernandez et al. (2001)
Taux de réussite IA1	-25,1 points	Melendez et al. (2003)
Nombre d'IA/IAF	+ 0,42	Collick et al. (1989)
IVV (pour vache boiteuse avant le début de la gestation)	+ 6 jours (boiterie légère) +15 jours (boiterie modérée) +30 jours (boiterie sévère)	Roussel (2009)

1.3.2.3 Augmentation du taux de réforme

Les boiteries constituent la troisième cause de réforme chez les vaches laitières, après l'infertilité et les mammites (Bielfeldt et al. 2005) (Tableau IV). La réforme peut être liée aux signes cliniques de la boiterie ou aux troubles de la reproduction secondaires à celle-ci. Le risque accru de réforme est moins marqué en cas de boiterie en fin de lactation (Booth et al. 2004). Par exemple, une vache boiteuse aurait trois fois plus de chances d'être réformée au cours de la lactation (Collick et al. 1989).

Tableau IV : Fréquence des réformes consécutives à une boiterie selon la sévérité (d'après Roussel 2009)

Sévérité	Lésion sans signe clinique	Boiterie légère	Boiterie modérée	Boiterie sévère
Probabilité annuelle de réforme (dont euthanasie)	0	0,04 (2 %)	0,08 (2 %)	0,35 (10 %)

1.3.3 Impact économique des boiteries

Les boiteries se classent au troisième rang des pertes économiques dues aux maladies dans les exploitations laitières, après la mammite et les problèmes de fertilité (Enting et al. 1997). Les coûts moyens estimés dans la bibliographie pour chacune d'elles seraient proches de 293 € (Raboisson et al. 2020), 308 € (Robcis et al. 2023) ou 340 € (Guard 2006).

Les contributeurs du coût total sont d'une part les dépenses de maîtrise (travail de l'éleveurs, travail du pareur et du vétérinaire, médicaments) et d'autre part les pertes de production (lait écarté ou non produit, reproduction dégradée, réformes supplémentaires et mort, autre maladie et récurrence) (Tableau V). Les pertes de production sont toujours supérieures aux dépenses de maîtrise et représentent en moyenne 75 % du coût total (Raboisson et al. 2020). Plus de la moitié du coût total est imputable à la faible fertilité consécutive aux boiteries et au risque de réforme plus élevé des vaches boiteuses (Kossaibati et Esslemont 1997).

Tableau V : Données synthétiques des coûts totaux des boiteries et de la part de chaque contributeurs en € (et en % du coût total) (d'après Liang et al. 2017)

Contributeurs		Primipares	Multipares
Dépense de maîtrise	Travail éleveur	13 € (7 %)	13 € (4 %)
	Travail pareur/vétérinaire	34 € (19 %)	35 € (11 %)
	Médicaments	66 € (37 %)	71 € (22 %)
Pertes de productions	Lait écarté	2 € (1 %)	3 € (1 %)
	Lait non produit	23 € (13 %)	42 € (13 %)
	Reproduction dégradée	5 € (3 %)	87 € (27 %)
	Réforme supplémentaire/mort	36 € (20 %)	68 € (22 %)
Coût total estimé		190 €	322 €

1.3.3.1 Coût moyen d'un cas de boiterie selon l'étiologie

La dermatite digitée a un coût moyen par cas de boiterie parmi les plus bas (131 €). Son impact à l'échelle du troupeau reste cependant élevé car la prévalence de dermatite digitée a fortement augmenté depuis plusieurs années. Le lait non produit représente en moyenne un tiers du coût et les réformes supplémentaires représentent entre le tiers et la moitié du coût total (Raboisson et al. 2020).

Les boiteries associées à une lésion de la ligne blanche ont un coût moyen par cas plus élevé (295 €). Les dépenses de maîtrise sont plus élevées mais le principal contributeur reste la réforme à hauteur de 30 à 40 % du coût total. La baisse de production oscille entre 10 et 30 % du coût total (Raboisson et al. 2020).

Les ulcères de la sole sont associés au coût moyen par cas le plus élevé (425 €). La détérioration de la reproduction et les réformes supplémentaires représentent chacune près d'un tiers du coût total. Les dépenses de maîtrise sont plus élevées que pour la dermatite digitée et les lésions de la ligne blanche en accord avec les soins médicaux nécessaires (Raboisson et al. 2020).

Les panaris ont un coût variant de 130 à 512 € selon les études. Le traitement et le lait écarté sont des contributeurs importants au coût total en accord avec le recours quasi systématique à une antibiothérapie lors des panaris (Raboison et al. 2020).

1.3.3.2 Facteurs de variation du coût des boiteries

1.3.3.2.1 Sévérité des boiteries et précocité de la prise en charge

Le coût des boiteries est fortement augmenté entre des cas de sévérité légère ou modérée et des cas sévères (Tableau VI). La sévérité fait augmenter le coût des boiteries de manière exponentielle (Charfeddine et Perez-Cabal 2017). Le coût des boiteries est fortement augmenté lors de détections tardives ou d'interventions tardives après détection de la boiterie (Dolecheck et al. 2019).

Tableau VI : Coût annuel (en €) par vache atteinte de boiterie selon la sévérité (d'après Charfeddine et Perez-Cabal 2017)

Boiterie	Légère	Sévère
Dermatite digitée	48	362
Ulcère de la sole	209	560
Lésion de la ligne blanche	199	531

1.3.3.2.2 Stade de lactation et parité

Le stade de lactation est un facteur de variation très important du coût d'une boiterie. Il est plus important que la variation associée à la parité (Figure 7). En effet, le coût d'une boiterie est doublé en début de lactation par rapport à la fin de lactation à l'exception des dermatites digitées des primipares (Dolecheck et al. 2019). D'après Liang et al. (2017), le coût d'une boiterie serait 1,7 fois plus élevé chez une multipare que chez une primipare.

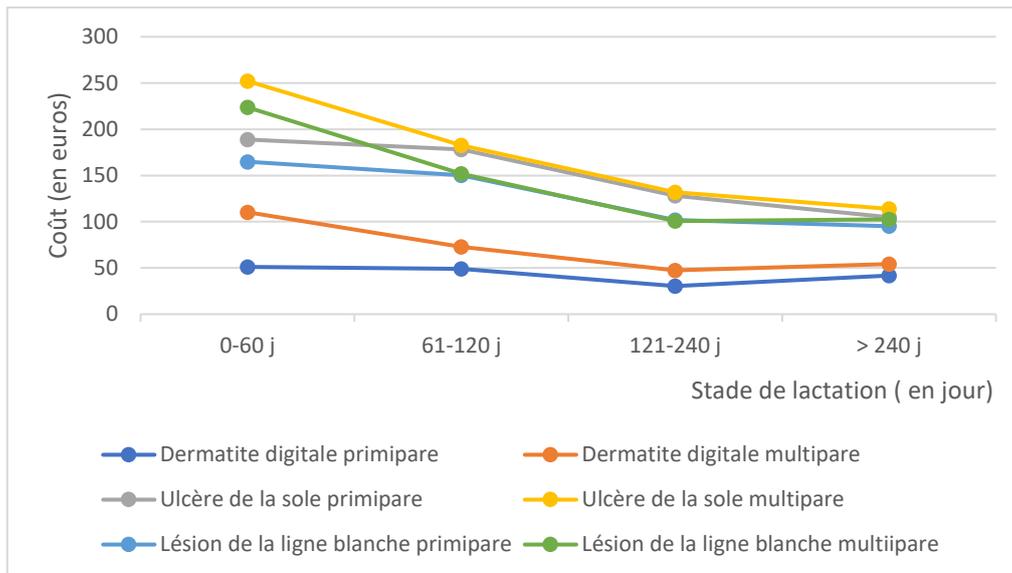


Figure 7 : Coût (en €) d'un cas de boiterie selon le stade de lactation (d'après Dolecheck et al. 2019)

1.3.3.2.3 Prix du lait, niveau de production et stade de reproduction

Le coût total d'une boiterie est sensible au prix du lait en raison de la baisse de production en cas de boiterie. Cette relation explique entre autres l'impact économique plus faible des boiteries chez les primipares comparé aux multipares, puisque les primipares produisent en moyenne moins de lait que les multipares. Cependant cette association reste limitée. Une augmentation de 20% du prix du lait engendre une augmentation de 4 à 9% du coût d'une boiterie (Cha et al. 2010).

Le coût d'une boiterie augmente chez les vaches à fort potentiel laitier. Le coût par cas est environ doublé entre des potentiels de production limités et modérés et entre des potentiels de production modérés et élevés. Enfin, une boiterie a un coût entre 0,5 (+ 50 %) et 4 (+ 400 %) fois supérieur sur une vache non gestante comparé à une vache gestante (Cha et al. 2010).

1.4 Conclusion

Les boiteries : une maladie majeure chez les bovins, et notamment en élevage laitier

❖ DES CAUSES VARIÉES DE BOITERIE :

- Essentiellement d'origine podale
- Cinq maladies majeures à l'origine de boiterie : infectieuse, non infectieuse ou commune
⇒ Maladie de Mortellaro, Fourbure, Fourchet, Panaris et Abcès de sole

❖ UNE PRÉVALENCE DE 10 A 36 % : 3^{ÈME} MALADIE EN ÉLEVAGE LAITIER

- Laitier > Allaitant
- Prim Holstein plus fréquemment atteinte
- Multipare > primipare
- Pic de prévalence 3 mois après le vêlage

❖ UN IMPACT IMPORTANT

- Impact sur le bien-être animal : atteinte aux cinq grandes libertés

Absence de faim et de soif	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la prise alimentaire et de la NEC • Diminution de la prise de boisson
Absence d'inconfort	<ul style="list-style-type: none"> • Inconfort lors des mouvements • Inconfort lors de changements de positions • Difficulté à s'adapter aux contraintes de son environnement
Absence de douleur, blessure et maladie	<ul style="list-style-type: none"> • Boiteries souvent dues à une lésion douloureuse • Parage douloureux • Manipulation parfois douloureuse en vue du parage
Liberté d'exprimer un comportement normal	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du temps de couchage • Diminution du temps d'alimentation • Baisse du temps d'interaction • Diminution du temps de rumination • Diminution de durée et d'intensité de l'œstrus • Augmentation du temps passé en salle de traite
Absence de peur et de détresse	<ul style="list-style-type: none"> • Stress lié à l'isolement • Stress lors de la manipulation

- Impact zootechnique :
 - Baisse de production de lait et de la fréquence de traite
 - Baisse des performances de reproduction
 - Augmentation du risque de réforme
- Impact économique : 293 à 340 €
Variable selon étiologie, sévérité, stade de lactation, parité, performance de production

2 *Evaluation des boiteries*

2.1 Evaluation en locomotion

Différentes méthodes d'évaluation en locomotion des boiteries ont été mises en place. Celles-ci peuvent être manuelles ou automatisées. On parle alors respectivement de systèmes de notation manuels et de systèmes de notation automatiques.

2.1.1 Observations directes à l'aide de systèmes de notation manuels

La méthode la plus fréquente pour l'évaluation des boiteries dans un élevage est l'observation manuelle en locomotion (Viazzi et al. 2013). Les grilles de notation utilisées ont été validées par l'observation des lésions des sabots (Hoffman et al. 2014).

2.1.1.1 Critères utilisés dans les systèmes de notation manuels

L'évaluation des boiteries en locomotion repose sur la combinaison de plusieurs critères qui ont été associés aux boiteries (Hoffman et al. 2014). Certains critères sont liés à la démarche (abduction et adduction, symétrie de la démarche, flexibilité des articulations, longueur de la foulée, réticence à prendre appui sur un membre, distance entre les empreintes de l'antérieur et du postérieur ipsilatéral et vitesse de marche). D'autres critères sont liés à la posture (ligne de dos, inclinaison des hanches, position de la tête). Enfin, d'autres critères tels que la capacité à se relever et à se tourner peuvent être utilisés. La meilleure reconnaissance d'une vache boiteuse passe par l'observation de six indicateurs (Guatteo et al. 2020) :

- La vitesse de marche :

Une vache saine doit être en mesure de suivre le troupeau à un rythme similaire à une personne. Une vache boiteuse a tendance à marcher plus lentement.

- Le rythme de marche :

Une vache saine a un rythme régulier entre les quatre membres et marche en confiance avec un mouvement fluide. Une vache boiteuse a un le rythme interrompu et inégal.

- La longueur de la foulée et le déplacement du pied :

Une vache saine regarde droit devant et choisit l'endroit où elle pose les antérieurs, puis elle pose les postérieurs aux mêmes endroits que les antérieurs. Une vache boiteuse peut avoir une foulée plus courte et le postérieur peut se placer légèrement en arrière de l'endroit où s'est posé l'antérieur.

- La répartition du poids sur les quatre membres :

Une vache saine porte le poids sur les quatre membres lorsqu'elle reste debout et lorsqu'elle marche. Une vache boiteuse favorise la jambe boiteuse. Ce membre ne porte pas complètement le poids, tandis que la jambe opposée porte plus de poids pour compenser et que les onglons accessoires se rapprochent du sol.

- La ligne du dos :

Une vache saine a tendance à rester debout et à marcher avec un dos droit alors qu'un dos arqué peut indiquer la présence d'une boiterie.

- La position de la tête :

Une vache saine porte la tête légèrement en dessous de la ligne du dos lorsqu'elle marche. Elle ne bouge la tête que légèrement. Une vache boiteuse porte la tête plus basse ou balancée.

2.1.1.2 Les différents systèmes de notation manuels utilisés en locomotion

Les systèmes de notation manuels décrits dans la littérature sont au nombre de 25. Ils peuvent être soit à échelle continue, soit à échelle ordinale. Les systèmes de notation manuels à échelle ordinale constituent les outils les plus fréquemment cités dans la littérature. Les plus fréquemment utilisés sont les systèmes de notation manuels à cinq niveaux (Schlageter-Tello et al. 2014).

Les différentes échelles de systèmes de notation manuels utilisées, ainsi que l'exemple le plus fréquemment décrit dans la littérature pour chacune d'elles, sont présentés dans le Tableau VII.

Tableau VII : Les différentes échelles de systèmes de notation manuels et l'exemple le plus fréquemment décrit dans la littérature pour chacune d'elles (d'après Schlageter-Tello et al. 2014)

Système	Année	Minimum - Maximum	Pourcentage d'articles citant ce système
ÉCHELLE CONTINUE			2,4
<i>Fleur et Lassitude</i>	2006	0-100	1,6
ÉCHELLE ORDINALE			97,6
13 niveaux			0,4
<i>Offinger and al.</i>	2013	1-5 (avec + et -)	0,4
9 niveaux			29,6
<i>Fleur et lassitude</i>	2006	1-5 (et demi-points)	14,2
6 niveaux			4,0
<i>Garbarino and al.</i>	2004	0-5	2,0
5 niveaux			42,9
<i>Sprecher and al.</i>	1997	1-5	27,9
4 niveaux			8,5
<i>DairyCo</i>	2007	0-3	4,9
3 niveaux			6,9
<i>Welfare Quality</i>	2009	0-2	2,4
2 niveaux			5,3
<i>Groehn and al.</i>	1992	0 (non boiteux) – 1 (boiteux)	5,3

2.1.1.3 Exemple d'un système de notation manuel à cinq niveaux : la grille de Sprecher et al. (1997)

La majorité des systèmes de notation manuels permettent d'attribuer entre trois et cinq niveaux de score de boiterie (Guatteo et al. 2020). Ces systèmes de notation manuels sont les plus fréquemment utilisés en pratique (Herman 2020). Le système de notation manuel le plus fréquemment décrit dans la littérature est la grille développée par Sprecher et al (Guatteo et al. 2020). Cette dernière est décrite dans le Tableau VIII.

Tableau VIII : Description de la grille développée par Sprecher et al. (d'après Sprecher et al. 1997)

Score de locomotion	Description
1 Absence de boiterie	La vache se tient debout Le dos est plat en statique et en dynamique La démarche est normale, les membres sont correctement positionnés
2 Boiterie légère	La vache se tient debout Le dos est plat en statique, se courbant à la marche La démarche est légèrement anormale
3 Boiterie modérée	La vache se tient debout Le dos est courbé à la marche et à l'arrêt L'empattement est raccourci sur un ou plusieurs membres
4 Boiterie sévère	La vache se tient debout Le dos est courbé à la marche et à l'arrêt Elle privilégie une patte ou plusieurs lorsqu'elle marche mais peut encore supporter l'appui sur les quatre Des balancements de la tête sont perçus
5 Boiterie très sévère	La vache se tient debout Le dos est courbé à la marche et à l'arrêt Elle refuse de supporter l'appui sur un, voire sur plusieurs membres La vache peut refuser de se lever et passer beaucoup de temps couchée Mouvements de balancier de la tête à la marche

2.1.1.4 Exemple de systèmes de notation manuels à trois niveaux : la grille du projet Welfare Quality

En pratique, une grille avec trois niveaux peut tout à fait être adaptée. En effet, les scores un et deux, d'une part, et quatre et cinq, d'autre part, sont souvent regroupés. (Guatteo et al. 2020). Dans son protocole d'évaluation des bovins laitiers, le projet européen Welfare Quality a inclus un système de notation manuel à trois niveaux basé sur le système à cinq niveaux décrit par Winckler et Willen (2001) (Schlageter-Tello et al. 2014).

2.1.1.5 Conclusion : intérêts et limites des systèmes de notation manuels

Les systèmes de notation manuels sont le plus souvent utilisés comme une méthode de référence pour l'évaluation des boiteries. Concernant la détermination du statut de l'animal (boiteux ou non boiteux), la reproductibilité entre les observateurs serait souvent bonne (83,9 % à 96,8 % d'accord entre deux observateurs) pour la majorité des grilles (Barker et al. 2010 ; Channon et al. 2009 ; Hoffman et al. 2013 ; Leach et al. 2009). La répétabilité serait également bonne (90,6 % à 100 % d'accord entre deux évaluations d'un même observateur) (Main et al. 2010 ; Channon et al. 2009). Concernant la détermination du niveau de score de boiterie, la reproductibilité serait plus variable (37 % à 83,3 % d'accord entre deux observateurs) pour les grilles à quatre ou cinq niveaux (Barker et al. 2010 ; O'Callaghan et al. 2003 ; Hoffman et al. 2013 ; March et al. 2007) et tendrait à diminuer (17 à 42 % d'accord entre deux observateurs) pour les grilles à neuf niveaux (Channon et al. 2009). La répétabilité serait moyenne pour une grille à cinq niveaux (56 % d'accord entre deux évaluations d'un même observateur) (O'Callaghan et al. 2003) et tendrait également à diminuer en utilisant une grille à neuf niveaux (30 % d'accord entre deux évaluations d'un même observateur) (Channon et al. 2009).

Les systèmes de notation manuels ne nécessitent aucun équipement et sont peu coûteux, mais leur utilisation à l'échelle d'un troupeau peut s'avérer chronophage. Les intérêts et les limites des systèmes de notation manuels sont décrits dans le Tableau IX.

Tableau IX : Intérêts et limites des systèmes de notation manuels (d'après Bareille et Roussel 2014 ; Leach et al. 2009 ; Schlageter-Tello et al. 2014)

INTÉRÊTS	LIMITES
Peu coûteux	Chronophage (notamment pour un troupeau de grande taille)
Non invasif	Besoin en main d'œuvre (difficile voire impossible seul)
Absence d'équipement nécessaire	Entraînement préalable nécessaire
	Peu adapté aux bâtiments entravés
	Difficile à mettre en œuvre (réaction de peur, identification difficile)
	Absence de consensus : 25 systèmes de notation manuels décrits malgré plusieurs tentatives pour concevoir un système standardisé (ex : projet Welfare Quality)

2.1.2 Observations avec des outils

L'évaluation régulière des boiteries devrait être une tâche prioritaire pour les éleveurs compte tenu de l'impact négatif de celles-ci sur le bien-être animal et sur les performances zootechniques et économiques. Cependant, du fait de l'augmentation du nombre de vaches par troupeau, le temps disponible pour l'éleveur pour l'observation des boiteries des vaches risque de diminuer. Cela explique que les systèmes de notation automatiques aient été mis au point. Les systèmes de notation manuels ou l'observation des lésions ont été les méthodes de référence pour la validation des systèmes de notation automatiques (Schlageter-Tello et al. 2014).

2.1.2.1 Critères d'observation utilisés dans les systèmes de notation automatiques

Les critères mesurés dans les systèmes de notation automatiques sont des critères relatifs à la démarche, à la posture et au comportement pouvant être quantifiés par un système de mesures automatiques (Schlageter-Tello et al. 2014). Les différents critères utilisés par les systèmes de notation automatiques sont décrits dans le Tableau X.

Tableau X : Critères analysés par les systèmes de notation automatiques (d'après Schlageter-Tello et al. 2014)

Critères	Définitions
DÉMARCHE	
Asymétrie de la longueur du pas	Différence de longueur de pas entre les empreintes des pieds gauches et droits
Asymétrie de la durée du pas	Différence de la durée de pas entre les empreintes des pieds gauches et droits
Asymétrie de la largeur du pas	Différence de largeur de pas entre les empreintes des pieds gauches et droits
Asymétrie de la durée de la phase d'appui	Différence entre les pieds gauches et droits de la durée pendant laquelle le pied est en appui sur le sol
Force de réaction du sol	Force transmise par les pieds au sol pendant la marche
Nombre de levées	Levée du membre lorsque le poids descend sous les 5kg
Ratio du poids des membres	Ratio entre le membre le plus léger et le plus lourd
Durée d'appui	Temps durant lequel un pied est en contact avec le sol
Déviatoin standard du poids des postérieurs	Déviatoin standard du poids des postérieurs
Nombre de pas	Levée du membre lorsque le poids descend sous les 5 et 20kg
Longueur de foulée	Distance entre 2 empreintes consécutives du même pied
Mesure de la distance entre les empreintes de l'antérieur et du postérieur ipsilatéraux	Distance entre l'empreinte de l'antérieur et celle du postérieur ipsilatéraux lors du même pas
Angle d'appui	Angle entre les os métacarpien/métatarsien et une ligne verticale durant la phase d'appui du pied
Variance de l'accélération	Variance de l'accélération latéro-horizontale, verticale et l'accélération vers l'avant relative au membre de la vache en marche
POSTURE	
Mesure de la courbure du dos	Mesure de la courbure du dos
Mouvement du corps	Coefficient obtenu en mesurant différents angles et distances de la posture de la vache
COMPORTEMENT-PRODUCTION	
Activité	Indicateurs d'activité dépendant de la localisation de l'accéléromètre (ex : sur le cou ou le membre)
Concentré non consommé	Quantité de concentré laissée dans le distributeur
Visite des mangeoires	Nombre de visites de la mangeoire
Temps d'alimentation	Temps passé à la mangeoire
Nombre d'épisode de couchage	Nombre d'épisode de couchage durant la journée
Durée des épisodes de couchage	Moyenne de durée des épisodes de couchage
Temps de couchage	Moyenne de durée de couchage total durant la journée
Fréquence de traite	Nombre de passages au robot de traite
Durée de traite	Temps nécessaire à la traite de la vache
Ordre de traite	Ordre de passage à la traite
Production laitière	Production laitière quotidienne
Vitesse de déplacement	Durée nécessaire pour parcourir une distance connue
Temps Debout	Temps passé en position debout (en mouvement ou non)

2.1.2.2 Description des systèmes de notation automatiques

Trois approches ont été couramment utilisées dans les systèmes de notation automatiques : cinématique, cinétique et indirecte. L'approche cinématique mesure le temps et la distance des variables associées aux mouvements des membres et certaines variables spécifiques de la posture. L'approche cinétique mesure les forces impliquées dans la locomotion. L'approche indirecte utilise des variables comportementales ou de production comme indicateurs de boiterie (Flower et al. 2005).

2.1.2.2.1 Méthodes cinématiques

Ces méthodes reposent sur l'évaluation de la géométrie des mouvements des membres des animaux en locomotion. Plusieurs techniques sont décrites dans la littérature :

L'analyse d'enregistrements vidéos utilise soit des marqueurs de position qui sont placés sur les onglons, les articulations des membres, le garrot, ou la ligne du dos (Flower et al. 2005), soit des algorithmes automatisés de reconnaissance des segments (Figure 8) (Viazzi et al. 2013). Les mouvements des marqueurs les uns par rapport aux autres sont enregistrés sous forme de séquences vidéos puis analysés. En cas de boiterie, on peut alors observer un raccourcissement de la foulée, une diminution de la vitesse moyenne de déplacement, une courbure du dos ou une asymétrie de la durée des phases d'appui et de suspension (Viazzi et al. 2013).



Figure 8 : Méthode cinématique utilisant un algorithme (Viazzi et al. 2013)

Les passerelles de pression sont constituées de capteurs de pression qui enregistrent les empreintes des vaches lors du déplacement. La longueur de la foulée et le chevauchement des pas sont ensuite analysés (Figure 9). Les vaches boiteuses présentent un raccourcissement de la foulée et un mauvais chevauchement des pas (Maertens et al. 2011).

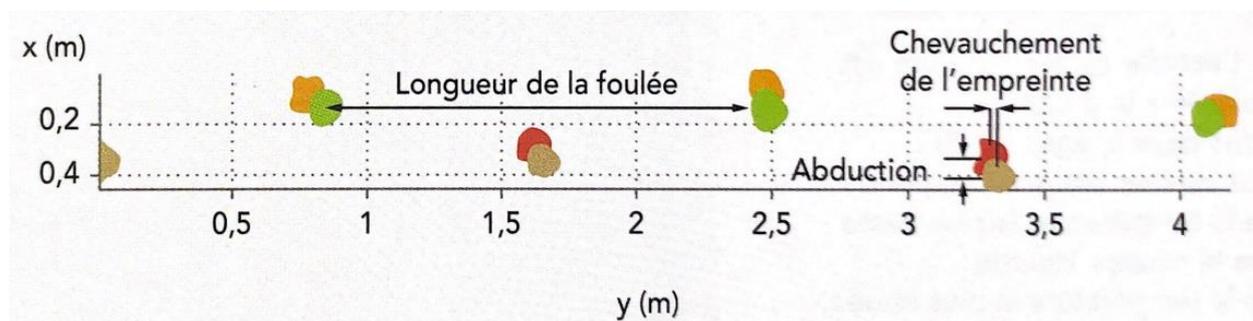


Figure 9 : Données obtenues lors de l'analyse de la marche d'une vache sur une passerelle de pression (d'après Maertens et al. 2011)

X : axe perpendiculaire au sens de la marche ; Y : axe parallèle au sens de la marche ;
Rouge : antérieur droit ; Marron : postérieur droit ; Jaune : antérieur gauche ; Vert : postérieur gauche

Les accéléromètres sont fixés aux membres des vaches et mesurent l'accélération des membres dans les trois dimensions lorsque la vache se déplace. Ils permettent de mesurer des paramètres liés à la démarche et à la foulée (Alsaad et al. 2019).

Les podomètres mesurent le nombre de pas réalisés sur une journée ainsi que les temps de repos. Ces paramètres pourraient être des indicateurs de boiterie (Shepley et al. 2017).

2.1.2.2.2 Méthodes cinétiques

Les plateformes de pression permettent de mesurer les pressions horizontales et verticales engendrées par les onglons lorsque la vache se déplace ou est en statique sur celles-ci. Les capteurs envoient un signal électrique lorsque l'animal marche dessus et celui-ci est ensuite analysé pour donner la position et la force réactionnelle des pas. Ceci permet de reconstruire les caractéristiques des mouvements des quatre membres et ainsi d'obtenir des informations sur la qualité de la démarche. Cette méthode permet d'identifier les vaches boiteuses ainsi que le membre atteint. L'animal est pesé et sa vitesse de déplacement est enregistrée (Alsaad et al. 2019).

Les plateformes à quatre balances mesurent la distribution du poids entre les quatre membres de la vache en statique pour quantifier l'effet des lésions sur l'appareil locomoteur (Alsaad et al. 2019).

Les variables cinétiques des accéléromètres permettent de mesurer les pics de charge sur chaque pied et le décollement du pied (Alsaad et al. 2019).

2.1.2.2.3 Méthodes indirectes

Les systèmes de notation automatiques peuvent reposer sur l'étude des modifications des paramètres comportementaux ou zootechniques. La thermographie infrarouge est une dernière méthode indirecte d'évaluation des boiteries (Alsaad et al. 2019).

- Critères comportementaux :

Une altération du rythme journalier d'activité calculé à partir de la durée d'alimentation, du temps passé à se reposer et à se déplacer semblerait prédire une boiterie (Veissier et al. 2017). Des accéléromètres fixés à l'encolure, au membre ou à l'oreille des animaux permettent d'étudier la durée des périodes de couchage, d'activité, d'alimentation et de rumination, ainsi que le ratio de chaque comportement entre jour et nuit (Maertens et al. 2011). Les temps totaux de station debout et de couchage sont également calculés (Ito et al. 2010). Les systèmes de localisation en temps réel utilisent des émetteurs d'ondes fixés sur un collier au sommet de l'encolure et des antennes réceptrices installées au-dessus de leur aire de vie. Cela permet de suivre en temps réel les activités de la vache dans la stabulation (alimentation, déplacement, repos, immobilité et abreuvement) (Poulain et Ledoux 2020).

- Critères zootechniques :

Ces critères sont peu spécifiques, mais ils peuvent être intéressants pour alerter sur un problème de boiterie s'ils sont associés à d'autres mesures (Poulain et Ledoux 2020). Ces critères peuvent être repérés grâce à des distributeurs automatiques de concentrés : une diminution de la consommation de concentrés serait associée à la présence de boiteries (de Mol et al. 2013). Ils peuvent être repérés grâce à des robots de traite : une diminution de la production laitière quotidienne et une diminution de la fréquence de passage dans le robot de traite seraient des critères associés à la présence de boiteries (Alsaad et al. 2019).

- Thermographie infrarouge :

Cette méthode non invasive permet d'identifier le membre affecté et la zone atteinte. Les caméras infrarouges mesurent le rayonnement infrarouge émis et mettent en évidence l'inflammation du pied. En effet, il a été mis en évidence une augmentation de la température du bourrelet coronaire des pieds présentant des lésions par rapport aux pieds sains (Alsaad et al. 2019).

2.1.2.3 Conclusion : intérêts et limites des systèmes de notation automatiques

Les performances des systèmes de notation automatiques sont généralement évaluées en prenant un score en locomotion comme méthode de référence (grilles à trois, cinq ou neuf niveaux). L'ensemble des systèmes de notation automatiques présenteraient une bonne spécificité, comprise entre 0,81 (Alsaad et al. 2019) et 0,91 (Viazzi et al. 2013). En revanche, la sensibilité serait plus variable selon les méthodes utilisées. La sensibilité des méthodes cinématiques varierait entre 76 et 90 % (Maertens et al. 2011 ; Viazzi et al. 2013). La sensibilité des méthodes cinétiques serait de 0,52 (Liu et al. 2011). Concernant les approches indirectes, la sensibilité pourrait varier entre 0,40 (Kamphuis et al. 2013) et 0,86 (de Mol et al. 2013).

Les systèmes de notation automatiques s'inscrivent dans un processus d'automatisation des élevages laitiers et pourraient permettre de pallier le manque de temps des éleveurs pour l'observation des boiteries. Cependant, ils restent à ce jour moins performants que les systèmes de notation manuels. La majorité des systèmes de notation automatiques sont encore en phase de recherche ou de développement et ne sont pas encore commercialisés (Alsaad et al. 2019). Le vétérinaire a donc toujours un rôle important pour la détection des boiteries au sein des exploitations et il a aujourd'hui à sa disposition des outils moins chronophages que les systèmes de notation manuels, à l'image des scores statiques. Les intérêts et les limites des systèmes de notation automatiques sont présentés dans le Tableau XI.

Tableau XI : Intérêts et limites des systèmes de notation automatiques (d'après Alsaad et al. 2019 ; Poulain et Ledoux 2020 ; Shepley et al. 2017)

INTÉRÊTS	LIMITES
Economie de temps pour l'éleveur	Investissement important et rentabilité discutable, surtout pour les petits élevages
Identification des vaches faiblement et modérément boiteuses que seul un observateur expérimenté pourrait détecter	Moins performant que les systèmes de notation manuels
Possibilité de les intégrer à des infrastructures préexistantes (ex : plateforme de force en sortie de salle de traite ou dans les robots)	Recalibrage régulier
Capteur déjà utilisé pour d'autres indications (ex : accéléromètre pour la détection des chaleurs)	Zone spécifique
Détection précoce	Informations à contrôler par l'éleveur ou le vétérinaire
Objectivité	

2.2 Evaluation en statique

Face à la difficulté à noter des vaches en locomotion (réaction de peur, identification individuelle difficile et chronophage), à la présence de bâtiments entravés dans de nombreux pays (Leach et al. 2009), comme, par exemple, en Norvège, où 88 % du bétail laitier serait dans des bâtiments entravés (Sogstad et al. 2005), et à l'absence de nombreux systèmes de notation automatiques utilisables en pratique, l'évaluation en statique peut être réalisée grâce à des systèmes de notation statiques (Bareille et Roussel 2014).

2.2.1 Critères d'observation dans les systèmes de notation statiques

Certaines modifications de posture ont été associées à des boiteries chez les vaches laitières, dont certaines peuvent être observées lorsque la vache est debout et immobile (Hoffman et al. 2014). La majorité des systèmes de notation statiques reposent sur l'observation de la qualité des aplombs, de l'appui sur les membres et de la ligne de dos (Guatteo et al. 2020) :

- Ligne de dos :

Une vache saine a une ligne de dos droite. Une vache boiteuse a tendance à courber le dos. La courbure du dos peut aussi être un signe de douleur abdominale et ou thoracique (Delacroix et al. 2023). La courbure du dos secondairement à un épisode douloureux (épreuve inflammatoire systémique) a été montrée en race Prim Holstein (Ledoux et al. 2023) ;

- Appui :

Une vache saine répartit son poids sur les quatre membres. Une vache boiteuse peut présenter un soulagement plus ou moins marqué, allant jusqu'à la suppression totale d'appui (Delacroix et al. 2023) ;

- Qualité des aplombs :

Une vache saine présente de bons aplombs, ces membres sont parallèles et verticaux. Une vache boiteuse a tendance à écarter les membres, à serrer les jarrets et ainsi à mettre ses pieds en rotation afin de soulager les onglons externes des postérieurs. Les pieds ne sont alors pas à l'aplomb du membre et sont légèrement tournés par rapport à celui-ci (Delacroix et al. 2023).

La sensibilité et la spécificité de chacun de ces trois critères d'observation ont été calculées au cours de l'étude de Hoffman et al. (2014) et sont présentées dans le Tableau XII.

Tableau XII : Sensibilité et spécificité des modifications de postures observées (d'après Hoffman et al. 2014)

Modification de posture	Sensibilité	Spécificité
Dos courbé	0,63	0,64
Rotation des jarrets	0,54	0,57
Suppression d'appui	0,05	0,98

2.2.2 Présentation des systèmes de notation statiques

Une diversité de systèmes de notation statiques a été créée. L'intérêt est de repérer ou suspecter une atteinte de l'appareil locomoteur (Guatteo et al. 2020). Les quatre systèmes de notation statiques couramment décrits dans la littérature sont présentés dans le Tableau XIII.

Tableau XIII : Présentation des systèmes de notation statiques

Système	Postures observées
Bulagrelli-Jimenez et al. 1996	Qualité aplomb
Leach et al. 2009	Qualité aplomb, Appui
Hoffman et al. 2014	Qualité aplomb, Appui, Courbure dos
Bareille et Roussel 2014	Qualité aplomb, Appui, Courbure dos
Poulain 2018 (d'après Bareille et Roussel)	Qualité aplomb, Courbure dos

2.2.3 Exemple d'un système de notation statique : la grille de Bareille et Roussel modifiée par Poulain

Lors de sa thèse en 2018, Valentin Poulain a évalué et modifié la grille statique de Bareille et Roussel. La grille de Bareille et Roussel présentait une bonne sensibilité (0,91) mais manquait de spécificité (0,39), et sa corrélation avec la méthode de référence, le score de locomotion de Sprecher, était faible (Kendal $\tau = 0,37$). Suite aux modifications, le score de Poulain avait une sensibilité plus faible (0,75) mais une spécificité plus élevée (0,89), et sa corrélation avec le score de locomotion de Sprecher était forte (Kendal $\tau = 0,64$) (Poulain 2018). Cette grille repose sur l'observation des aplombs et de la ligne de dos.

2.2.4 Intérêts et limites des systèmes de notation statiques

Si les performances des modifications de postures ont été étudiées, peu de données sur les performances des scores de notation statiques sont disponibles dans la littérature. Dans leur étude sur des vaches à l'attache, Palacio et al. (2017) ont mis en évidence une sensibilité de 0,59 et une spécificité de 0,9 pour le score de Leach. D'après l'étude de Poulain (2018), le score de Bareille et Roussel aurait une sensibilité de 0,91 et une spécificité de 0,39 et le score de Poulain aurait une sensibilité de 0,75 et une spécificité de 0,89. Lors de sa thèse expérimentale d'exercice vétérinaire, Antoine (2020) a mis en évidence une reproductibilité (66,7 à 75,8 % de concordance entre deux observateurs) et une répétabilité (64,1 à 81,1 % de concordance entre deux évaluations d'un même observateur) médiocres à modérées pour la détermination du statut boiteux ou non boiteux et pour la détermination du niveau de boiterie avec le score de Poulain sur le terrain (Antoine 2020).

Les systèmes de notation statiques sont peu chronophages et peu coûteux mais leurs performances constituent leurs principales limites. Les intérêts et les limites des systèmes de notation statiques sont présentés dans le Tableau XIV.

Tableau XIV : Intérêts et limites des systèmes de notation statiques (d'après Guatteo et al. 2020 ; Palacio et al. 2017 ; Poulain 2018 ; Antoine 2020)

INTÉRÊTS	LIMITES
Rapidité : trois vaches observées par minute	Sensibilité variable
Coût faible (pas de matériel spécifique)	Spécificité variable
Permet de s'accorder avec l'éleveur sur ce que sont des postures normales	Répétabilité et reproductibilité médiocres à modérées
Réalisable chaque jour par l'éleveur lors de son passage entre les logettes, lors de la traite ou aux cornadis	Expression des postures anormales possiblement empêchée ou provoquée par la contention
Lors d'un parage diagnostique : sélection des animaux de trois scores pour un examen représentatif des lésions	
Détection des anomalies des membres : Gonflement articulaire, lésions visibles, port anormal d'un membre et éventuellement identifier l'étage concerné	
Peut être réalisé lors des suivis de reproduction ou toute autre intervention sur le troupeau	

2.3 Intérêt de l'utilisation des grilles en médecine des troupeaux : l'audit boiterie

Les grilles de notation des boiteries peuvent être utilisées pour la première étape de l'audit boiterie afin de réaliser un diagnostic épidémiologique (Herman 2020). En effet, un audit de boiterie est composé de trois étapes. La première étape consiste à caractériser les boiteries (diagnostic épidémiologique et diagnostic étiologique). La seconde étape correspond à l'analyse des facteurs de risque. La troisième étape regroupe la hiérarchisation des facteurs de risque et la communication d'un plan d'action.

Concernant le diagnostic épidémiologique, l'utilisation d'un score de boiterie de l'ensemble du troupeau ou d'un échantillon représentatif permet d'obtenir une fréquence de boiterie et de savoir quelle population est la plus touchée, car les éleveurs observent souvent seulement les boiteries sévères (Dahl-Pedersen et al. 2018) et seules celles qui ont nécessité un traitement antibiotique ou anti-inflammatoire sont enregistrées (Herman 2020). Par

exemple, il est recommandé d'évaluer 30 vaches au sein d'un troupeau de moins de 40 vaches contre 44 vaches dans un troupeau de 80 vaches (Welfare Quality 2009). En cas de suivi régulier dans un élevage, les grilles d'évaluation des boiteries permettent d'apprécier la dynamique des affections podales (incidence, taux de rechute et de guérison). Il convient ensuite de comparer les statistiques obtenues à l'échelle du troupeau avec les indicateurs et objectifs présentés dans le Tableau XV. Enfin, il s'agit de réaliser le diagnostic étiologique en observant la présence éventuelle de lésions podales sur des vaches notées comme boiteuses avec la grille d'évaluation, mais aussi sur des vaches notées non boiteuses afin d'évaluer également la présence de lésions moins sévères (Herman 2020).

Tableau XV : Indicateurs et objectifs pour évaluer un problème de boiterie dans un élevage (d'après Herman 2020)

Indice	Poids estimé de la vache	Objectif
Fréquence de boiterie	Pourcentage de vaches boiteuses	< 15%
	Pourcentage de vaches sévèrement boiteuses	< 1 %
Incidence de boiterie	Vache passant de la catégorie non boiteuse à boiteuse :	
	Mensuel Trimestriel	< 1-5 % < 5-10 %
Taux de rechute	Pourcentage de vaches traitées pour boiterie qui reboitent dans les six mois	< 25 %
Taux de guérison	Pourcentage de vaches traitées pour boiterie qui ne reboitent plus au « contrôle » suivant	> 75 %

2.4 Une limite : des grilles développées pour la race Holstein

À notre connaissance, aucun système de notation manuel ou système de notation statique n'a été conçu ou adapté à la diversité de races présentes en France, à l'exception de la Prim Holstein. Ce constat pourrait être problématique concernant l'utilisation de ces grilles pour l'ensemble des races existantes. Plus particulièrement, l'hypothèse de corrélérer des modifications de postures à la boiterie sans observer la démarche de la vache lors d'utilisation de systèmes de notation statiques peut être débattue vis-à-vis des importantes différences phénotypiques entre les races.

SYSTÈME D'ÉVALUATION DES BOITERIES

❖ ÉVALUATION DE LA LOCOMOTION

○ *Systèmes de notation manuels*

- Vitesse de marche
- Rythme de marche
- Longueur de la foulée et déplacement du pied
- Répartition du poids sur les quatre membres
- Ligne de dos
- Position de la tête

➤ Peu coûteux mais chronophages et difficiles à mettre en œuvre (espace, réaction de peur)

○ *Systèmes de notation automatiques*

- Méthodes cinématiques : variables liées à la géométrie des mouvements et à la posture
- Méthodes cinétiques : variables liées aux forces impliquées dans la locomotion
- Méthodes indirectes : variables comportementales ou zootechniques, thermographie infrarouge

➤ Gain de temps mais moins performants que les systèmes de notation manuels, coûteux et encore peu commercialisés

❖ ÉVALUATION DE LA POSTURE

○ Systèmes de notation statiques

- Ligne de dos
- Appui
- Qualité des aplombs

Hypothèse : les modifications de posture sont associées à une boiterie

➤ Rapides et peu coûteux mais moins performants que systèmes de notation manuels et absence d'étude sur les races françaises autre que Prim Holstein

3 *La race Prim Holstein et la race Montbéliarde : deux races primordiales de l'élevage français aux caractéristiques différentes*

3.1 Histoire

3.1.1 Histoire de la race Prim Holstein

Le qualificatif de Prim Holstein est apparu en France en 1990. L'histoire de cette race remonte au XIX^{ème} siècle avec le développement du cheptel bovin au Pays-Bas et l'exportation de celui-ci. La race Pie-noire hollando-frisonne (appelée Hollandaise en France) naît officiellement en 1905 aux Pays-Bas. La race Holstein-Friesian, qui dérivait des ancêtres des Pie-noire hollando-frisonnes importées des Pays-Bas depuis 1852, naît officiellement en 1905 en Amérique du Nord. La Holstein-Friesian nord-américaine a été sélectionnée sur des aptitudes laitières exclusivement : on parle de « Holsteinisation » de la race. En France, l'importation de la race Hollandaise date des années 1830. Elle est reconnue comme race française en 1903 et le Herd book français de la race Hollandaise est créé en 1922. Son expansion se fait principalement dans le Nord, le Nord-Est, le Bassin parisien et le Sud-Ouest. En 1952, elle devient la Française Frisonne Pie-Noire (FFPN) et compte alors 1 500 000 têtes. Elle poursuit son expansion autour de ces zones d'implantation, en Bretagne et lors de l'installation de nouveaux bassins laitiers autour des villes. En 1961, son effectif est de 2 600 000 têtes. Les premières introductions de bovins Holstein Friesian ont lieu en 1965 en Isère. La FFPN entame un processus de large utilisation de sang nord-américain. En 1972, la FFPN devient la première race française. Elle détient alors 6 000 000 de têtes. En 1979, elle prend le nom de Française Frisonne et regroupe alors les animaux de l'ancien type, les bovins Holstein nés en France et les produits de croisements Frison x Holstein. Elle poursuit son expansion jusqu'à l'instauration des quotas laitiers en 1983. Elle est alors répandue dans toute la France et seules les régions allaitantes et la zone montbéliarde ne la connaissent que de façon marginale. En 1990, les qualificatifs Françaises et Frisonnes sont abandonnés et apparaît le nom Prim Holstein (Denis et Avon 2010).

3.1.2 Histoire de la race Montbéliarde

Le qualificatif Montbéliard est apparu en France à la fin du XIXe siècle et s'appliquait sans doute à une fraction de la Comtoise (variété de vache présente dans le Doubs et le Jura), fortement marquée de sang suisse par des échanges commerciaux ou par des mouvements de population humaine. Jusque dans les années 1960, la Montbéliarde ne se développe que lentement et reste cantonnée à la Franche-Comté. Puis sa réputation de vache laitière des zones de semi-montagnes s'affirme et la conduit à s'implanter dans l'Est du Massif central. D'autres zones montagneuses l'adoptent peu après, ce qui induit un important mouvement d'expansion de la race. Ce mouvement déborde rapidement des zones de montagnes pour concerner les plaines et les bocages de l'Ouest. Jusqu'en 1978, la race Montbéliarde fournissait les meilleurs résultats au contrôle laitier. Elle n'a été dépassée par la Frisonne qu'en raison de l'apport de sang Holstein. Pendant la phase de la « holsteinisation » généralisée, la Montbéliarde fut la seule race laitière à conserver ses effectifs. Après l'instauration des quotas laitiers, elle apparut même comme une alternative crédible à des éleveurs très spécialisés dans la production laitière qui commençaient à réviser leurs objectifs de production à la baisse. La Montbéliarde n'a certes pas échappé à la réduction des effectifs qui a concerné toutes les races laitières depuis 1983, mais dans une moindre mesure que les autres races. Son exportation en Afrique du Nord et plus récemment en Suisse et dans quelques autres pays européens, ainsi que la forte demande internationale en semence, permettent de la considérer aujourd'hui comme une race laitière internationale (Denis et Avon 2010).

3.2 Effectif

3.2.1 Effectifs de la Prim Holstein et de la Montbéliarde en France

En considérant l'ensemble des races laitières et allaitantes, la race Prim Holstein et la race Montbéliarde sont respectivement la première et la quatrième race bovine française en termes d'effectif. Les races Charolaise et Limousine présentent respectivement le deuxième et le troisième effectif de bovins en France. D'une part, la race Prim Holstein comptait 2 267 milliers de vaches en 2021, soit 31 % du nombre de vaches en France cette année-là. Ses effectifs ont diminué de 8 % entre 2011 et 2021. D'autre part, la race Montbéliarde comptait 594 milliers de vaches en 2021, soit 8 % du nombre de vaches en France cette même

année. Ses effectifs ont diminué de 9 % entre 2011 et 2021. Les effectifs des principales races bovines en France, leur évolution au cours de la dernière décennie et leur part de l'effectif total sont présentés dans le Tableau XVI (Idele 2022b).

Tableau XVI : Effectifs des principales races bovines en France (d'après Idele 2022b)

Races	2011		2021		Evolution de l'effectif 2011/2021
	Effectif (en milliers)	Part de l'effectif total	Effectif (en milliers)	Part de l'effectif total	
Prim Holstein	2 462	31%	2 267	31%	-8%
Charolaise	1 587	20%	1 326	18%	-15%
Limousine	1 043	13%	1 082	15%	4%
Montbéliarde	650	8%	594	8%	-9%
Blonde d'Aquitaine	192	2%	442	6%	-10%
Normande	403	5%	282	4%	-30%
Total	7 901		7 346		-7%

3.2.2 Importance des effectifs de la Prim Holstein et de la Montbéliarde au sein des effectifs laitiers

La Prim Holstein et la Montbéliarde constituent respectivement la première et la deuxième race laitière en France en termes d'effectifs. En 2021, 1 300 milliers de Prim Holstein et 392 milliers de Montbéliardes étaient inscrites au contrôle laitier, soit respectivement 64,1 % et 19,0 % des vaches contrôlées en France (Figure 10) (Idele 2022a).

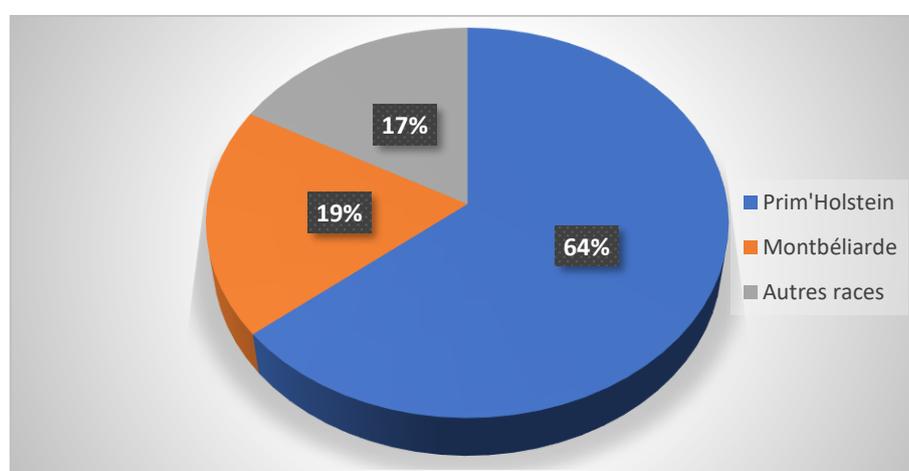


Figure 10 : Répartition par race des effectifs au contrôle laitier en France en 2021 (d'après Idele 2022a)

Au contrôle laitier, entre 2011 et 2021, la race Montbéliarde enregistre une baisse d'effectif moindre par rapport à celles de l'ensemble du cheptel laitier et de la Prim Holstein (Figure 11). En effet, le nombre de vaches au contrôle laitier est passé de 2,5 millions à 2,1 millions sur cette décennie, soit une baisse de 18,7 %. De même, le nombre de Prim Holstein est passé de 1,7 million à 1,3 million, soit une baisse de 23,0 %. Le nombre de Montbéliardes est, quant à lui, passé de 417 milliers à 392 milliers, soit une baisse de 6,0 % (Idele 2022a).

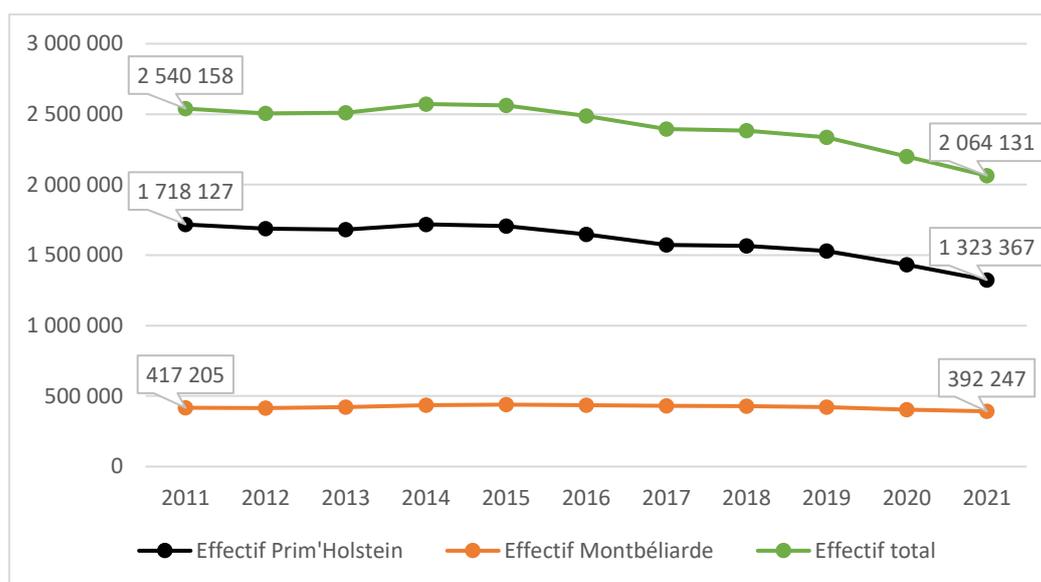


Figure 11 : Evolution du nombre de vaches de races Prim Holstein et Montbéliarde au contrôle laitier sur 10 ans (d'après Idele 2022a)

3.2.3 Répartition en France

3.2.3.1 Pour la race Prim Holstein

Alors que le berceau de la race a longtemps été le Nord et le Nord-Est, la Prim Holstein est aujourd'hui présente presque partout en France avec une forte concentration dans les zones laitières, à l'exception de la Franche-Comté. Le grand Ouest à lui seul (Bretagne, Pays de la Loire et Basse-Normandie) détient environ 45% des effectifs. Elle est peu présente en zone charolaise, qui est restée très majoritairement allaitante, dans le pourtour méditerranéen, ainsi que dans les Alpes du Sud, où le cheptel bovin est très faiblement présent (Figure 12) (Denis et Avon 2010).

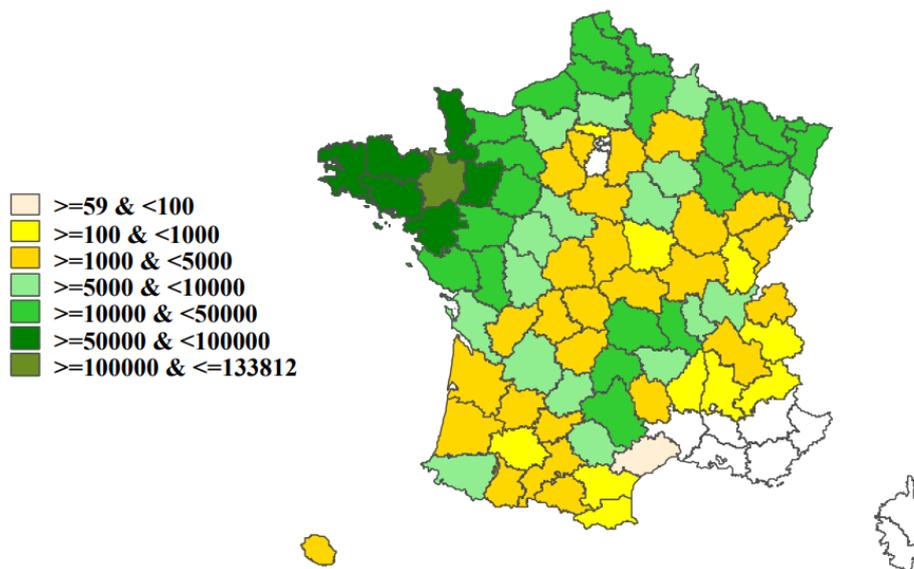


Figure 12 : Répartition départementale des effectifs de vaches Prim Holstein au contrôle laitier (d'après Idele 2022a)

3.2.3.2 Pour la race Montbéliarde

L'aire de répartition géographique de la Montbéliarde comprend essentiellement l'Est de la région Bourgogne-Franche-Comté et la région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est également présente un peu partout maintenant, notamment dans le Sud-Ouest, l'Ouest et le Nord de la France (Denis et Avon 2010). Le nombre de vaches montbéliardes présentes au contrôle laitier en 2021 par département est présenté dans la Figure 13.

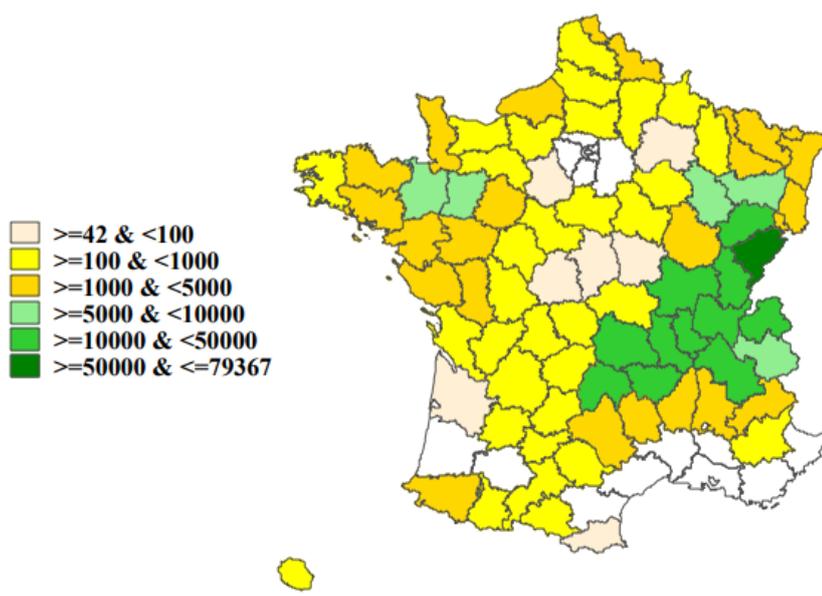


Figure 13 : Répartition départementale des effectifs de vaches montbéliardes au contrôle laitier (d'après Idele 2022a)

3.2.4 Effectif dans le monde et exportation

Le nombre total de vaches Prim Holstein dans le monde pourrait s'approcher de 25 000 000. La France détient le 2ème troupeau mondial de bovins Prim Holstein derrière les États-Unis, qui possèdent plus de 8 000 000 de vaches de cette race (Denis et Avon 2010).

À notre connaissance, les effectifs mondiaux de la Montbéliarde sont inconnus. Sa bonne thermo-tolérance lui a permis de s'adapter à des climats chauds comme en Afrique du Nord. Son utilisation par insémination animale pour améliorer les performances laitières de plusieurs races pie-rouge continentales, et également d'autres races, lui confère néanmoins une importance supérieure à ses seuls effectifs. La Montbéliarde n'a pas encore réussi à s'imposer sur le marché mondial comme étant la « Dairy Simmental », mais cet objectif pourrait finir par être atteint (Denis et Avon 2010).

3.3 Conduite d'élevage et intégration dans les filières

3.3.1 Pour la race Prim Holstein

La Prim Holstein est essentiellement exploitée en système laitier spécialisé, souvent intensif. Elle continue à avoir vocation au pâturage et à la valorisation de l'herbe, mais la stabulation permanente s'est beaucoup développée (Denis et Avon 2010). En effet, seulement 7 % des Prim Holstein sont élevées dans une exploitation où le maïs fourrager représente moins de 10 % de la superficie fourragère principale (Balandraud et al. 2018).

La Prim Holstein ayant été sélectionnée en Amérique du Nord pour produire du lait de consommation peu riche en matière utile, sa production de lait avec un taux protéique faible et une composition en caséine qui ne correspond pas assez au besoin des transformateurs constituent une limite à cette race. Pourtant, sa production de lait représentant près de 80 % de la collecte nationale, elle alimente la plupart des fromageries. De plus, la sélection vise actuellement à atténuer ses défauts (Denis et Avon 2010).

3.3.2 Pour la race Montbéliarde

La Montbéliarde est élevée le plus souvent en système lait spécialisé. Dans son berceau, une longue stabulation hivernale précède une exploitation classique du pâturage. En effet, 55 % des Montbéliardes sont élevées dans une exploitation où le maïs fourrager représente moins de 10 % de la superficie fourragère principale. Les génisses estivent souvent dans le Haut-Doubs et le Haut-Jura. Dans le Massif central, nombre d'éleveurs ont une activité d'engraissement sur l'exploitation (race pure et croisement charolais). Dans l'Ouest, rien ne distingue l'élevage des Montbéliardes de celui des autres races laitières, l'exploitation de l'herbe étant devenue secondaire (Denis et Avon 2010).

La Montbéliarde présente un bon compromis entre la quantité de lait et le taux protéique. Le rapport taux butyreux/taux protéique est plus faible que chez les Prim Holstein, ce qui représente un atout dans la conjoncture actuelle où du lait moins riche en matière grasse est recherché, notamment pour la transformation fromagère (Denis et Avon 2010). Au contraire de la Prim Holstein, un grand nombre de fromages AOP a autorisé cette race : Abondance, Bleu de Gex, Bleu du Vercors Sassenage, Comté, Epoisses, Langres, Mont d'Or, Morbier, Reblochon et Tome des Bauges. L'IGP Gruyère France a également fait ce choix (INAO 2020).

3.4 Objectifs de sélection

Les objectifs de sélection de chaque race sont retranscrits à travers l'Index de Synthèse Unique (ISU). Dans le cadre d'un raisonnement économique global, l'ISU est un index individuel adapté et complet, calculé en combinant la synthèse des caractères morphologiques, les caractères de production et les caractères fonctionnels (dont l'amélioration permet de diminuer les coûts de production et d'augmenter la productivité du travail) (France Génétique Elevage 2023).

Les index de production regroupent la quantité de matières protéiques, la quantité de matières grasses, la quantité de lait, les taux protéique et butyreux ainsi qu'un index économique laitier (INEL), qui est une combinaison des index élémentaires précédents commune à toutes les races.

Les index fonctionnels regroupent plusieurs index. Le premier est la santé de la mamelle et est composé des mammites cliniques et du comptage cellulaire. Le second est la fertilité et réunit la fertilité des vaches, la fertilité des génisses et l'intervalle vêlage IA1. Le troisième index concerne la naissance et les vêlages et regroupe la facilité de la naissance, la facilité de vêlage, la vitalité à la naissance et la vitalité au vêlage. Le dernier index est la longévité fonctionnelle.

Les index de morphologie reposent sur l'examen de chaque animal avec une table de pointage spécifique à chaque race selon les objectifs de sélection. Ils regroupent la morphologie, la mamelle, le corps et les membres ou aplombs. Selon les races, le format, le type, la musculature, la valeur bouchère ou le bassin peuvent être ajoutés.

La pondération entre ces différents critères est spécifique à chaque race selon les objectifs de sélection qu'elle s'est définis (France Génétique Elevage 2011). Le calcul des ISU des races Prim Holstein (Figure 14) et Montbéliarde (Figure 15) prend en compte, en partie, des critères similaires : production, reproduction, morphologie, santé de la mamelle, longévité et vitesse de traite. Cependant, l'importance relative de chaque critère diverge selon les choix de sélection. L'ISU de la race Prim Holstein accorde plus d'importance à la production, la reproduction, la morphologie et la vitesse de traite (Prim'Holstein France 2020). A l'inverse, c'est l'ISU montbéliard qui accorde le plus d'importance à la longévité et à la santé de la mamelle. Depuis 2022, l'ISU montbéliard prend également en considération la synthèse bouchère et le tempérament (Idele 2022c).

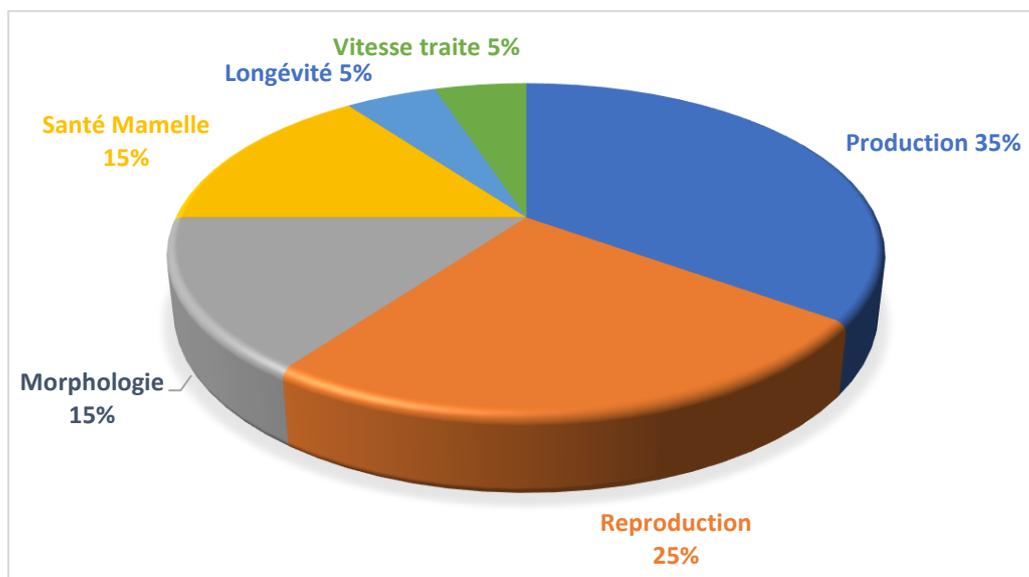


Figure 14 : Détail du calcul de l'ISU pour la race Prim Holstein (d'après Prim'Holstein France 2023)

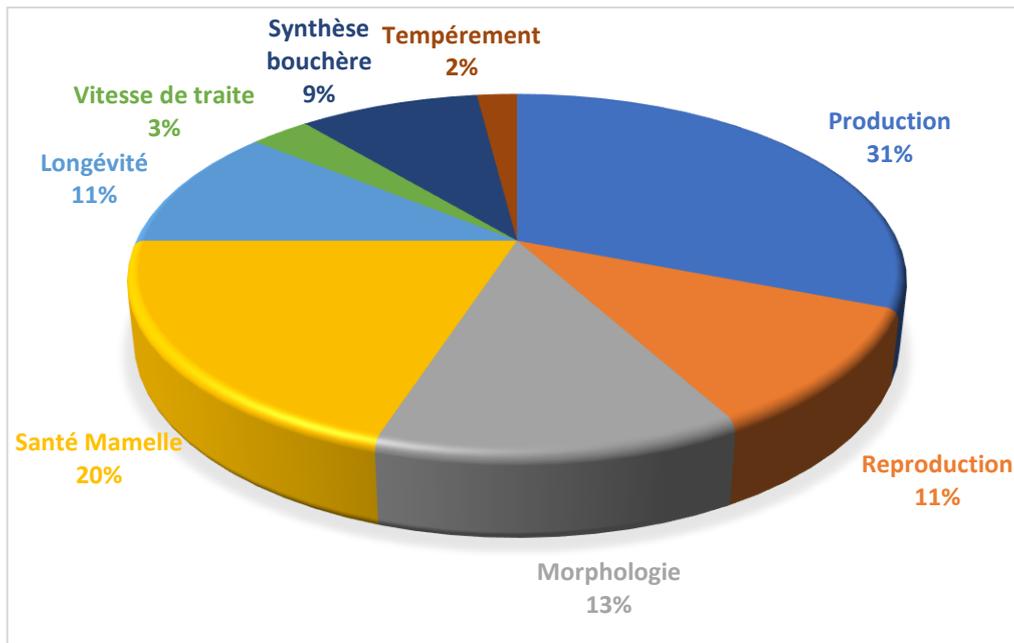


Figure 15 : Détail du calcul de l'ISU pour la race Montbéliarde (d'après Idele 2022c)

3.5 Caractéristiques zootechniques

3.5.1 Critères morphologiques

La race Prim Holstein présente un type morphologique laitier très marqué qualifié d'ultra longiligne avec un développement musculaire médiocre consécutif à un net agrandissement des individus de la race au cours de la sélection. A l'inverse, la race Montbéliarde, de format moyen, présente un type laitier peu accusé, qualifié de médioligne, avec un développement musculaire satisfaisant, notamment au niveau de la ligne de dos. La race Prim Holstein présente une mamelle remarquable avec une qualité de l'attache, un équilibre antéro-postérieur, une implantation et une dimension des trayons conformes à ce qui est systématiquement recherché dans les races laitières. Les qualités de la mamelle et l'aptitude à la traite mécanique de la Montbéliarde se sont beaucoup améliorées. L'ensemble des critères morphologiques sont présentés dans le Tableau XVII (Denis et Avon 2010).

Tableau XVII : Comparaison des critères morphologiques des races Montbéliarde et Prim Holstein (d'après Denis B et Avon 2010)

Paramètre	Montbéliarde	Prim Holstein
Taille femelle (en m)	1,45	1,45
Poids femelle (en kg)	650-700	650-700 et plus
Taille mâle (en m)	1,50	1,50
Poids mâle (en kg)	1 000 à 1 150	1 100
Morphologie	Médioligne	Ultra longiligne
Squelette	Moyennement fin	Fin
Développement musculaire	Toujours satisfaisant	Médiocre
Inclinaison du bassin	Incliné	Horizontal ou légèrement incliné
Port de la queue	En crosse (ce caractère tend à se faire plus rare sous l'effet de la sélection)	Noyé entre les ischions
Couleur de la robe	Pie-rouge à tête blanche Panachure irrégulière	Pie-noire Panachure irrégulière

Les différences de critères morphologiques observables entre les vaches de race Montbéliarde et celles de race Prim Holstein sont issues des objectifs de sélection parfois divergents entre ces deux races. En effet, même si les critères utilisés ne sont pas toujours identiques entre ces deux races, compliquant ainsi leur comparaison, il semblerait que des différences de morphologie type se dégagent en observant les postes du corps et du bassin dans les tables de pointage (Figure 16). Par exemple, la Montbéliarde est plus petite mais semble plus développée en largeur que la Prim Holstein. En revanche, concernant les aplombs, aucune différence morphologique ne peut être mise en évidence en comparant les tables de pointage. Par exemple, des membres postérieurs parallèles et un angle du jarret qualifié de « normal », c'est-à-dire intermédiaire sur l'échelle de notation, sont décrits pour les deux races.

Les différences morphologiques entre ces deux races peuvent interroger quant à l'utilisation des postures des vaches montbéliardes pour détecter les boiteries et déterminer le niveau de score des boiteries chez cette race en utilisant les mêmes systèmes de notation statiques qu'en race Prim Holstein. Par exemple, les différences morphologiques au niveau du dos pourraient modifier l'expression des postures du dos des vaches montbéliardes lors de l'évaluation statique de ces vaches avec des grilles développées pour la race Prim Holstein.

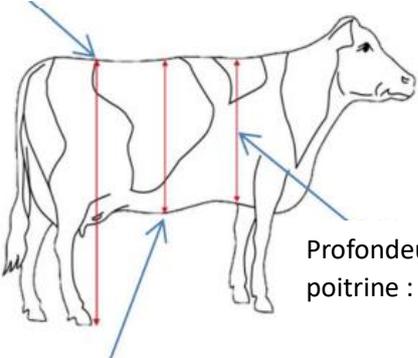
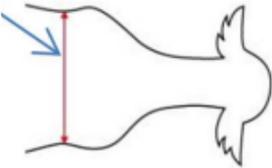
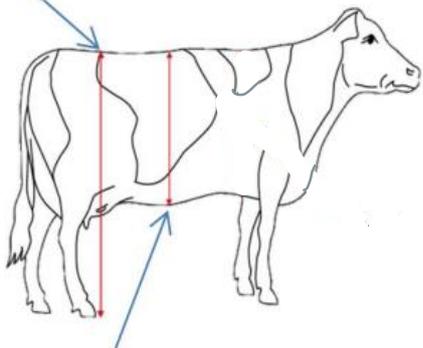
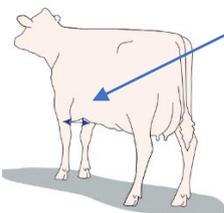
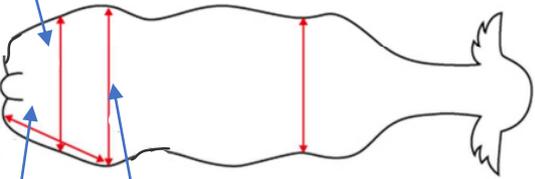
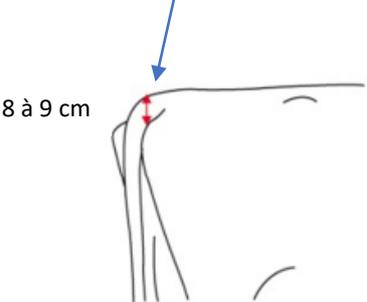
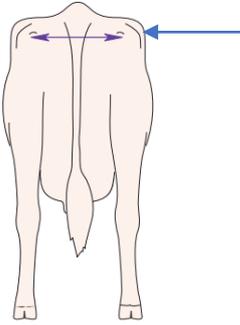
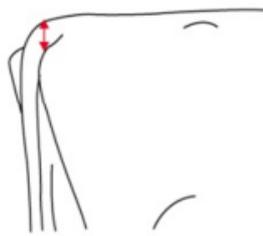
Montbéliarde	Prim Holstein
CORPS	
<p>Hauteur au sacrum : 143-144 cm</p>  <p>Profondeur de poitrine : 73-74 cm</p> <p>Profondeur de Flanc : 79-80 cm</p> <p>Largeur de poitrine : 44-45 cm (Mesurée aux points les plus creux à l'arrière des épaules, (passage de sangle))</p> 	<p>Hauteur au sacrum primipare : 141-153 cm Hauteur au sacrum multipare : 154-156 cm</p>  <p>Profondeur de Flanc : 86-88 cm</p> <p>Largeur de poitrine : 29-31 cm (= distance entre l'axe des membres antérieurs à la base du sternum)</p> 
BASSIN	
<p>Largeur aux trochanters : 52-53 cm</p>  <p>Largeur aux hanches : 53-54 cm</p> <p>Longueur du bassin : 52-53 cm</p> <p>Inclinaison du bassin : légèrement incliné</p>  <p>8 à 9 cm</p>	<p>Largeur des ischions : 23 cm</p>  <p>Inclinaison du bassin : légèrement incliné</p> 

Figure 16 : Comparaison des tables de pointage Montbéliarde et Prim Holstein pour les postes du dos et des aplombs (d'après Montbéliarde association 2018 ; Prim Holstein France 2021)

3.5.2 Critère de production : l'aptitude laitière

La Prim Holstein présente la plus forte production de lait en quantité (9 704 kg de moyenne brute en une lactation) et en matière utile (710 kg par lactation) (Tableau XVIII). Elle dépasse toutes les autres races et notamment la Montbéliarde, qui produit en moyenne 7 719 kg de lait (lactation brute), soit 562 kg de matière utile (Idele 2022a).

En revanche, la Montbéliarde produit un lait plus riche en protéines (Taux protéique (TP) : 33,5 g/kg) et moins gras (Taux butyreux (TB) : 39,3 g/kg) que la majorité des autres races, et notamment la Prim Holstein (TP : 32,5 g/kg et TB : 40,7 g/kg). Ainsi, le rapport TB/TP est plus faible chez la Montbéliarde (1,17) que chez la majorité des autres races, et notamment la Prim Holstein (1,25) (Idele 2022a).

Tableau XVIII : Caractéristiques des lactations brutes au contrôle laitier en 2021 (d'après Idele 2022a)

Races	Montbéliarde	Prim Holstein	Montbéliarde – Prim Holstein	Toutes races	Montbéliarde -Toutes races
Nombre de résultats	392 247	1 323 367		2 064 131	
Durée de lactation (jours)	324	353	-29	344	-20
Production moyenne (kg)	7 719	9 704	-1 985	8 887	-1 168
MG (kg)	304	395	-91	361	-57
TB (g/kg)	39,3	40,7	-1,4	40,6	-1,3
MP (kg)	258	315	-57	292	-34
TP (g/kg)	33,5	32,5	1	32,9	0,6
TB/TP	1,17	1,25	-0,08	1,23	-0,06
MU (kg)	562	710	-148	653	-91
TMU (g/kg)	72,8	73,2	-0,4	73,5	-0,7
IVV (jours)	401	417	-16	413	-12

Cependant, ces résultats sont à relativiser du fait de conditions d'élevage différentes entre les races. Au cours de leur étude en conditions d'élevage équivalentes, Balandraud et al. (2018) ont montré que la race Montbéliarde produit environ 12 % de lait de moins par vache que la race Prim Holstein, avec des taux supérieurs (TP + 1,5 g/kg ; TB + 0,6 g/kg).

Les vaches prim holstein ont produit plus de lait et de matière utile que les vaches montbéliardes mais avec une amplitude différente selon les systèmes d'alimentation (Herbe, Maïs ou Mixte). La différence de production laitière entre les vaches montbéliardes et les vaches prim holstein est ainsi plus faible, en valeur absolue comme en valeur relative, dans les systèmes Herbe que dans les systèmes Mixte et Maïs. De même, la différence de production de matière utile entre ces deux races est plus faible dans les exploitations du système Herbe. Enfin, dans les trois systèmes étudiés, les TB et TP des vaches montbéliardes sont supérieurs à ceux observés chez les vaches Prim Holstein (Tableau XIX) (Balandraud et al. 2018).

Tableau XIX : Caractéristiques des lactations selon le système d'élevage et selon la race (d'après Balandraud et al. 2018)

Races	Système herbe			Système mixte			Système maïs		
	Mo	PH	Mo- PH	Mo	PH	Mo- PH	Mo	PH	Mo- PH
Lait en 305 jours(kg)	5920	6647	- 727 (-10,9 %)	6362	7353	-991 (13,5 %)	7751	8925	-1174 (-13,2 %)
TB (g/kg)	37,9	37	0,9	38,4	37,6	0,8	38,3	37,2	1,1
TP (g/kg)	32,1	30,5	1,6	33,1	31,6	1,5	33,2	31,9	1,3
Matière utile (kg)	414	447	-33 (-7 %)	453	508	-55 (-11 %)	552	613	-51 (-10 %)

Mo = Montbéliarde ; PH = Prim Holstein ; Mo-PH = différence entre les valeurs de Mo et de PH

3.5.3 Critères fonctionnels

3.5.3.1 Santé de la mamelle

Le taux cellulaire dans le lait produit par une Montbéliarde ou une Prim Holstein semble similaire. En effet, le taux de lactation avec l'ensemble des contrôles inférieurs à 300 000 cellules par millilitre de lait a augmenté davantage en Prim Holstein qu'en Montbéliarde et se situe maintenant respectivement à 55 et 55,8 % pour ces races. De la même manière, le taux de lactation avec au moins deux contrôles supérieurs à 800 000 cellules par millilitre de lait a diminué davantage en Prim Holstein qu'en Montbéliarde et se situe maintenant respectivement à 11,3 et 10,2 % pour ces races (Figure 17) (Idele 2022a).

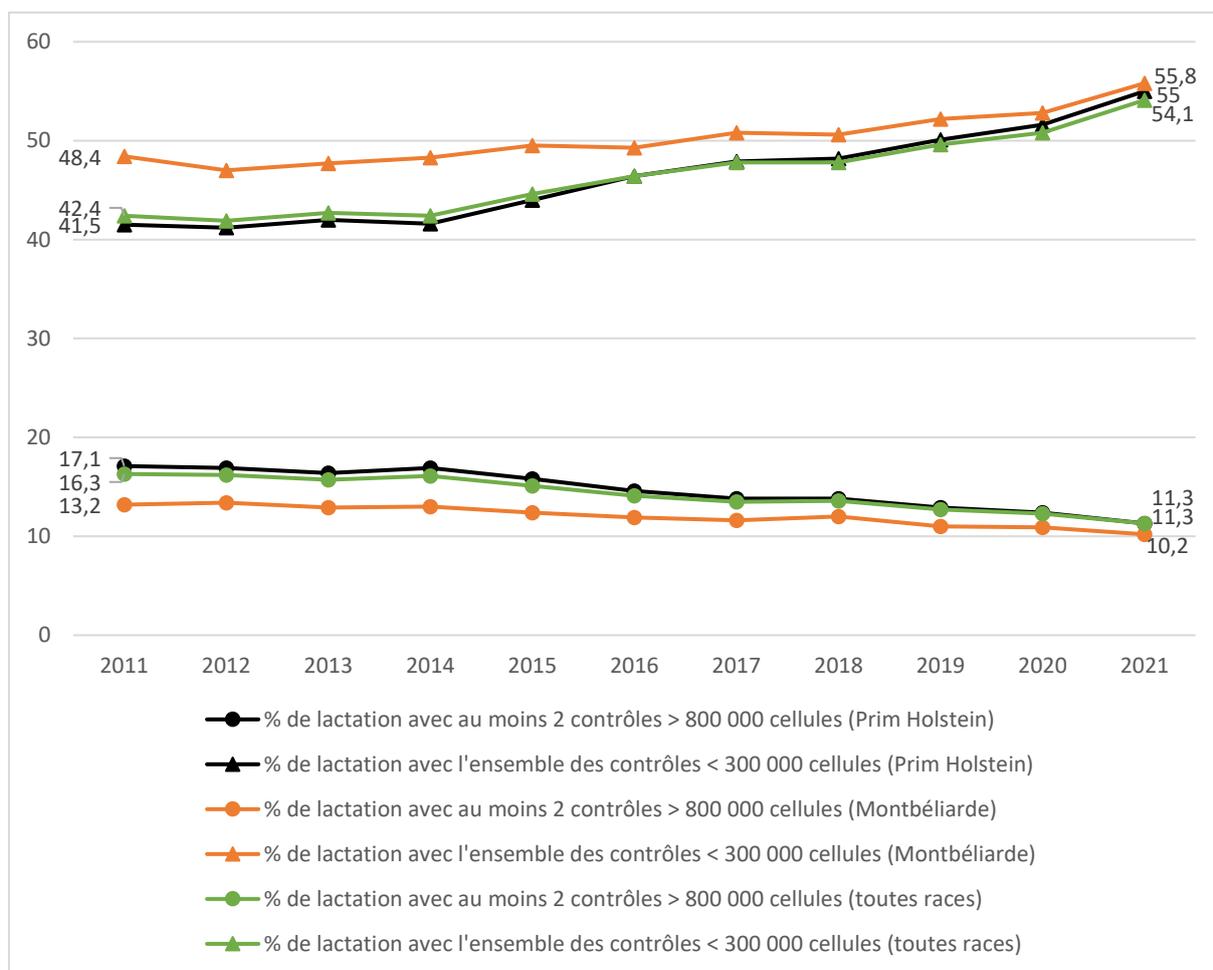


Figure 17 : Evolution des fréquences de lactation avec un taux cellulaire élevé ou bas pour les principales races laitières françaises depuis 2011 (d'après Idele 2022a)

Les vaches montbéliardes présentent une meilleure résistance aux mammites par rapport aux vaches Prim Holstein. En effet, la prévalence des mammites au cours d'une lactation serait de 24 % en Montbéliarde contre 34 % en Prim Holstein. Ainsi, une vache de race Montbéliarde aurait 29 % de chance en plus de ne pas déclarer de mammite sur sa lactation par rapport à une vache Prim Holstein (Balandraud et al. 2018).

Par conséquent, la Montbéliarde permet une réduction de l'utilisation systématique des antibiotiques au tarissement et une meilleure valorisation du lait. En effet, 10 % des vaches montbéliardes sont tariées sans antibiotique contre seulement 6 % des vaches Prim Holstein. La qualité générale du lait de la race Montbéliarde permet une plus-value sur le prix du lait de 13 €/1 000 L de lait en moyenne (Balandraud et al. 2018).

3.5.3.2 Aptitude de reproduction

Les performances de reproduction chez les vaches sont meilleures en race Montbéliarde qu'en race Prim Holstein mais elles sont équivalentes chez les génisses. En effet, dans leur étude sur les différences phénotypiques et les conséquences économiques des races Montbéliarde et Prim Holstein, Balandraud et al. (2018) ont montré que l'ensemble des indicateurs de fertilité et de fécondité chez les vaches est meilleur chez les montbéliardes (intervalle vêlage-première insémination (IV-IA1), intervalle vêlage-insémination fécondante (IV-IAF), nombre d'inséminations par IAF et IVV plus faibles) (Tableau XX). De plus, selon les données nationales, le taux de vaches en non-retour en chaleur dans les 18-90 jours après l'IAP, et donc supposées gestantes, est plus élevé chez les vaches montbéliardes que chez les prim holstein, mais aucune différence importante n'est observée entre les principales races laitières chez les génisses. Enfin, malgré une durée de gestation supérieure de 7 à 8 jours chez la Montbéliarde par rapport à la Prim Holstein (LE MEZEC et al. 2014), l'intervalle vêlage-vêlage (IVV) est plus faible de 16 jours pour la Montbéliarde par rapport à la Prim Holstein et de 12 jours par rapport à la moyenne de l'ensemble des races (Idele 2022d). Ces indicateurs de fertilité meilleurs chez les vaches montbéliardes sont obtenus malgré une utilisation plus importante de semence sexée plutôt défavorable à la fertilité (LE MEZEC et al. 2014). L'augmentation du niveau de production en race Prim Holstein pourrait être une explication car il devient difficile d'assurer une bonne couverture alimentaire au moment du pic de lactation, ce qui détériore le taux de réussite à la première insémination et entraîne en allongement de l'intervalle entre vêlages (Denis et Avon 2010).

Tableau XX : Indicateurs de fécondité et de fertilité selon la race (d'après Balandraud et al. 2018 ; Idele 2022d)

Indicateurs	Montbéliarde	Prim Holstein	Différence Montbéliarde - Prim Holstein
Intervalle vêlage-IA1	90	103	-13 jours
Intervalle vêlage-IAF	110	133	-23 jours
Nombre IA/IAF	1,8	2,1	-0,3 (- 14 %)
Nombre IA/IAF génisses	1,7	1,8	Non significative
Taux de non-retour génisses	69 %	67 %	+ 2 points
Taux de non-retour vaches	63 %	55 %	+ 8 points
IVV	401 à 402	417 à 427	- 16 à 25 jours
Taux de vêlages difficiles	6,3	5,9	Non significative
Age au 1^{er} vêlage	32,3	29,5	+2,8 mois

Cependant, ces résultats sont à nuancer et les performances de reproduction pourraient être équivalentes chez les montbéliardes et les prim holstein élevées dans un même système d'élevage, à l'exception du nombre d'inséminations nécessaires pour obtenir une insémination fécondante (IA/IAF) en système Maïs, qui est significativement supérieur chez la Prim Holstein que chez la Montbéliarde (Balandraud et al. 2018).

Chez la Prim Holstein, la précocité sexuelle est plus marquée (puberté à 6 ou 8 mois) que chez la Montbéliarde. De même, chez la Prim Holstein, l'aptitude au vêlage précoce est très bonne si l'alimentation des génisses est maîtrisée, alors qu'elle est moyenne chez la Montbéliarde. Les vaches adultes les moins intéressantes génétiquement chez ces deux races peuvent être utilisées en croisement avec des races à viande sans risque important (Denis et Avon 2010).

3.5.3.3 Aptitude bouchère

La Prim Holstein présente une croissance pondérale satisfaisante mais les carcasses sont médiocrement conformées. Traditionnellement, les vaches de réforme fournissent des carcasses dites « bas de gamme » pour lesquelles une demande importante existe en grande distribution depuis la baisse des effectifs bovins laitiers. Les carcasses de vaches de réforme sont généralement notées P (type laitier) selon les classes (E, U, R, O, P). Les veaux de boucherie présentent une conformation moyenne notée O- (Boussiere et al. 2013).

Les qualités bouchères de la Montbéliarde permettent une vitesse de croissance et un développement musculaire qui demeurent satisfaisants même chez les souches fortement laitières. Par exemple, ce développement musculaire plus marqué qu'en race Prim Holstein est visible au niveau de la ligne de dos. Les vaches de réforme sont également prisées (Denis et Avon 2010). Les carcasses de vaches de réforme sont généralement notées O (type mixte) selon les classes (E, U, R, O, P). La meilleure conformation musculaire des vaches de réforme montbéliardes correspond à un écart de deux tiers de classes par rapport à la race Prim Holstein. Les veaux de boucherie présentent une conformation moyenne notée O+ (Boussiere et al. 2013).

Balandraud et al (2018) ont montré une meilleure aptitude bouchère des vaches de réforme et des veaux en race Montbéliarde par rapport à la race Prim Holstein. Malgré une capacité d'ingestion qui serait inférieure de 1 kg de matière sèche par jour chez la

Montbéliarde, sa note d'état corporelle (NEC) est supérieure de 0,7 point en lactation (2,7 sur 5 contre 2,0 sur 5) et de 0,5 point lors du tarissement (3,6 sur 5 contre 3,1 sur 5) à celle de la race Prim Holstein. L'ensemble des données économiques concernant l'aptitude bouchère est résumé dans le (Tableau XXI).

Tableau XXI : Critères zootechniques et économiques secondaires à l'aptitude bouchère (d'après Balandraud et al. 2018)

Indicateur	Différence Montbéliarde – Prim Holstein
NEC des vaches en lactation	+ 0,7
NEC des vaches tarées	+ 0,5
Poids de la carcasse d'une vache de réforme	+ 18 kg
Prix de vente par kg de carcasse (vache de réforme)	+ 0,31 euros
Prix de vente total par carcasse (vache de réforme)	+ 147 euros
Prix d'un veau mâle croisé avec une race allaitante (à 3 semaines)	+ 67 euros
Prix d'un veau femelle croisé avec une race allaitante (à 3 semaines)	+ 52 euros
Prix de vente d'un veau de boucherie	+ 180 euros

3.5.3.4 Longévité

La Montbéliarde présente une meilleure longévité que la Prim Holstein et que le cheptel laitier en général. En 2021, son rang moyen de lactation au contrôle laitier était de 2,8, contre 2,3 pour la Prim Holstein et 2,5 pour l'ensemble des races. Les vaches en quatrième lactation et plus représentent 30,3 % des montbéliardes contrôlées, contre 18,9 % des prim holstein et 21,8 % de l'ensemble des races. (Idele 2022a). Par conséquent, le taux de renouvellement est supérieur de 8 points dans les cheptels de race Prim Holstein, soit 15 % de plus que les cheptels en race Montbéliarde (Balandraud et al. 2018). La répartition du nombre de vaches selon leur rang de lactation pour les races Montbéliarde, Prim Holstein et l'ensemble du cheptel toutes races est présentée dans la Figure 18.

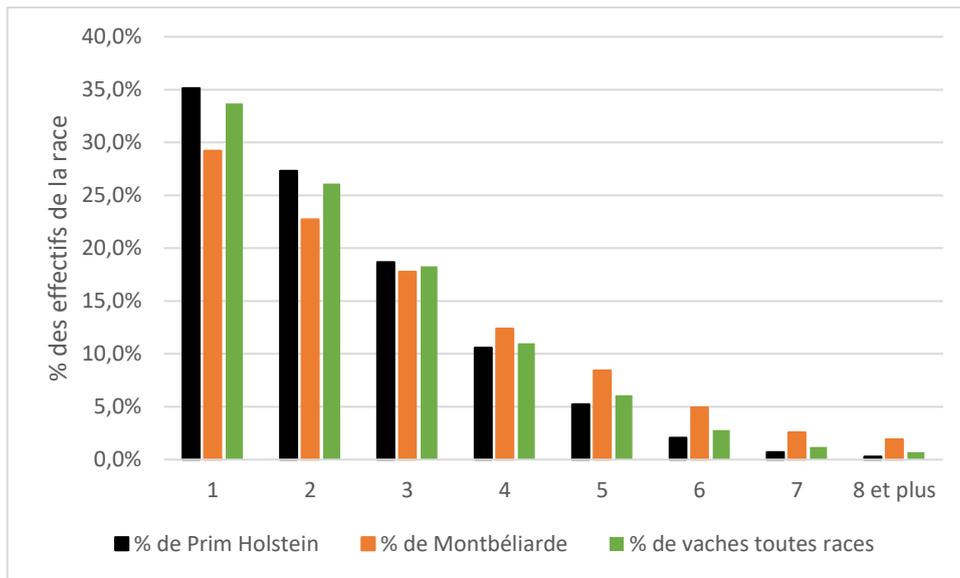


Figure 18 : Part des effectifs des vaches contrôlées par race en fonction du rang de lactation (d'après Idele 2022a)

3.6 Conclusion

La race Prim Holstein est considérée comme une race laitière très spécialisée avec une production laitière élevée alors que la race Montbéliarde est plutôt considérée comme une race mixte avec des produits lait et viande plus équilibrés qui lui ont permis de résister face au développement de la race Prim Holstein (Denis et Avon 2010).

- ❖ Deux races prédominantes de l'élevage bovin français
 - Prim Holstein : 1^{ère} race bovine française
 - Montbéliarde : 4^{ème} race bovine française et 2^{ème} race laitière française

- ❖ Deux races aux systèmes d'élevage et filières opposés
 - Prim Holstein : production en système pâturage ou en stabulation pour la grande distribution
 - Montbéliarde : production en système pâturage dans des filières labélisées

- ❖ Critères morphologiques : deux races aux morphologies divergentes peuvent interroger quant à l'utilisation des postures des vaches montbéliardes pour détecter les boiteries et déterminer le niveau de score de boiterie chez cette race en utilisant les mêmes systèmes de notation statiques qu'en race Prim Holstein
 - Prim Holstein : ultra longiligne et développement musculaire médiocre
 - Montbéliarde : médioligne et développement musculaire satisfaisant

- ❖ Critère de production : une Prim Holstein très spécialisée dans la production de lait et une Montbéliarde plus apte à la transformation fromagère
 - Prim Holstein : meilleure productrice en quantité de lait et de matière utile
 - Montbéliarde : rapport TB/TP plus faible

- ❖ Critères fonctionnels : mixité et rusticité de la Montbéliarde
 - Santé de la mamelle, reproduction, aptitude bouchère et longévité meilleure en race Montbéliarde

Partie II : Etude expérimentale

1 *Problématique, objectifs et hypothèses*

Les boiteries constituent un problème majeur chez les bovins, et particulièrement en élevage laitier (cf 1.2 de la partie I). Les boiteries ont un impact majeur sur le bien-être animal (Whay et Shearer 2017), sur les performances zootechniques en entraînant une baisse de la production laitière, une baisse des performances de reproduction et une hausse du taux de réforme (Schlageter-Tello et al. 2014). Elles constituent la troisième cause de pertes économiques due à une maladie en élevage laitier (Enting et al. 1997).

Ainsi, la maîtrise de ces boiteries constitue un enjeu majeur et de nombreux outils sont à notre disposition pour évaluer ces boiteries. Les outils les plus fréquents sont les systèmes de notation manuels (Viazzi et al. 2013) mais leur utilisation à l'échelle du troupeau est chronophage (Bareille et Roussel 2014). Par ailleurs, les systèmes de notation automatiques ont été créés mais leur coût important et leur manque de performance par rapport aux systèmes de notation manuels sont un frein à la démocratisation de leur utilisation (Alsaad et al. 2019). Face à ces contraintes, les systèmes de notation statiques apparaissent comme une alternative intéressante pour évaluer les boiteries à l'échelle d'un élevage. Les systèmes de notation statiques reposent sur l'hypothèse que certaines modifications de postures du dos, des aplombs postérieurs et des appuis sont corrélées à la présence de boiteries. Cette corrélation a été démontrée en race Prim Holstein (Hoffman et al. 2014).

La race Montbéliarde détient le quatrième effectif de bovins et le deuxième effectif de bovins laitiers (Idele 2022b) et présente des aptitudes fonctionnelles et de production fromagère intéressantes (Denis et Avon 2010). Ainsi, l'évaluation des boiteries chez cette race semble être un enjeu tout aussi légitime qu'en race Prim Holstein. Pourtant, la Montbéliarde et la Prim Holstein présentent de nombreuses différences morphologiques (format, finesse du squelette, développement musculaire, NEC) (Denis et Avon 2010). Ce constat peut interroger quant à l'utilisation des postures des vaches montbéliardes pour détecter les boiteries et déterminer le niveau de score des boiteries chez cette race en utilisant les mêmes systèmes de notation statiques qu'en race Prim Holstein.

Nous nous sommes demandés si la grille d'évaluation statique des boiteries développée en race Prim Holstein par Poulain dans le cadre de sa thèse de doctorat vétérinaire (Poulain 2018) était utilisable en race Montbéliarde.

Le premier objectif de notre étude était de savoir si la grille d'évaluation statique des boiteries de Poulain pouvait être utilisée pour détecter les boiteries chez les montbéliardes.

Le second objectif de notre étude était de savoir si cette même grille permettait de déterminer le niveau de score de boiteries chez les montbéliardes.

Notre hypothèse était que les postures aux cornadis des montbéliardes ne permettaient pas de détecter et de donner le niveau de score des boiteries en statique avec une sensibilité et une spécificité suffisantes à cause des différences morphologiques de cette race par rapport à la race Prim Holstein.

Enfin, si au moins un des deux premiers objectifs mettait en évidence que cette grille n'était pas utilisable en Montbéliarde, alors notre troisième objectif était de modifier cette grille afin d'améliorer son utilisation en race Montbéliarde et de vérifier la capacité de cette grille modifiée à détecter les boiteries et à déterminer le niveau de score de boiterie chez les vaches montbéliardes.

2 *Matériels et méthodes*

2.1 Autorisation d'expérimenter

Dans le cadre de la réglementation sur l'expérimentation animale, j'ai rédigé une présentation de mon étude en vue de l'évaluation par le comité d'éthique de VetAgro Sup. Dans cette présentation, j'ai particulièrement détaillé chaque étape d'observation sur les animaux ainsi que leur potentiel impact sur le bien-être animal.

Concernant l'accord des éleveurs, j'ai tout d'abord expliqué oralement mon projet à chacun des éleveurs lors de notre premier contact. J'ai également rédigé et fait signer dans chaque élevage une lettre de consentement éclairé qui permettait d'expliquer précisément le protocole des observations dans leur élevage (Annexe 1). Il était également précisé que chaque éleveur pouvait se retirer de l'étude à tout moment et sans aucune justification nécessaire. Enfin, il était précisé que les données personnelles ne seraient stockées que sur mon ordinateur personnel et celui de ma directrice de thèse, puis que les données seraient anonymisées lors de la rédaction de cette thèse.

2.2 Population de l'étude

2.2.1 Choix des élevages

J'ai choisi six élevages dans les départements du Jura (39) et de la Haute-Savoie (74) pour constituer ma population d'étude. Les critères de recrutement des élevages étaient la présence de vaches laitières de race Montbéliarde, un bâtiment spacieux avec un espace plat (bétonné ou caillebotis) suffisamment long et lumineux pour observer les vaches marcher sur plusieurs mètres et la présence de cornadis pour effectuer la notation statique et décrocher les vaches individuellement et au rythme souhaité pour l'observation en locomotion. La disponibilité de l'éleveur a également été un facteur de choix afin d'obtenir de l'aide pour l'identification et la manipulation des animaux. Les caractéristiques des élevages sont rassemblées dans le Tableau XXII.

Tableau XXII : Caractéristiques des élevages choisis pour les observations

Elevage	Nombre de vaches évaluées	Logement	Sol de la zone d'observation
A	57	Aire paillée	Caillebotis
B	43	Aire paillée	Aire bétonnée
C	35	Logettes paillées	Aire bétonnée
D	65	Logettes paillées	Caillebotis
E	45	Logettes paillées	Aire bétonnée
F	51	Aire paillée	Aire bétonnée

2.2.2 Choix des animaux

Au total, 296 vaches montbéliardes ont constitué la population de mon étude. Un tel effectif a été choisi arbitrairement afin d'observer le plus grand nombre de vaches tout en intégrant cette étude à l'organisation de l'ensemble de mon année d'école vétérinaire. Au sein des troupeaux, seules les vaches adultes montbéliardes ayant déjà vêlé au moins une fois ont été retenues pour les notations. Les génisses, les taureaux et les vaches d'autres races ou croisées n'ont pas été intégrés à l'étude. Les vaches tarées n'ont été notées que dans le cas où elles étaient présentes dans le troupeau laitier ou si leur box disposait d'un espace suffisant pour réaliser une marche en ligne droite sur sol dur.

2.3 Plan expérimental

Le premier objectif de notre étude était de savoir si la grille d'évaluation statique des boiteries de Poulain pouvait être utilisée pour détecter les boiteries chez les montbéliardes.

Le second objectif de notre étude était de savoir si cette même grille permettait de déterminer le niveau de score des boiteries chez les montbéliardes.

Pour répondre à nos objectifs, j'ai évalué les boiteries des 296 vaches montbéliardes. J'ai noté les sous-scores pour chaque critère (dos et aplombs) en statique selon la grille de Poulain et les sous-scores pour le dos et la tête, la foulée et les appuis lors de l'évaluation en locomotion selon la grille développée par Welfare Quality (Leach et Whay 2009). Ces données m'ont permis de comparer ensuite le score statique au score en locomotion.

Enfin, si au moins un des deux premiers objectifs mettait en évidence que cette grille n'était pas utilisable en Montbéliarde, alors notre troisième objectif était de modifier cette

grille afin d'améliorer son utilisation en race Montbéliarde et de vérifier la capacité de cette grille modifiée à détecter les boiteries et à déterminer le niveau de score de boiterie chez les vaches montbéliardes. Ces modifications étaient permises en analysant les sous-scores notés lors de l'évaluation des boiteries.

2.3.1 Grilles utilisées

2.3.1.1 La grille en locomotion Welfare Quality : la grille de référence de mon étude

J'ai utilisé la grille d'évaluation des boiteries en locomotion de Welfare Quality (Forkman 2009) comme grille de référence pour mon étude. La notation était permise par l'observation de 3 critères : les foulées, les appuis et la ligne de dos et la position de la tête de la vache évaluée. Le score en locomotion de 0 (L0) correspond à une vache non boiteuse ; le score en locomotion de 1 (L1) à une vache modérément boiteuse et le score en locomotion de 2 (L2) à une vache sévèrement boiteuse. L'éthogramme de cette grille est présenté dans le Tableau XXIII.

Tableau XXIII : Ethogramme de la grille d'évaluation des boiteries en locomotion de Welfare Quality (d'après Leach et Whay 2009)

Score de 0 : non boiteuse	Foulée régulière et grandes enjambées Dos plat et tête relevée Appui des quatre membres de manière égale (poids réparti équitablement)	
Score de 1 : modérément boiteuse	Foulée irrégulière d'amplitude raccourcie Dos légèrement arrondi et tête portée basse Les quatre appuis sont présents mais inégaux	
Score de 2 : sévèrement boiteuse	Mouvements asymétriques des membres Dos arrondi et mouvement de balancier de la tête Suppression ou forte réticence à l'appui	

2.3.1.2 La grille statique de Poulain : la grille à tester dans notre étude

La grille à tester dans notre étude était la grille statique de Poulain. Cette notation repose sur l'observation des aplombs et de la ligne de dos de la vache évaluée. Les postures normales ou modifiées pour le critère dos et le critère aplomb, ainsi que les sous-scores associés sont présentées dans l'ethogramme (Tableau XXIV).

Tableau XXIV : Ethogramme de la grille statique de Poulain (d'après Poulain 2018)

Dos	Postures	Dos plat (0)		Dos courbé (1)	
	Photos				
Aplombs	Postures	Aplombs normaux (0)	Légère anomalie des aplombs (1)	Rotation interne des jarrets (2)	Suppression d'appui (3)
	Photos				

Le score statique est déterminé à partir des sous-scores selon l'arbre de décision de la Figure 19.

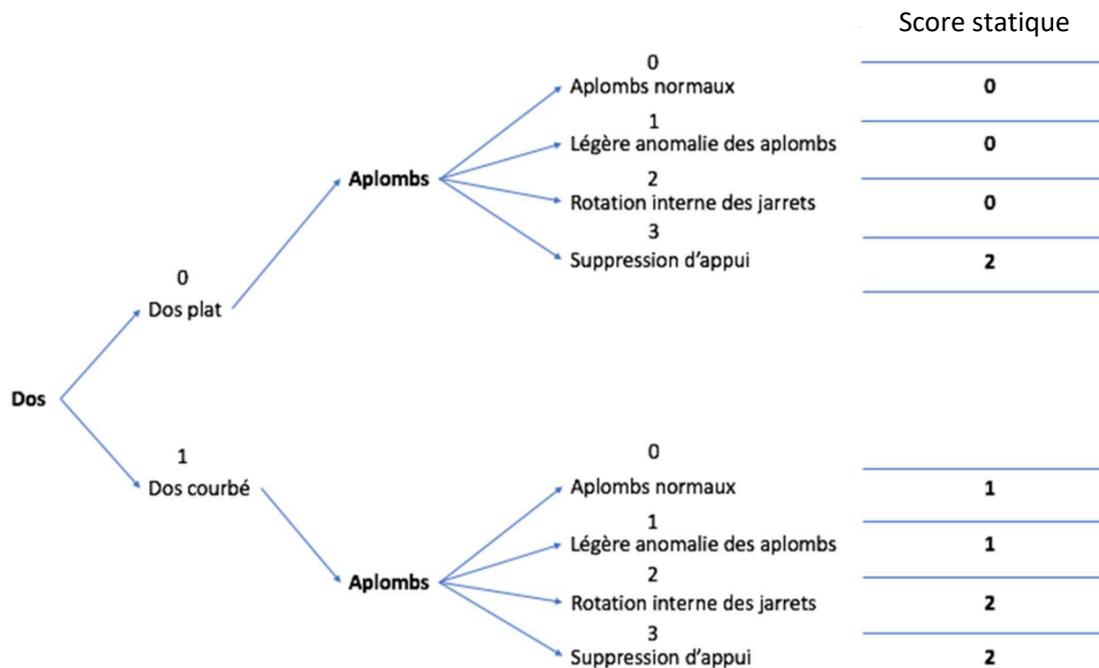


Figure 19 : Combinaisons des sous-scores de chaque posture et détermination du score statique (d'après Poulain 2018)

Le score statique de 0 (S0) correspond à une vache non boiteuse ; le score statique de 1 (S1) à une vache modérément boiteuse et le score de 2 (S2) à une vache sévèrement boiteuse.

Par exemple, une vache avec un dos plat (0) et des aplombs normaux (0) obtenait le score statique de 0 (S0) et était considérée comme non boiteuse. Une vache avec un dos courbé (1) et une rotation interne des jarrets (2) obtenait le score statique de 2 (S2) et était considérée comme sévèrement boiteuse.

2.3.2 Entraînement de l'observateur

Tout d'abord, je me suis entraîné aux notations des boiteries sur des photos de 50 vaches aux cornadis et 30 vidéos de vaches en locomotion, et ce pendant plusieurs heures par semaine de juillet à septembre 2022. J'ai utilisé la grille de Poulain pour la notation statique et la grille de Welfare Quality pour la notation en locomotion. Lorsque les niveaux de score attribués aux vaches devenaient généralement similaires à ceux notés aux entraînements précédents et après correction par ma directrice de thèse de certaines incertitudes, je me suis

entraîné dans l'élevage familial ainsi que lors des visites d'élevages en stage. Lors de cet entraînement sur le terrain, j'ai effectué près de 200 notations statiques et 200 notations en locomotion sur près de 100 vaches montbéliardes de septembre à novembre 2022. J'ai effectué une visite en élevage avec ma directrice de thèse. Un entretien téléphonique avec Valentin Poulain m'a permis d'aborder l'organisation des observations dans les élevages (temps et espace nécessaires, besoin en main d'œuvre, ...).

2.3.3 Protocole de notation

Dans chaque élevage, après avoir attaché l'ensemble des vaches aux cornadis, j'ai noté le numéro de travail de chaque vache à évaluer sur deux feuilles. J'ai observé les vaches à évaluer aux cornadis pour leur attribuer un score statique de boiterie. Ensuite, un aide détachait les vaches de manière individuelle au rythme que je voulais pour que je puisse observer ces mêmes vaches marcher individuellement et leur attribuer un score de locomotion. J'ai noté les postures statiques et les critères en locomotion sur deux feuilles séparées pour ne pas influencer la notation réalisée en deuxième. Dans cinq élevages, j'ai d'abord observé les vaches aux cornadis puis en locomotion. Pour des raisons de temps limité, dans un seul élevage (élevage D), les vaches ont d'abord été observées en locomotion en sortie de salle de traite, puis en statique. J'ai effectué les notations le matin après la traite sauf pour un élevage où j'ai réalisé ce travail avant la traite du soir (élevage B).

2.3.3.1 Notation en statique

En suivant l'ordre des vaches aux cornadis, j'ai noté selon la grille de Poulain la présence d'un dos plat ou d'un dos courbé dans un premier temps, puis j'ai réalisé la notation des aplombs en distinguant des aplombs normaux, une légère anomalie des aplombs, une rotation interne des jarrets ou une suppression d'appuis. Les vaches mangeant, urinant, déféquant ou présentant des réactions de stress ont été réévaluées ultérieurement.

2.3.3.2 Notation en locomotion

Les vaches se présentaient successivement de manière individuelle. Je regardais en premier les mouvements de la tête et la ligne de dos, puis les appuis et enfin les foulées. Les vaches passant trop rapidement étaient observées une seconde fois ou sorties de l'étude s'il était impossible d'effectuer un deuxième passage.

2.4 Méthodes d'analyse

2.4.1 Description de l'enregistrement des mesures

L'ensemble des données a été rassemblé dans un tableur Excel.

La première feuille de calcul était consacrée à la notation statique (Annexe 2). Chaque animal était répertorié avec une lettre correspondant à son élevage et par son numéro de travail. Le sous-score attribué pour la ligne de dos était renseigné dans une colonne puis le sous-score concernant les aplombs était renseigné dans la colonne suivante. La dernière colonne concernait le calcul du score statique selon la combinaison des sous-scores précédents.

La deuxième feuille de calcul renseignait le score de boiterie en locomotion (Annexe 3). Pour chacun des trois critères (foulée, dos et tête, appuis), une croix était réalisée dans la colonne correspondant au sous-score retenu (colonne zéro, une ou deux). Le score de locomotion était ensuite noté manuellement. Si les trois critères observés présentaient des modifications qui ne correspondaient pas au même niveau de score de boiterie, alors la priorité était donnée au sous-score foulée, puis appui, puis dos et tête. Par exemple, si une vache présentait une « foulée régulière et des grandes enjambées » (critère correspondant à une vache non boiteuse (L0)), « un dos légèrement arrondi et une tête portée basse » (critère correspondant à une vache modérément boiteuse (L1)) et un « appui des quatre membres de manière égale » (critère correspondant à une vache non boiteuse (L0)), alors cette vache était notée comme non boiteuse (L0).

Enfin, la troisième feuille de calcul rassemblait les scores statique et en locomotion dans deux colonnes adjacentes (Annexe 4). Les tables de concordance et de concordance détaillée ainsi que la table de contingence ont été calculées dans cette feuille.

2.4.2 Description des variables de l'étude

Toutes les variables décrites dans cette étude étaient des variables qualitatives ordinales.

➤ Concernant le statut des vaches :

Le statut de la vache selon chaque grille était une variable à deux modalités : non-boiteuse (S0, Sm0 et L0) ou boiteuse (regroupant modérément boiteuse (S1, Sm1 ou L1) et sévèrement boiteuse (S2, Sm2 ou L2)).

➤ Concernant le niveau de score de boiterie :

Le score de boiterie statique était une variable à trois modalités (non-boiteuse = S0, modérément boiteuse = S1 ; sévèrement boiteuse = S2).

Le score de boiterie en locomotion était une variable à trois modalités (non-boiteuse = L0, modérément boiteuse = L1 ; sévèrement boiteuse = L2).

Le score de boiterie statique modifié était une variable à trois modalités (non-boiteuse = Sm0, modérément boiteuse = Sm1 ; sévèrement boiteuse = Sm2).

Afin de comparer les fréquences de chaque niveau de score obtenues avec la grille statique (puis statique modifié) avec les fréquences de chaque niveau de score obtenues avec la grille en locomotion, les variables à trois modalités ont été transformées en variables à deux modalités. Par exemple, afin de comparer les fréquences de vaches sévèrement boiteuses en statique et en locomotion, les variables « sévèrement boiteuse en statique » et « non sévèrement boiteuse en statique » d'une part et « sévèrement boiteuse en locomotion » et « non sévèrement boiteuse en locomotion » d'autre part ont été créées.

➤ Concernant les postures :

La posture du dos était une variable à deux modalités (dos plat ou dos courbé).

Les aplombs étaient une variable à quatre modalités (aplombs normaux, légère anomalie des aplombs, rotation interne des jarrets et suppression d'appui).

2.4.3 Analyse des données

L'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel R et l'interface R Studio (R Core Team 2022) (Annexe 5).

Notre premier objectif était de savoir si la grille de Poulain permettait de détecter les boiteries chez les vaches montbéliardes. Pour cela, nous avons calculé les fréquences de boiteries selon les deux grilles puis nous les avons comparées. Nous avons calculé la sensibilité (Se) et la spécificité (Sp) du score statique de Poulain, ainsi que les valeurs prédictives positives (VPP) et négatives (VPN) des résultats obtenus à l'aide de cette grille, en utilisant la grille en locomotion comme grille de référence.

Le second objectif était de savoir si la grille de Poulain permettait de déterminer le niveau de score de boiterie chez les vaches montbéliardes. Pour cela, nous avons calculé les fréquences de chaque niveau de score de boiterie selon chacune des deux grilles et nous avons étudié les concordances entre les deux scores puis calculé le coefficient de corrélation entre ces deux scores.

Enfin, notre troisième objectif était de modifier le score de Poulain pour le rendre plus utilisable en race Montbéliarde. Pour cela, l'étude des combinaisons de postures puis de chaque posture individuellement a permis de comprendre les problèmes majeurs du score de Poulain en race Montbéliarde et de proposer des pistes d'amélioration.

2.4.3.1 Comparaison de fréquence de boiterie selon la grille utilisée

Les fréquences de boiteries en statique et en locomotion ont été calculées à partir de la variable statut de la vache. Le test de McNemar a été utilisé pour déterminer si les fréquences des boiteries obtenues avec le score statique étaient significativement différentes de celles obtenues avec le score de locomotion. Ce test permet de comparer des fréquences de deux séries dépendantes d'observations à variables qualitatives. Les calculs ont été réalisés avec la fonction `mcnemar.test()`.

Les intervalles de confiance à 95 % des fréquences de boiterie ont été calculés en utilisant la loi binomiale avec la fonction `binom.test()`.

2.4.3.2 Sensibilité et spécificité du score statique

Pour évaluer la capacité de la grille de Poulain à détecter les vaches boiteuses, nous avons calculé la sensibilité de cette grille.

Pour évaluer la capacité de la grille de Poulain à détecter les vaches non boiteuses, nous avons calculé la spécificité de cette grille.

La sensibilité et la spécificité ont été calculées en prenant comme référence la grille en locomotion. Selon cette même grille, toute vache obtenant un score L1 ou L2 a été notée comme boiteuse. Selon la grille statique, les vaches boiteuses sont les vaches obtenant un score statique de S1 ou S2. La table de contingence (Tableau XXV) a permis de calculer la sensibilité et la spécificité du score statique de boiterie.

Tableau XXV : Table de contingence entre le score statique et le score de locomotion

Locomotion Statique	Non boiteuses (L0)	Boiteuses (L1 et L2)
Non boiteuses (S0)	Vrais négatifs	Faux négatifs
Boiteuses (S1 et S2)	Faux positifs	Vrais positifs

Par définition, on obtient : $Se = \frac{\text{Vrais positifs}}{\text{Vrais positifs} + \text{Faux négatifs}}$ et $Sp = \frac{\text{Vrais négatifs}}{\text{Vrais négatifs} + \text{Faux positifs}}$

Les intervalles de confiance à 95 % de la sensibilité et de la spécificité ont été calculés en utilisant la loi binomiale avec la fonction `binom.test()`.

2.4.3.3 Valeurs prédictives positive et négative des résultats obtenus par le score statique

Afin d'évaluer la proportion de vaches réellement boiteuses parmi les vaches notées boiteuses par la grille de Poulain, nous avons calculé la valeur prédictive positive (VPP).

Afin d'évaluer la proportion de vaches réellement non boiteuses parmi les vaches notées non-boiteuses par la grille de Poulain, nous avons calculé la valeur prédictive négative (VPN).

De la même manière que pour la sensibilité et la spécificité, nous avons calculé la VPP et la VPN à partir de la table de contingence (Tableau XXV).

Par définition, on obtient : $VPP = \frac{Vrais\ positifs}{Vrais\ positifs + Faux\ positifs}$ et $VPN = \frac{Vrais\ négatifs}{Vrais\ négatifs + Faux\ négatifs}$

Les intervalles de confiance à 95 % de la VPP et de la VPN ont été calculés en utilisant la loi binomiale avec la fonction `binom.test()`.

2.4.3.4 Distribution des niveaux de scores

Nous avons calculé les effectifs pour chaque niveau de score pour chacune des deux grilles. Le test de McNemar a été utilisé pour déterminer si les fréquences de chaque niveau de score de boiterie obtenues avec le score statique étaient significativement différentes de celles obtenues avec le score de locomotion. Les calculs ont été réalisés avec la fonction `mcnemar.test()`. Les intervalles de confiance à 95 % de la fréquence de chaque niveau de score de boiterie ont été calculés en utilisant la loi binomiale avec la fonction `binom.test()`.

2.4.3.5 Concordance et corrélation entre les niveaux de score statique et de score en locomotion

A partir de la distribution des niveaux de score de boiterie, nous avons construit une table de concordance entre le score statique et le score de locomotion (Tableau XXVI).

Tableau XXVI : Table de concordance entre le score statique et le score en locomotion

Statique \ Locomotion	L0	L1	L2
	S0	Non boiteuses	Discordances
S1	Discordances	Modérément boiteuses	Discordances
S2	Discordances	Discordances	Sévèrement boiteuses

Le nombre d'observations concordantes (même niveau de score en statique et en locomotion) et discordantes (niveau de score de boiterie différents en statique et en locomotion) a été calculé à partir de la table de concordance (Tableau XXVI).

Pour évaluer la corrélation entre les différents niveaux du score en locomotion (non boiteuse (L0), modérément boiteuse (L1) et sévèrement boiteuse (L2)) et les différents niveaux du score statique de Poulain (non boiteuse (S0), modérément boiteuse (S1) et sévèrement boiteuse (S2)), nous avons utilisé le coefficient de corrélation (τ) de Kendall.

Pour un échantillon de taille n , soit P (respectivement Q) le nombre de paires concordantes (respectivement discordantes). Le τ de Kendall se définit par : $\tau = 2 \frac{(P-Q)}{n(n-1)}$

Le τ de Kendall s'interprète comme le degré de correspondance entre 2 notations. Si toutes les paires sont concordantes, $\tau = 1$; si toutes les paires sont discordantes, $\tau = -1$; et si les deux classements sont indépendants $\tau = 0$. Ainsi, plus ce coefficient se rapproche de 1, plus la corrélation entre les deux séries d'évaluation est forte. En revanche, plus il se rapproche de 0, plus la corrélation est faible.

A partir de la table de concordance Tableau XXVI, le coefficient de corrélation de Kendall (τ) ainsi que son intervalle de confiance à 95 % ont respectivement été calculés à l'aide des fonctions `cor.test()` et `kendall.ci()` du logiciel R.

2.4.3.6 Combinaisons de postures selon le score en locomotion

Le nombre d'observations de chaque combinaison de postures (dos et aplombs) en statique pour chaque niveau de score en locomotion a été calculé. A partir de ces résultats, nous avons construit la table de concordance détaillée pour chaque combinaison de postures (Tableau XXVII). Cela nous a permis d'identifier les combinaisons de postures qui aboutissaient le plus fréquemment à des discordances entre le score statique et le score en locomotion.

Tableau XXVII : Table de concordance entre le score statique et le score en locomotion détaillée pour chaque combinaison de postures

Score statique	Dos	Aplombs	Score en locomotion		
			L0	L1	L2
S0	0	0	Concordances	Discordances	Discordances
S0	0	1	Concordances	Discordances	Discordances
S0	0	2	Concordances	Discordances	Discordances
S1	1	0	Discordances	Concordances	Discordances
S1	1	1	Discordances	Concordances	Discordances
S2	0	3	Discordances	Discordances	Concordances
S2	1	2	Discordances	Discordances	Concordances
S2	1	3	Discordances	Discordances	Concordances

2.4.3.7 Fréquence des modifications de postures selon le score en locomotion

Le nombre de vaches présentant chaque modification de postures lors de la notation statique en fonction du score de locomotion a été calculé.

2.4.3.8 Sensibilité, spécificité, VPP et VPN des modifications de posture

La sensibilité, la spécificité, la VPP et la VPN de chacune des quatre modifications de postures ont été calculées (dos courbé, légère anomalie des aplombs, rotation interne des jarrets et suppression d'appui).

Exemple de calcul pour la modification de posture « Suppression d'appui » :

$$\text{VPN} = \frac{\text{Nombre de vaches avec un dos plat et non boiteuses en locomotion}}{\text{Nombre de vaches avec un dos plat}}$$

Les intervalles de confiance à 95 % des sensibilités, spécificités, valeurs prédictives positives et valeurs prédictives négatives de chaque modification de postures ont été calculés en utilisant la loi binomiale avec la fonction `binom.test()`.

3 Résultats

La totalité des 296 vaches montbéliardes initialement incluses dans cette étude a été évaluée en statique et en locomotion.

3.1 Fréquence de boiteries selon la grille utilisée

Le nombre de vaches observées dans chaque élevage, la fréquence des boiteries selon la notation statique et selon la notation en locomotion sont présentées dans le Tableau XXVIII. Les fréquences globales selon les deux grilles de notation sont également présentées.

Tableau XXVIII : Effectifs et fréquences des boiteries en statique et en locomotion pour chaque élevage

Elevage	Effectif observé	Fréquence des boiteries	
		en statique (%)	en locomotion (%)
C	56	12,3	26,8
D	43	44,2	62,8
E	35	42,9	77,1
R	65	15,4	27,7
S	45	13,3	37,8
T	51	13,8	33,3
Total	296	21,6*	41,2*

* : différence significative entre la fréquence des boiteries en locomotion et la fréquence des boiteries en statique

La fréquence des vaches boiteuses selon la grille statique était de 21,6 % (IC à 95 % : 17,1-26,8) contre 41,2 (IC à 95 % : 35,6-47,1) selon la notation en locomotion. La fréquence des boiteries obtenue par l'utilisation de grille statique de Poulain était significativement inférieure à celle obtenue en locomotion (p-value < 0,001).

3.2 Sensibilité, spécificité du score statique de Poulain

La sensibilité et la spécificité de la grille statique par rapport à la grille en locomotion ont été calculées en utilisant la table de contingence (Tableau XXIX).

Tableau XXIX : Table de contingence du score statique et du score en locomotion

Locomotion \ Statique	Non boiteux	Boiteux	Total
Non boiteux	168	64	232
Boiteux	6	58	64
Total	174	122	296

La notation en statique a abouti à 168 vrais négatifs (non boiteux en statique et en locomotion), 58 vrais positifs (boiteux en statique et en locomotion), 64 faux négatifs (non boiteux en statique mais boiteux en locomotion) et six faux positifs (boiteux en statique mais non boiteux en locomotion).

Le score statique de boiterie de Poulain avait une sensibilité de 0,48 (IC à 95 % : 0,38-0,57) et une spécificité de 0,97 (IC à 95 % : 0,93-0,99).

3.3 VPP et VPN des scores obtenus avec la grille de Poulain

La valeur prédictive positive des scores obtenus avec la grille de Poulain était de 0,91 (IC à 95 % : 0,81-0,96) et la valeur prédictive négative était de 0,72 (IC à 95 % : 0,66-0,78).

3.4 Distribution des niveaux de score de boiteries

3.4.1 Selon la notation en locomotion

Le nombre de vaches observées par niveau de score de locomotion de boiterie est présenté dans la Figure 20.

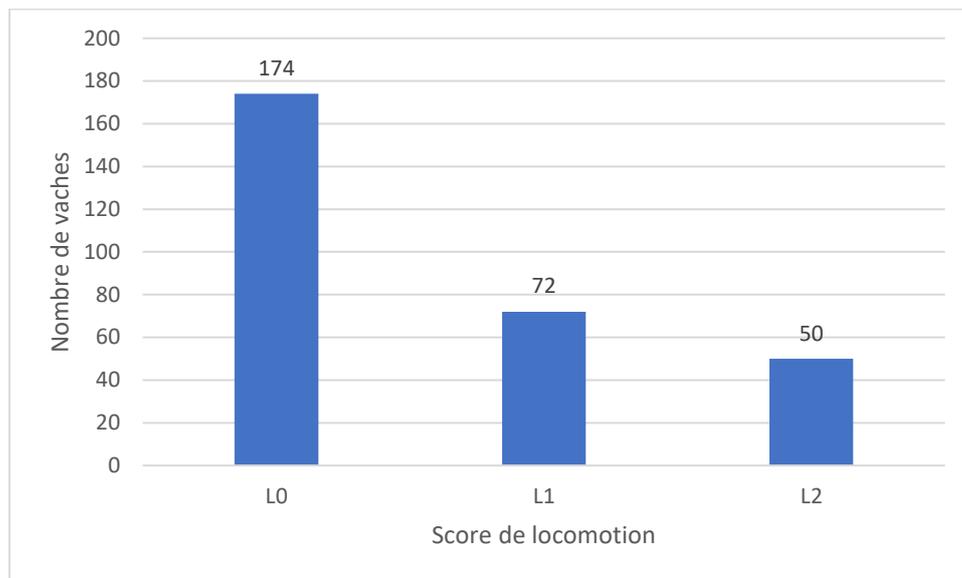


Figure 20 : Nombre de vache observées en fonction du niveau de score en locomotion de boiterie (n= 296)

Le score en locomotion L0 était le score le plus représenté avec 174 vaches, soit 58,8 % des individus observés (IC : 52,9-64,4 %). Le score L2 était le moins représenté avec 50 vaches, soit 16,9 % des individus observés (IC : 12,8-21,7 %). Le score L1 représentait 72 vaches, soit 24,3 % des individus observés (IC : 19,6-29,6 %).

3.4.2 Selon la notation en statique

Le nombre de vaches observées par niveau de score statique de boiterie est présenté dans la Figure 21.

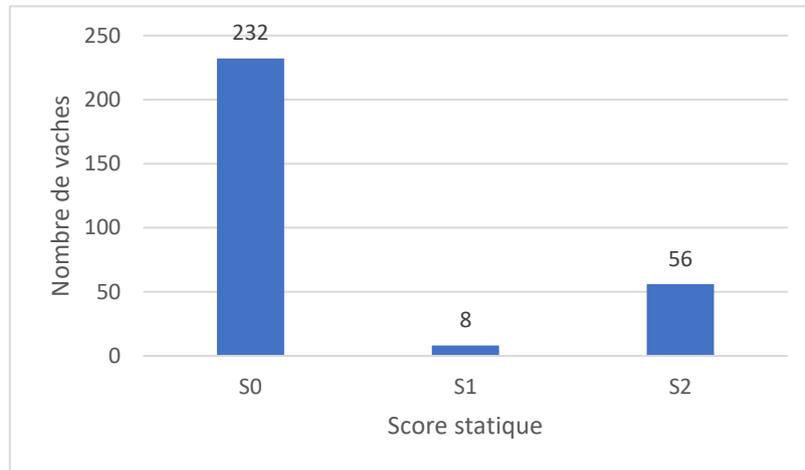


Figure 21 : Nombre de vaches observées en fonction du niveau de score statique de boiterie (n= 296)

Le score statique S0 était le score le plus représenté avec 232 vaches, soit 78,4 % des individus observés (IC : 73,2-82,9 %). Le score S1 était le moins représenté avec 8 vaches, soit 2,7 % des individus observés (IC : 1,2-5,3 %). Le score S2 représentait 56 vaches, soit 18,9 % des individus observés (IC : 14,6-23,9 %).

Les fréquences de vaches non boiteuses (S0) et modérément boiteuses (S1) obtenues avec la notation statique étaient significativement différentes respectivement des fréquences de vaches non boiteuses (L0) (p-value < 0,001) et modérément boiteuses (L1) (p-value < 0,001) obtenues avec la notation en locomotion.

La fréquence de vaches sévèrement boiteuses obtenue avec la notation statique (S2) n'était pas significativement différente de la fréquence de vaches sévèrement boiteuses (L2) obtenue avec la notation en locomotion (p-value = 0,345).

3.5 Concordance et corrélation entre les niveaux de score statique et de score en locomotion

La répartition des effectifs pour chaque niveau de score obtenu selon les grilles d'observations est présentée dans le Tableau XXX.

Tableau XXX : Table de concordance entre le score statique et le score dynamique

Statique \ Locomotion	L0	L1	L2	Total
S0	168	56	8	232
S1	1	4	3	8
S2	5	12	39	56
Total	174	72	50	296

En vert : les concordances ; en orange : les discordances

Parmi les 296 vaches observées, 211 ont obtenu un score concordant entre les notations statiques et en locomotion (valeurs des cellules vertes), soit 71,3 % des observations (IC à 95 % : 65,8-76,4). Ces 211 concordances se répartissaient en 168 non boiteuses (S0 et L0), 4 modérément boiteuses (S1 et L1) et 39 sévèrement boiteuses (S2 et L2).

En revanche, 85 vaches ont obtenu des notes discordantes (valeurs des cellules orange). Ainsi, pour 28,7 % (IC à 95 % : 23,6-34,2) des observations, la notation statique a abouti à un score incorrect par rapport à notre méthode de référence. Les notes discordantes se répartissaient selon plusieurs cas :

- Parmi les 296 observations, 64 vaches ont été vues boiteuses en locomotion et non boiteuses en statique, soit 21,6 % des observations (IC à 95 % : 17,1-26,8).
- Six vaches ont été vues non boiteuses en locomotion et boiteuses en statique, soit 2,0 % des observations (IC à 95 % : 0,7-4,4).
- Douze vaches ont été vues modérément boiteuses en locomotion et sévèrement boiteuses en statique, soit 4,1 % des observations (IC à 95 % : 2,1-7,0).
- Trois vaches ont été vues sévèrement boiteuses en locomotion et modérément boiteuses en statique, soit 1,0 % des observations (IC à 95 % : 0,2-2,9).

Le coefficient de corrélation de Kendall (τ) entre les deux systèmes de notation était de 0,60 (IC à 95 % : 0,55-0,66). Il y avait une corrélation positive et forte entre les deux scores.

3.6 Combinaisons de postures et score de boiterie

La répartition selon le score en locomotion de chaque combinaison de postures du score statique est présentée dans le Tableau XXXI.

Tableau XXXI : Table de concordance détaillée pour chacune des combinaisons de postures du score statique

Score statique	Dos	Aplombs	Effectif	L0 (%) (Effectif)	L1 (%) (Effectif)	L2 (%) (Effectif)
S0	0	0	65	83,1 (54)	13,8 (9)	3,1 (2)
S0	0	1	128	76,6 (98)	20,3 (26)	3,1 (4)
S0	0	2	39	41,0 (16)	53,8 (21)	5,1 (2)
S1	1	0	1	0,0 (0)	100,0 (1)	0,0 (0)
S1	1	1	7	14,3 (1)	42,9 (3)	42,9 (3)
S2	0	3	47	8,5 (4)	25,5 (12)	66,0 (31)
S2	1	2	0	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
S2	1	3	9	11,1 (1)	0,0 (0)	88,9 (8)

Parmi les combinaisons de postures, quatre d'entre elles représentaient 94,3 % des combinaisons observées (279/286). Ces quatre combinaisons de postures correspondaient à l'ensemble des combinaisons de postures avec un dos plat :

- Dos plat (0) et légère anomalie des aplombs (1) représentait à elle seule 43,2 % des observations (128/296) ;
- Dos plat (0) et aplombs normaux (0) représentait 22,0 % des observations (65/296) ;

- Dos plat (0) et suppression d'appui (3) représentait 15,9 % des observations (47/296) ;
- Dos plat (0) et rotation interne des jarrets (2) représentait 13,2 % des observations (39/296).

Les combinaisons de postures les moins représentées étaient les suivantes :

- Dos courbé (1) et rotation interne des jarrets (2) pour aucun individu ;
- Dos courbé (1) aplombs normaux (0) pour un seul individu, soit 0,3 % des observations ;
- Dos courbé (1) et légère anomalie des aplombs (1) pour sept individus, soit 2,4 % des observations ;
- Dos courbé (1) et suppression d'appui (3) pour neuf individus, soit 3,0 % des observations.

Ces quatre combinaisons de postures correspondaient à l'ensemble des combinaisons de postures avec un dos courbé.

La combinaison dos plat (0) et légère anomalie des aplombs (1) constituait 46,9 % des faux négatifs (30/64). Elle a abouti à des faux négatifs dans 23,4 % des cas (30/128).

La combinaison dos plat (0) et rotation interne des jarrets (2) constituait 35,9 % des faux négatifs (23/64). Elle a abouti à des faux négatifs dans 59,0 % des cas (23/39).

3.7 Fréquence des modifications de postures en fonction du score de locomotion

Le nombre de vaches ayant présenté des modifications de postures lors de la notation statique en fonction du score de locomotion est présenté dans la Figure 22

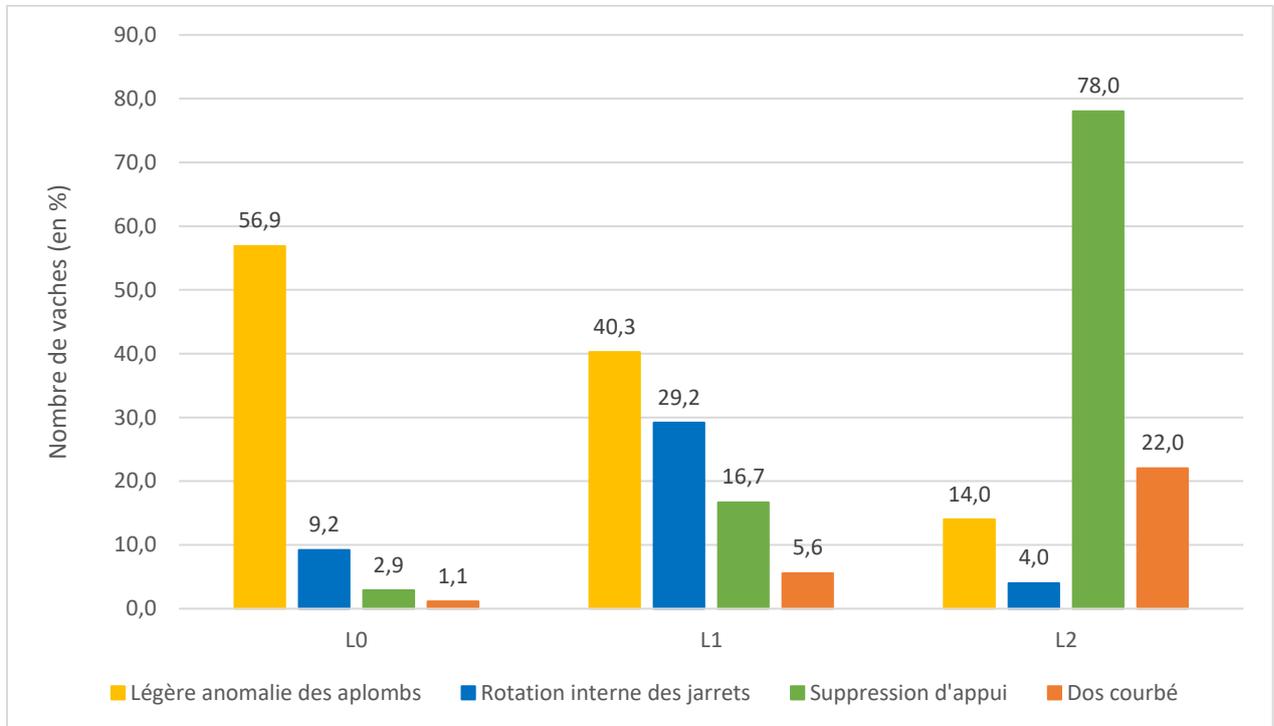


Figure 22 : Nombre de vaches présentant les modifications de postures suivantes : Dos courbé, Légère anomalie des aplombs, rotation interne des jarrets et suppression d'appui pour chaque niveau du score en locomotion

Une légère anomalie des aplombs a été plus fréquemment rencontrée pour des vaches présentant un score de locomotion de L0 que L1 ou L2, respectivement 56,9 %, 40,3 % et 14,0 %. Une rotation interne des jarrets a été plus fréquemment rencontrée pour des vaches présentant un score de locomotion L1 que L0 ou L2, respectivement 29,2 %, 9,2 % et 4,0 %. Une suppression d'appui a été plus fréquemment rencontrée pour des vaches présentant un score de locomotion L2 que L1 et L0, respectivement 78,0 %, 16,7 % et 2,9 %. De la même manière que la suppression d'appui, le dos courbé a été plus fréquemment rencontré pour des vaches présentant un score de locomotion L2 que L1 et L0, respectivement 22,0 %, 5,6 % et 1,1 %.

3.8 Sensibilité, spécificité, valeurs prédictives positive et négative des postures du score statique

La sensibilité, la spécificité, la VPP et la VPN de chaque posture sont présentées dans le Tableau XXXII.

Tableau XXXII : Sensibilité, spécificité, VPP et VPN des modifications de postures

Postures	Sensibilité (IC à 95%)	Spécificité (IC à 95%)	VPP (IC à 95%)	VPN (IC à 95%)
Dos courbé	0,12 (0,07-0,19)	0,99 (0,96-1,0)	0,88 (0,64-0,99)	0,62 (0,56-0,67)
Légère anomalie des aplombs	0,30 (0,22-0,38)	0,43 (0,36-0,51)	0,27 (0,19-0,35)	0,47 (0,39-0,55)
Rotation interne des jarrets	0,19 (0,12-0,27)	0,91 (0,85-0,95)	0,59 (0,42-0,74)	0,61 (0,55-0,67)
Suppression d'appui	0,42 (0,33-0,51)	0,97 (0,93-0,99)	0,91 (0,80-0,97)	0,70 (0,64-0,76)

La posture la plus sensible était la suppression d'appui (0,42) et la moins sensible était le dos courbé (0,12). La posture la plus spécifique était le dos courbé (0,99) et la posture la moins spécifique était la légère anomalie des aplombs (0,43). La posture avec la meilleure VPP était la suppression d'appui (0,91) et la posture avec la moins bonne VPP était la légère anomalie des aplombs (0,27). La posture avec la meilleure VPN était la suppression d'appui (0,70) et la posture avec la moins bonne VPN était la légère anomalie des aplombs (0,47).

3.9 Bilan de l'utilisation du score statique de Poulain en race Montbéliarde

L'utilisation de la grille statique de Poulain pour des vaches montbéliardes indiquait une fréquence de boiterie significativement inférieure à la notation de référence. La fréquence des vaches non boiteuses selon la notation statique (S0) était significativement supérieure à la fréquence des vaches non boiteuses selon la notation en locomotion (L0). La fréquence des vaches modérément boiteuses selon la notation statique (S1) était significativement inférieure à la fréquence des vaches modérément boiteuses selon la notation en locomotion (L1).

Le score statique de boiterie de Poulain, appliqué à des vaches montbéliardes, avait une sensibilité de 0,48 (IC à 95 % : 0,38-0,57) et une valeur prédictive négative de 0,72 (IC à 95 % : 0,66-0,78).

Pour 28,7 % des observations, la notation statique a abouti à un score incorrect par rapport à notre méthode de référence. Les faux négatifs représentaient 21,6 % des observations (64/296).

La combinaison dos plat (0) et rotation interne des jarrets (2) a abouti à des faux négatifs dans 59,0 % des cas (23/39). Dans 53,8 % des cas (21/39), cette combinaison de postures était attribuée à des vaches modérément boiteuses (L1) selon la notation en locomotion contre 41,0 % (16/39) qui étaient non boiteuses en locomotion.

3.10 Modification du score statique

3.10.1 Description du nouveau score de boiterie

La combinaison de postures dos plat (0) et rotation interne des jarrets (2) était la seule combinaison de postures pour laquelle le score en locomotion concordant (ici L0) n'était pas le score en locomotion le plus fréquemment obtenu. En effet, le score en locomotion L1 aboutissant à une discordance était le score en locomotion le plus fréquemment obtenu pour les vaches présentant la modification de posture dos plat (0) et rotation interne des jarrets (2)

Cette observation montrait qu'il était intéressant de revoir le niveau de score statique attribué à cette combinaison de postures pour obtenir une note de 1 (modérément boiteuse) au lieu de 0 (non boiteuse). Les niveaux de score statique modifié pour chaque combinaison de postures sont présentés dans la Figure 23.

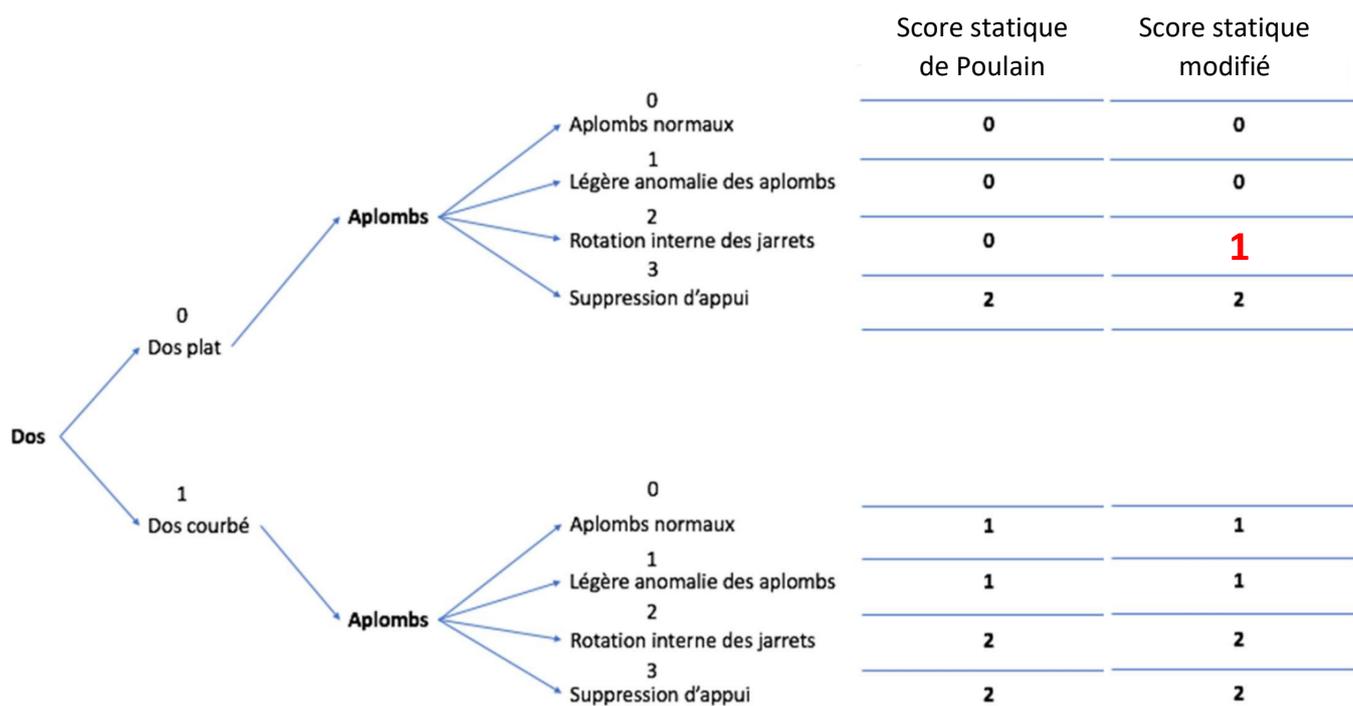


Figure 23 : Combinaisons possibles pour les sous scores de chaque posture et score statique modifié associé

En rouge : modification du score statique attribué à la combinaison dos plat (0) et rotation interne des jarrets (2), désormais Sm1

Le score statique modifié de 0 (Sm0) correspondait à une vache non boiteuse ; le score statique modifiée de 1 (Sm1) à une vache modérément boiteuse et le score statique modifié de 2 (Sm2) à une vache sévèrement boiteuse d’après la grille de Poulain modifiée pendant notre étude.

3.10.2 Evaluation du score statique modifié

3.10.2.1 Fréquence des boiteries

Le nombre de vaches observées dans chaque élevage, la fréquence des boiteries selon la notation statique modifiée et selon la notation en locomotion sont présentées dans le Tableau XXXIII. Les fréquences globales selon les deux grilles de notations sont également présentées.

Tableau XXXIII : Effectifs et fréquences des boiteries en score statique modifié et en locomotion pour chaque élevage

Elevage	Effectif observé	Fréquence des boiteries en statique modifié (%)	Fréquence des boiteries en locomotion (%)
C	56	19,3	26,8
D	43	48,8	62,8
E	35	60,0	77,1
R	65	30,8	27,7
S	45	35,6	37,8
T	51	27,5	33,3
Total	296	34,8*	41,2*

* : différence significative entre la fréquence des boiteries en locomotion et la fréquence des boiteries en statique modifié

La fréquence des boiteries en notation statique modifiée a été de 34,8 % (IC à 95 % : 29,4-40,5) contre 41,2 % (IC à 95 % : 35,6-47,1) pour la notation en locomotion. Cette différence était significative (p-value = 0,023).

3.10.2.2 Sensibilité et spécificité du score statique modifié

La sensibilité et la spécificité de la grille statique modifiée par rapport à la grille en locomotion ont été calculées en utilisant la table de contingence (Tableau XXXIV).

Tableau XXXIV : Table de contingence du score statique modifié et du score en locomotion

Locomotion \ Statique modifié	Non boiteux	Boiteux	Total
Non boiteux	152	41	193
Boiteux	22	81	103
Total	174	122	296

La notation statique modifiée a abouti à 152 vrais négatifs (non boiteux en statique et en locomotion), 81 vrais positifs (boiteux en statique et en locomotion), 41 faux négatifs (non boiteux en statique mais boiteux en locomotion) et 22 faux positifs (boiteux en statique mais non boiteux en locomotion).

Le score statique de boiterie modifié avait une sensibilité de 0,66 (IC à 95 % : 0,57-0,75) et une spécificité de 0,87 (IC à 95 % : 0,81-0,92).

3.10.2.3 VPP et VPN des scores obtenus avec la grille statique modifiée

La valeur prédictive positive et la valeur prédictive négative des scores obtenus avec la grille statique modifiée étaient respectivement de 0,79 (IC à 95 % : 0,69-0,86) et 0,79 (IC à 95 % : 0,72-0,84).

3.10.2.4 Distribution des niveaux de score statique modifié

Le nombre de vaches observées par niveau de score statique modifié de boiterie est présenté dans la Figure 24.

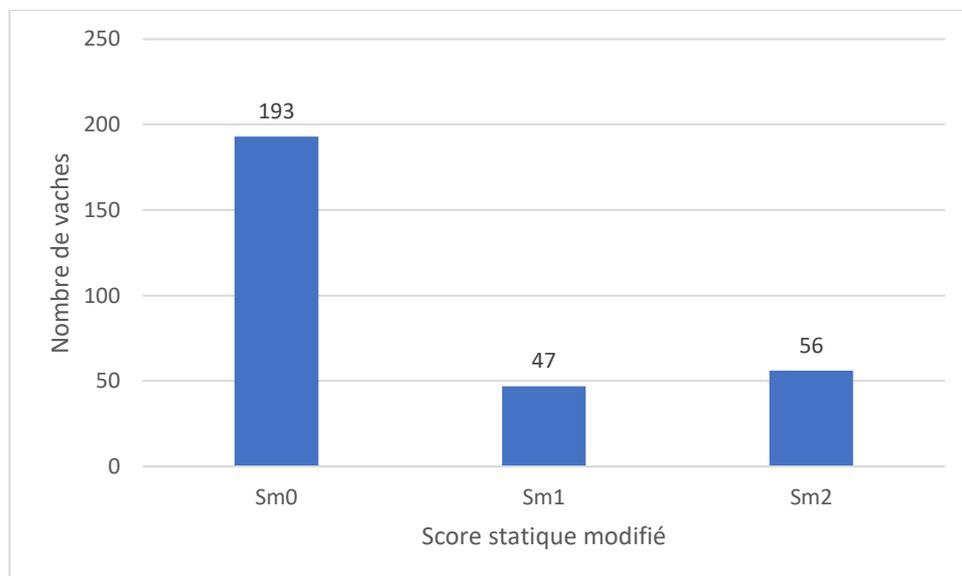


Figure 24 : Nombre de vaches observées en fonction du niveau de score statique de boiterie (n= 296)

Le score statique Sm0 était le score le plus représenté avec 193 vaches, soit 65,2 % des individus observés (IC : 59,5-70,6 %). Le score Sm1 était le moins représenté avec 47 vaches, soit 15,9 % des individus observés (IC : 11,9-20,5 %). Le score Sm2 représentait 56 vaches, soit 18,9 % des individus observés (IC : 14,6-23,9%).

Les fréquences de vaches non boiteuses (Sm0) et modérément boiteuses (Sm1) obtenues avec la notation statique modifiée étaient significativement différentes respectivement des fréquences de vaches non boiteuses (L0) (p-value = 0,023) et modérément boiteuses (L1) (p-value = 0,004) obtenues avec la notation en locomotion.

La fréquence de vaches sévèrement boiteuses obtenue avec la notation statique modifiée (S2) n'était pas significativement différente de la fréquence de vaches sévèrement boiteuses (L2) obtenue avec la notation en locomotion (p-value = 0,345).

3.10.2.5 Concordance et corrélation entre les niveaux de score statique modifié et de score en locomotion

La répartition des effectifs en fonction des niveaux de score obtenus selon les grilles d'observation est présentée dans le Tableau XXXV.

Tableau XXXV : Table de concordance entre le score statique modifié et le score dynamique

Locomotion \ Statique modifié	L0	L1	L2	Total
Sm0	152	35	6	193
Sm1	17	25	5	47
Sm2	5	12	39	56
Total	174	72	50	296

En vert : les concordances ; en orange : les discordances

Parmi les 296 vaches observées, 216 ont obtenu un score concordant entre les notations statique modifiée et en locomotion, soit 73,0 % des observations (IC à 95 % : 67,5-77,9). Ces 216 concordances se répartissent en 152 non boiteuses (S0 et L0), 25 modérément boiteuses (S1 et L1) et 39 sévèrement boiteuses (S2 et L2).

En revanche, 80 vaches ont obtenu des notes discordantes (valeurs des cellules orange). Ainsi, pour 27,0 % des observations (IC à 95 % : 22,1-32,5), la notation statique a abouti à un score incorrect par rapport à notre méthode de référence. Les notes discordantes se répartissent selon plusieurs cas :

- Parmi les 296 observations, 41 vaches ont été vues boiteuses en locomotion et non boiteuses en statique, soit 13,9 % des observations (IC à 95 % : 10,1-18,3) ;
- Vingt-deux vaches ont été vues non boiteuses en locomotion et boiteuses en statique, soit 7,4 % des observations (IC à 95 % : 4,7-11,0) ;
- Douze vaches ont été vues modérément boiteuses en locomotion et sévèrement boiteuses en statique, soit 4,1 % des observations (IC à 95 % : 2,1-7,0) ;
- Cinq vaches ont été vues sévèrement boiteuses en locomotion et modérément boiteuses en statique, soit 1,7 % des observations (IC à 95 % : 0,6-3,9).

Le coefficient de corrélation de Kendall (τ) entre le score statique modifié et le score en locomotion était de 0,61 (IC à 95 % : 0,55-0,66). Il y avait donc une corrélation positive et forte entre les deux scores, qui n'était pas significativement différente de celle obtenue entre le score de Poulain et le score en locomotion.

3.10.2.6 Combinaison des postures et score de boiterie

La répartition selon le score en locomotion de chaque combinaison de postures du score statique modifié est présentée dans le Tableau XXXVI.

Tableau XXXVI : Table de concordance détaillée pour chaque combinaison de postures du score statique modifié

Score statique modifié	Dos	Aplombs	Effectif	L0 (%) (Effectif)	L1 (%) (Effectif)	L2 (%) (Effectif)
Sm0	0	0	65	83,1 (54)	13,8 (9)	3,1 (2)
Sm0	0	1	128	76,6 (98)	20,3 (26)	3,1 (4)
Sm1	0	2	39	41,0 (16)	53,8 (21)	5,1 (2)
Sm1	1	0	1	0,0 (0)	100,0 (1)	0,0 (0)
Sm1	1	1	7	14,3 (1)	42,9 (3)	42,9 (3)
Sm2	0	3	47	8,5 (4)	25,5 (12)	66,0 (31)
Sm2	1	2	0	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)
Sm2	1	3	9	11,1 (1)	0,0 (0)	88,9 (8)

La combinaison dos plat (0) et légère anomalie des aplomb (1) constituait 73,2 % des faux négatifs (30/41). Elle a abouti à des faux négatifs dans 23,4 % des cas (30/128).

La combinaison dos plat (0) et rotation interne des jarrets (2) constituait 72,7 % des faux positifs (16/22). Elle a abouti à des faux positifs dans 41,0 % des cas (16/39).

3.11 Bilan : comparaison des scores statiques avec le score de locomotion

Les fréquences des boiteries observées pour chaque grille d'observation et les sensibilités, spécificités, VPP et VPN des deux scores statiques en prenant le score en locomotion comme référence sont présentées dans le Tableau XXXVII.

Tableau XXXVII : Fréquences des boiteries observées pour chaque grille d'évaluation et sensibilités, spécificités, VPP et VPN des deux scores statiques en prenant le score en locomotion comme référence

Grilles	Fréquence des boiteries (IC à 95 %)	Sensibilité (IC à 95 %)	Spécificité (IC à 95 %)	VPP (IC à 95 %)	VPN (IC à 95 %)	Kendall (IC à 95 %)
Score en locomotion de Welfare Quality	41,2 (35,6-47,1)	Grille de référence	Grille de référence	Grille de référence	Grille de référence	Grille de référence
Grille statique de Poulain	21,6 (17,1-26,8)	0,48 (0,38-0,57)	0,97 (0,93-0,99)	0,91 (0,81-0,96)	0,72 (0,66-0,78)	0,60 (0,55-0,66)
Grille statique modifiée	34,8 (29,4-40,5)	0,66 (0,57-0,75)	0,87 (0,81-0,92)	0,79 (0,69-0,86)	0,79 (0,72-0,84)	0,61 (0,55-0,66)

La fréquence des boiteries obtenue selon le score statique de Poulain (p-value < 0,001) et selon le score statique modifié (p-value = 0,02) étaient significativement inférieures à la fréquence de boiterie obtenue selon la grille de référence en locomotion. La fréquence des boiteries obtenue selon le score statique modifié était plus élevée que celle obtenue selon le score de Poulain. Elle était donc plus proche de celle obtenue par notre méthode de référence. La grille modifiée avait une sensibilité significativement plus élevée et une spécificité significativement moins élevée que celles de la grille de Poulain. En revanche, aucune différence significative n'a été observée pour les VPP, VPN et coefficient de corrélation de Kendall des deux grilles statiques.

4 Discussion

Le premier objectif de notre étude était de savoir si la grille statique d'évaluation des boiteries de Poulain développée en race Prim Holstein était utilisable pour détecter les boiteries des vaches de race Montbéliarde. Nous avons fait l'hypothèse que les critères de postures utilisés chez les vaches Prim Holstein (ligne de dos et aplombs des postérieurs) ne seraient pas assez performants (en termes de sensibilité et spécificité) pour détecter en statique les boiteries chez les vaches de race Montbéliarde. Nous avons montré que cette grille statique sous-estimait de manière significative la fréquence des boiteries au sein de notre population d'étude (296 vaches montbéliardes) par rapport à la grille en locomotion (méthode de référence) (21,6 % de fréquence de boiterie selon la grille statique de Poulain contre 41,2 % selon la grille de référence, p -value < 0,001). La sensibilité de la grille de Poulain dans le cas de notre étude était faible (0,48) et sa spécificité très bonne (0,97). Ainsi, compte tenu de la différence importante de fréquence de boiterie et de la faible sensibilité de la grille de Poulain par rapport à la grille de référence, nous pouvons conclure que la grille de Poulain n'est pas utilisable pour détecter les boiteries des vaches de race Montbéliarde.

Le second objectif de notre étude était de savoir si la grille de Poulain était utilisable pour déterminer le niveau de score de boiterie des montbéliardes (ie. non boiteuse, modérément boiteuse ou sévèrement boiteuse). Nous avons montré que les fréquences d'observation des vaches non boiteuses et modérément boiteuses selon la grille statique et selon la grille de référence étaient significativement différentes (p -value < 0,001). En revanche, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les fréquences des vaches sévèrement boiteuses selon la grille statique et selon la grille en locomotion. Aussi, les niveaux de score de boiterie selon la grille de Poulain étaient concordants avec ceux obtenus avec la grille de référence dans 71,3 % des observations (soit 211 cas sur 296, coefficient de Kendall $\tau = 0,60$). La corrélation entre les scores statique et en locomotion était positive et forte. Ainsi, nous pouvons conclure que la grille de Poulain n'est pas un bon outil pour détecter les vaches non boiteuses et modérément boiteuses en race Montbéliarde. En revanche, la grille de Poulain peut être utilisée pour détecter les vaches montbéliardes sévèrement boiteuses.

Enfin, le dernier objectif de notre étude était de modifier la grille de Poulain afin de détecter au mieux les boiteries des vaches montbéliardes (fréquence de boiterie plus proche de la méthode de référence et meilleure sensibilité tout en conservant une spécificité acceptable) et de déterminer au mieux les niveaux de score de boiterie des vaches montbéliardes (fréquence de chaque niveau de score de boiterie plus proche de celle obtenue avec la grille de référence et diminution du nombre de discordances). La combinaison de postures qui présentait la plus grande fréquence de faux négatifs (non boiteux selon la grille de Poulain et boiteux selon la grille de référence) était la combinaison « dos plat et rotation interne des jarrets », qui aboutissait à des faux négatifs dans 59,0 % des cas (23/39). Lors de l'élaboration de notre grille modifiée, nous avons donc décidé d'attribuer à cette combinaison de postures le score statique « modérément boiteux » à la place du score statique « non boiteux ». Malgré ces modifications, cette grille modifiée sous-estimait de manière significative la fréquence des boiteries au sein de notre population d'étude par rapport à notre méthode de référence (34,8 % de fréquence de boiterie selon la grille statique modifiée contre 41,2 % selon la grille de référence, soit $p\text{-value} = 0,02$). Par rapport à la grille de Poulain, la fréquence de boiterie obtenue par la grille statique modifiée était cependant plus proche de celle obtenue par la grille de référence. La sensibilité de la grille modifiée au cours de notre étude était de 0,66 et sa spécificité de 0,87. La grille modifiée présentait donc une meilleure sensibilité que la grille de Poulain dans notre étude, mais une moins bonne spécificité. Concernant la détermination du niveau de score de boiterie, nous avons montré que les fréquences d'observation des vaches non boiteuses et modérément boiteuses selon la grille statique modifiée et selon la grille de référence étaient significativement différentes. Cependant, par rapport à la grille de Poulain, les fréquences obtenues avec le score statique modifié pour ces deux niveaux de score étaient plus proches de celles obtenues avec la méthode de référence. Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les fréquences des vaches sévèrement boiteuses selon chaque méthode d'utilisation. Les niveaux de score de boiterie selon la grille modifiée étaient concordants avec ceux obtenus avec la grille de référence dans 73,0 % des observations (soit 216 cas sur 296, coefficient de corrélation de Kendall $\tau = 0,61$). Le coefficient de corrélation de Kendall n'était pas significativement différent de celui de grille de Poulain dans notre étude. Ainsi, malgré son caractère perfectible, compte tenu de l'absence d'autre grille évaluée en race Montbéliarde, notre grille modifiée pourrait constituer un outil intéressant pour l'évaluation des boiteries à

l'échelle d'un troupeau de vaches montbéliardes. Plus particulièrement, cette grille constitue un meilleur outil que la grille de Poulain pour évaluer les vaches boiteuses dans un troupeau de vaches montbéliardes lors d'un audit de boiterie et pour le suivi des nouveaux cas.

⇒ A propos de nos matériels et méthodes

- Avant l'obtention des données

Le choix de la grille en locomotion de Welfare Quality comme grille de référence a constitué un point fort de notre étude. En effet, contrairement aux grilles fréquemment utilisées à cinq niveaux de boiteries, où les niveaux un et deux d'une part et quatre et cinq d'autre part sont souvent regroupés, l'attribution des niveaux de boiterie était plus aisée (Guatteo et al. 2020). De plus, disposant du même nombre de niveaux de score de boiterie que la grille statique de Poulain à tester, l'étude des concordances, des discordances et de la corrélation entre les deux scores a été plus facile que si nous avions choisi une grille à cinq niveaux de score. Enfin, parmi les grilles à trois niveaux, la grille de Welfare Quality était la plus fréquemment citée dans la littérature (Schlageter-Tello et al. 2014).

Pour limiter les erreurs d'observation, les notations ont été réalisées à la suite de plusieurs mois d'entraînement de l'observateur. Une première partie d'entraînement sur photos et vidéos a permis d'identifier au mieux les modifications de postures à associer à chaque sous-score pour la notation statique. Les vidéos ont aussi permis de visualiser à de nombreuses reprises la même vache pour observer attentivement chaque modification de la démarche. Enfin, les entraînements sur les animaux ont permis d'obtenir la rapidité nécessaire pour observer des vaches marcher à vitesse réelle et ainsi crédibiliser nos mesures.

- Pendant l'obtention des données

Le choix de l'effectif de notre étude semblait avoir été un bon compromis. Même si les études concernant la fréquence des boiteries décrites dans la littérature rapportent régulièrement des effectifs de plusieurs milliers de vaches (Clarkson et al. 1996 ; Bielfeldt et al. 2005 ; Espejo et al. 2006 ; Ji et al. 2021 ; Leach et al. 2010 ; Solano et al. 2015), notre effectif de 296 vaches semblait tout à fait raisonnable au regard de la capacité de travail d'un seul observateur dans un temps limité au sein du cursus vétérinaire.

Lors des notations, nous nous sommes organisés dans le but de réaliser les observations en aveugle. L'utilisation de deux feuilles distinctes pour la notation en statique et en

locomotion a permis de ne pas connaître les résultats de la première méthode de notation afin de ne pas être influencé lors de la deuxième méthode d'observation. De plus, pour la notation statique, seul le sous-score était directement écrit lors de l'observation. L'attribution du score statique était réalisée ultérieurement, lors de la saisie informatique.

Cependant, malgré cette organisation, notre étude n'a pas été réalisée totalement en aveugle. Dans cinq élevages, la notation en statique était réalisée avant la notation en locomotion. Cela permettait de gérer au mieux le temps d'observation des vaches en locomotion en ouvrant les cornadis de manière individuelle au rythme souhaité. Cependant, cette méthode impliquait de revoir les vaches aux cornadis un court instant juste avant de les voir marcher, ce qui pouvait parfois laisser réfléchir au score statique potentiellement attribué auparavant. De plus, cette méthode impliquait d'observer les vaches dans le même ordre pour les deux notations et donc augmentait le risque de voir le score de boiterie en locomotion influencé par les modifications de postures observées précédemment.

A l'inverse, dans un seul élevage, la notation en locomotion a été réalisée en premier à la sortie de la salle de traite. Cette méthode avait l'avantage d'observer ensuite les vaches aux cornadis dans un ordre relativement différent de l'ordre de sortie de salle de traite. Cependant, les vaches de l'ensemble du lot de salle de traite (six dans notre cas) passaient avec une cadence indépendante de notre volonté. Le temps plus court d'observation et la vitesse importante de marche pour aller manger pourraient avoir entraîné des erreurs d'observation. En effet, il est possible de ne pas avoir vu certaines anomalies de démarche. Ces dernières auraient pu être inhibées par la volonté de la vache de se déplacer rapidement malgré la douleur. Dans le cas où le temps de passage ne permettait pas une observation en locomotion de manière correcte et où une seconde observation n'était pas possible, cette vache était retirée de l'étude.

Les conditions d'observations n'ayant pas été équivalentes entre les élevages, les facteurs pouvant influencer l'observation n'ont pas été contrôlés. En effet, dans cinq élevages, les évaluations ont eu lieu le matin après la traite. Dans le dernier élevage, celles-ci ont eu lieu dans l'après-midi, juste avant la traite. Par exemple, les différences de luminosité entre les élevages au moment des notations auraient pu entraîner des erreurs d'observation, notamment dans les élevages où les observations étaient réalisées tôt le matin, avec une faible luminosité.

⇒ A propos des résultats de notre étude

- Concernant les fréquences de boiterie

Les fréquences de boiteries obtenues dans notre étude (fréquence statique de 21,6 %, fréquence statique modifiée de 34,8 % et fréquence en locomotion de 41,2 %) ne peuvent pas être comparées aux prévalences décrites dans la littérature. En effet, aucun de nos élevages n'ayant été choisi au hasard, notre échantillon de la population n'est pas représentatif de l'ensemble de la population de vaches de race Montbéliarde. Cependant, les fréquences de boiteries obtenues avec chacun des trois scores sont cohérentes avec les fréquences observées dans la littérature, pouvant varier de 10 % (Bielfeldt et al. 2005) à 36 % (Leach et al. 2010)).

- Concernant les performances de la grille de Poulain lors de notre étude

La grille de Poulain appliquée aux vaches montbéliardes de notre étude était moins sensible mais plus spécifique que lors de son application sur les vaches prim holstein au cours de l'étude de Poulain 2018 (Se = 0,48 lors de notre étude contre 0,75 lors de l'étude de Poulain et Sp = 0,97 lors de notre étude contre 0,89 lors de l'étude de Poulain (2018)).

La grille de Poulain a présenté de moins bonnes performances pour déterminer le niveau de score de boiterie lors de notre étude sur des montbéliardes que lors de l'étude de Poulain sur des prim holstein.

La combinaison de postures « dos plat et rotation interne des jarrets » était la seule combinaison de postures pour laquelle le score en locomotion concordant n'était pas le score en locomotion le plus fréquemment obtenu. En effet, les vaches présentant la modification de postures « dos plat et rotation interne des jarrets » obtenaient plus fréquemment un score en locomotion « modérément boiteuse » qu'un score en locomotion « non boiteuse ». Cette combinaison de postures aboutissant à un score statique « non boiteuse », la majorité des vaches ayant cette combinaison étaient alors des faux négatifs. Cette observation peut s'expliquer par la faible sensibilité du dos courbé en race Montbéliarde dans notre étude (Se = 0,12). En effet, en prenant l'exemple d'un même cas de boiterie (et donc d'un même score en locomotion) où une Prim Holstein serait observée avec un dos courbé et une rotation interne des jarrets en statique et serait donc classée parmi les vaches sévèrement boiteuses selon la grille de Poulain, une Montbéliarde pourrait être observée en statique avec une

rotation interne des jarrets et un dos plat et serait faussement notée non boiteuse. Selon l'arbre de décision de la grille statique de Poulain, en absence de dos courbé, la modification de posture « suppression d'appui » devenait alors nécessaire pour considérer une vache comme boiteuse. Or, la modification de posture « suppression d'appui » n'a elle-même qu'une sensibilité moyenne ($Se = 0,42$). Ainsi, pour améliorer la sensibilité de la grille statique et diminuer le nombre de faux négatifs, il était intéressant de revoir le score statique attribué à cette combinaison de postures pour obtenir un niveau de boiterie « modérément boiteuse » au lieu de « non boiteuse ».

- Concernant les performances de la grille modifiée lors de notre étude

Il est difficile de comparer la performance de cette grille avec la littérature puisque, à notre connaissance, il n'existe aucune étude similaire sur les vaches montbéliardes qui prendrait comme référence la grille en locomotion de Welfare Quality. Par rapport à la grille de Poulain lors de notre étude, la grille modifiée obtient une meilleure sensibilité ($Se = 0,66$ contre $0,48$ pour la grille de Poulain dans notre étude), mais une moins bonne spécificité ($Sp = 0,87$ pour la grille modifiée contre $0,97$ pour la grille de Poulain dans notre étude) et un coefficient de Kendall non significativement différent ($\tau = 0,61$ contre $0,60$). Ainsi, après l'élaboration d'une grille modifiée, celle-ci a présenté des performances plus intéressantes que la grille de Poulain en race Montbéliarde. Cependant, les performances de la grille modifiée ne sont pas optimales pour détecter des boiteries et déterminer leur niveau en race Montbéliarde. Plusieurs explications peuvent être mises en avant pour expliquer ce constat :

Une première explication serait la faible sensibilité de la modification de posture « dos courbé » en race Montbéliarde ($Se = 0,12$ avec IC à 95 % = $(0,07-0,19)$). Cette sensibilité est à opposer à la forte sensibilité de la modification de posture « dos courbé » en race Prim'Holstein ($Se = 0,75$ avec IC à 95 % = $(0,68-0,82)$) (Poulain 2018). La modification de posture dos courbé serait un signe de douleur chez les vaches prim holstein (Ledoux et al. 2023). Le dos courbé serait associé aux boiteries et la force de l'association « dos courbé » et niveau de score de locomotion élevé ne dépendrait pas de la race (Hoffman et al. 2014). Cependant, ces études ont été réalisées uniquement sur des vaches de race Prim Holstein, Jersiaise et des vaches croisées, mais pas sur des vaches de race Montbéliarde. Ainsi, à notre connaissance, aucune explication concernant la faible sensibilité du dos courbé en race Montbéliarde n'est décrite dans la littérature. Nous pouvons émettre l'hypothèse que la

montbéliarde n'exprime pas la douleur liée aux boiteries de la même manière que les prim holstein. Leur différence morphologique pourrait être une explication (finesse du squelette, développement musculaire et NEC). Cette hypothèse pourrait être sujette à des approfondissements.

Une seconde explication serait les erreurs d'évaluations. Les discordances entre des vaches non boiteuses en statique ou statique modifié et sévèrement boiteuses en locomotion, soit huit cas sur 296 selon le score statique et six cas selon le score statique modifié, peuvent s'expliquer, en partie, par une suppression d'appui absente au moment de l'observation ou une erreur de l'observateur qui n'aurait pas vu cette suppression d'appui. Les discordances entre des vaches sévèrement boiteuses en statique ou en statique modifié et non boiteuses en locomotion, soit cinq cas, peuvent s'expliquer soit par une erreur d'appréciation de suppression d'appui, soit par une vache stressée au moment de l'observation en locomotion.

- Concernant l'utilisation chez les vaches montbéliardes de la grille statique modifiée

Ainsi la grille statique modifiée correspond à un compromis réalisé pour améliorer la sensibilité de la grille de Poulain en race Montbéliarde tout en gardant une spécificité acceptable. Cette grille modifiée peut être utilisée dans le cadre de la médecine de troupeau lors d'un suivi de boiteries dans un élevage de montbéliardes, afin de réaliser un diagnostic épidémiologique. Plus particulièrement, cette grille constitue un meilleur outil que la grille de Poulain pour évaluer les vaches boiteuses dans un troupeau de vaches montbéliardes lors d'un audit de boiterie et pour le suivi des nouveaux cas. Par exemple, cette grille pourra être utilisée pour calculer l'incidence des boiteries (qui doit être inférieure à 1 à 5 % chaque mois) ou le taux de rechute (qui doit être inférieur à 25 % dans les six mois) lors d'un suivi de boiterie dans un troupeau en race Montbéliarde (Herman 2020). Enfin, à notre connaissance, cet outil constitue la seule grille statique étudiée pour la race Montbéliarde.

CONCLUSION

Le premier objectif de notre étude était de savoir si la grille d'évaluation statique des boiteries de Poulain (Poulain 2018) pouvait être utilisée pour détecter les boiteries chez les montbéliardes. Le second objectif de notre étude était de savoir si cette même grille permettait de déterminer le niveau de score de boiteries chez les montbéliardes. Enfin, si au moins un des deux premiers objectifs mettait en évidence que cette grille n'était pas utilisable chez les montbéliardes, alors notre troisième objectif était de modifier cette grille afin d'améliorer son utilisation en race Montbéliarde.

La grille statique de Poulain développée pour les vaches Prim Holstein ne constitue pas un outil très performant pour détecter les boiteries ou déterminer le niveau de score de boiterie au sein d'un troupeau de montbéliardes, à l'exception des vaches sévèrement boiteuses. En effet, nous avons montré que la grille de Poulain sous-estimait la fréquence des boiteries au sein de notre population d'étude par rapport à notre méthode de référence (grille de Welfare Quality®). Malgré une spécificité excellente, la sensibilité de la grille de Poulain au cours de notre étude était faible. Ce défaut de performance pourrait être expliqué par des différences morphologiques (format, développement musculaire, NEC, ...) entre les vaches de race Prim Holstein et Montbéliarde. La combinaison de postures qui présentait la plus grande fréquence de faux négatifs (non boiteux selon la grille de Poulain et boiteux selon la grille de référence) était la combinaison « dos plat et rotation interne des jarrets ». A partir de ces résultats, nous avons modifié la grille statique de Poulain en attribuant à cette combinaison de postures « dos plat et rotation interne des jarrets », un score statique modifié « modérément boiteuse » à la place du score statique « non boiteuse ». Nous avons montré que cette grille modifiée sous-estimait aussi la fréquence des boiteries au sein de notre population d'étude par rapport à notre méthode de référence, mais dans une moindre mesure que la grille de Poulain. La sensibilité de la grille modifiée était plus élevée que celle de la grille de Poulain, mais sa spécificité était plus faible.

Bien que perfectible, la grille modifiée constitue, à notre connaissance, le seul outil d'évaluation statique des boiteries développé en race Montbéliarde. Compte tenu de la forte prévalence des boiteries et de leur impact zootechnique, économique et sur le bien-être animal, cette grille modifiée peut être utilisée dans le cadre de la médecine de troupeau lors d'un suivi de boiteries dans un élevage de montbéliardes. Plus particulièrement, cette grille présentant une meilleure sensibilité que la grille de Poulain, elle constitue un meilleur outil pour évaluer les vaches boiteuses dans un troupeau de vaches montbéliardes lors d'un audit de boiterie et pour le suivi des nouveaux cas.

BIBLIOGRAPHIE

- ALSAOOD, M., FADUL, M. et STEINER, A., 2019. Automatic lameness detection in cattle. The Veterinary Journal. Vol. 246, pp. 35-44. DOI 10.1016/j.tvjl.2019.01.005
- ANTOINE, E., 2020. Reproductibilité et répétabilité des grilles d'observation des bovins laitiers : exemple d'une grille d'observation statique des boiteries. Thèse de doctorat vétérinaire, Université Claude-Bernard - Lyon I , 122 pages
- BALANDRAUD, N., MOSNIER, C., DELABY, L., DUBIEF, F., GORON, J.P., MARTIN, B., POMIÈS, D. et CASSARD, A., 2018. Holstein ou Montbéliarde : des différences phénotypiques aux conséquences économiques à l'échelle de l'exploitation. INRA Prod. Anim., 31, 337-352. DOI 10.20870/productions-animales.2018.31.4.239
- BAREILLE, N. et ROUSSEL, P., 2014. Guide d'intervention pour la maîtrise des boiteries en troupeaux de vaches laitières. UMT Maitrise de la Santé des troupeaux bovins. 2e édition. 177 pages.
- BARKEMA, H.W., WESTRIK, J.D., VAN KEULEN, K.A.S., SCHUKKEN, Y.H. et BRAND, A., 1994. The effects of lameness on reproductive performance, milk production and culling in Dutch dairy farms. Preventive Veterinary Medicine. Vol. 20, n° 4, pp. 249-259. DOI 10.1016/0167-5877(94)90058-2.
- BARKER, Z.E., LEACH, K.A., WHAY H.R. et BELL, N.J., 2010. Assessment of lameness prevalence and associated risk factors in dairy herds in England and Wales. Journal of dairy science. Vol. 93, n° 3, pp. 932 -941. DOI 10.3168/jds.2009-2309
- BICALHO, R. C., MACHADO, V. S. et CAIXETA, L. S., 2009. Lameness in dairy cattle: A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of lameness prevalence and thickness of the digital cushion. Journal of Dairy Science. Vol. 92, n° 7, pp. 3175-3184. DOI 10.3168/jds.2008-1827.
- BIELFELDT, J.C., BADERTSCHER, R., TÖLLE, K.H. et KRIETER, J., 2005. Risk factors influencing lameness and claw disorders in dairy cows. Livestock Production Science. Vol. 95, n° 3, pp. 265-271. DOI 10.1016/j.livprodsci.2004.12.005.
- BOOTH, C. J., WARNICK, L. D., GRÖHN, Y. T., MAIZON, D. O., GUARD, C. L. et JANSSEN, D., 2004. Effect of Lameness on Culling in Dairy Cows. Journal of Dairy Science. Vol. 87, n° 12, pp. 4115-4122. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(04)73554-7.
- BOUSSIÈRE, S., CARLIER, M., et LELYON, B., 2013. Le croisement viande en élevage laitier : état des lieux des pratiques et perspectives. Institut de l'élevage.
- BULAGRELLI-JIMENEZ, G., DERKS, K., VAN AMERONGE J., et COLL, A., 1996. A hind feet position scoring system to monitor subclinical lameness in Dutch Holstein Friesian cows. The 9th International Symposium on disorders of ruminants digit and the international conference on Lameness in cattle. Jerusalem. Israël.
- CHA, E., HERTL, J. A., BAR, D. et GRÖHN, Y.T., 2010. The cost of different types of lameness in dairy cows calculated by dynamic programming. Preventive Veterinary Medicine. Vol. 97, n° 1, pp. 1-8. DOI 10.1016/j.prevetmed.2010.07.011.

- CHANNON, A.J., WALKER, A.M., PFAU, T. et SHELDON, M., 2009. Variability of Manson and Leaver locomotion scores assigned to dairy cows by different observers. *Veterinary Record - Wiley Online Library*. Vol. 164, n° 13, pp. 388-393. DOI : 10.1136/vr.164.13.388.
- CHARFEDDINE, N. et PEREZ-CABAL, A., 2017. Effect of claw disorders on milk production, fertility, and longevity, and their economic impact in Spanish Holstein cows | Elsevier Enhanced Reader. DOI 10.3168/jds.2016-11434
- CLARKSON, M. J., DOWNHAM, D. Y., FAULL, W. B., HUGHES, J. W., MANSON, F. J., MERRITT, J. B., MURRAY, R. D., RUSSELL, W. B., SUTHERST, J. E. et WARD, W. R., 1996. Incidence and prevalence of lameness in dairy cattle. *Veterinary Record*. Vol. 138, n° 23, pp. 563-567. DOI 10.1136/vr.138.23.563.
- COLLICK, D. W., WARD, W. R. et DOBSON, H., 1989. Associations between types of lameness and fertility. *The Veterinary record*. Vol. 125, n° 5, pp. 103-6. DOI 10.1136/vr.125.5.103.
- DAHL-PEDERSEN, K., FOLDAGER, L., HERSKIN, M.S., HOUE, H. et THOMSEN, P-T., 2018. Lameness scoring and assessment of fitness for transport in dairy cows: Agreement among and between farmers, veterinarians, and livestock drivers. *Research in Veterinary Science*. Vol. 119, pp. 162-166. DOI 10.1016/j.rvsc.2018.06.017.
- DELACROIX, M. et GERVAIS, F., 10 avril 2023. Origine des boiteries. Boiteries des bovins. <http://boiteries-des-bovins.fr/origine-des-boiteries>
- DELACROIX, M., GERVAIS, F. et PRODHOMME, J., 10 avril 2023. Reconnaître une vache boiteuse en statique. Boiteries des bovins. <http://boiteries-des-bovins.fr/reconnaitre-une-vache-boiteuse-en-statique>
- DE MOL, R.M., ANDRÉ, G., BLEUMER, E.J.B., VAN DER WERF, J.T.N., DE HAAS, Y. et VAN REENEN, C-G., 2013. Applicability of day-to-day variation in behavior for the automated detection of lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. Vol. 96, n° 6, pp. 3703-3712. DOI 10.3168/jds.2012-6305.
- DENIS, B. et AVON, L., 2010. Races bovines : Histoire, aptitudes , situation actuelle. Editions Castor et Pollux, 319 pages
- DIPPEL, S., DOLEZAL, M., BRENNINKMEYER, C., BRINKMANN, J., MARCH, S., KNIERIM, U. et WINCKLER, C., 2009. Risk factors for lameness in freestall-housed dairy cows across two breeds, farming systems, and countries. *Journal of Dairy Science*. Vol. 92, n° 11, pp. 5476-5486. DOI 10.3168/jds.2009-2288.
- DOLECHECK, K.A., OVERTON, M.W., MARK, T.B. et BEWLEY, J.M., 2019. 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. *Journal of Dairy Science*. Vol. 102, n° 1, pp. 715-730. DOI 10.3168/jds.2018-14901.
- ENTING, H., KOOIJ, D., DIJKHUIZEN, A.A. et HUIJME, R.B.M., 1997. Economic losses due to clinical lameness in dairy cattle. *Livestock Production Science*. Vol 49, pp. 259-267. DOI : 10.1016/S0301-6226(97)00051-1
- ESPEJO, L. A., ENDRES, M. I. et SALFER, J. A., 2006. Prevalence of Lameness in High-Producing Holstein Cows Housed in Freestall Barns in Minnesota. *Journal of Dairy Science*. Vol. 89, n° 8, pp. 3052-3058. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(06)72579-6.

FARM ANIMAL WELFARE COUNCIL, 1993. Farm Animal Welfare Council. Report on priorities for animal welfare, research and development.

FLOWER, F. C., SANDERSON, D. J. et WEARY, D. M., 2005. Hoof Pathologies Influence Kinematic Measures of Dairy Cow Gait. *Journal of Dairy Science*. Vol. 88, n° 9, pp. 3166-3173. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(05)73000-9.

FORKMAN, B., KEELING, L., 2009. Assessment of animal welfare measures for dairy cattle, beef bulls and veal calves. *Welfare Quality Reports n°11*. ISBN : 1-902647-81-5

FRANCE GÉNÉTIQUE ELEVAGE, 15 mai 2023. France génétique Elevage - Les index des races bovines laitières. Disponible à l'adresse : http://fr.france-genetique-elevage.org/Les-index-des-races-bovines.html/outil_sommaire_3

GOMEZ, A. et COOK, N. B., 2010. Time budgets of lactating dairy cattle in commercial freestall herds. *Journal of Dairy Science*. Vol. 93, n° 12, pp. 5772-5781. DOI 10.3168/jds.2010-3436.

GRANT, R., 2011. Current concepts in time budgeting for dairy cattle. In: Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop, Grantville, Unites States.

GREEN, L.E., HEDGES, V.J., SCHUKKEN, Y.H., BLOWEY, R.W. et PACKINGTON, A. J., 2002. The impact of clinical lameness on the milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. Vol. 85, n° 9, pp. 2250-2256. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(02)74304-X.

GRIFFIN, D., PERINO, L. et HUDSON, D., 2006. Feedlot Lameness. *American Association of Bovine Practitioners Conference Proceedings*. pp. 112-114. University of Nebraska, Lincoln, United States. DOI 10.21423/aabppro20064688.

GUARD, C., 2006. Quantification and the Associated Costs of Lameness on Today's Dairies. Édition Frontier Printers. DOI 10.21423/aabppro20064695

GUATTEO, R., DOUART, A. et RELUN, A., 2020. Abord sémiologique des boiteries chez les bovins. *Le nouveau praticien vétérinaire*. Hors-série, pp. 6-16.

HARRIS, D., HIBBURT, C., ANDERSON, G., YOUNIS, P., FITSPATRICK, D., DUNN, A., PARSONS, I. et MCBEATH, N., 1988. The incidence, cost and factors associated with foot lameness in dairy cattle in south-western Victoria. *Australian Veterinary Journal*. Vol. 65, n° 6, pp. 171-176. DOI 10.1111/j.1751-0813.1988.tb14294.x.

HENDRICK, S. et ABEYSEKARA, S., 2014. The epidemiology and treatment costs of lameness in Western Canadian feedlot cattle. *University of Saskatchewan, Canada*.

HERMAN, N., 2020. Abord des affections podales à l'échelle du troupeau : l'audit boiterie. *Le nouveau praticien vétérinaire*. Hors-série, pp. 57-64.

HERNANDEZ, J., SHEARER, J.K. et WEBB, D.W., 2001. Effect of lameness on the calving-to-conception interval in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. Vol. 218, n° 10, pp. 1611-1614. DOI 10.2460/javma.2001.218.1611.

HOFFMAN, A.C., MOORE, D.A., VANEGAS, J. et WENZ, J.R., 2014. Association of abnormal hind-limb postures and back arch with gait abnormality in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. Vol. 97, n° 4, pp. 2178-2185. DOI 10.3168/jds.2013-7528.

HOFFMAN A.C., MOORE, D.A, WENZ, J.R et VANEGAS, J., 2013. Comparison of modeled sampling strategies for estimation of dairy herd lameness prevalence and cow-level variables associated with lameness. *Journal of dairy science*. DOI 10.3168/jds.2013-6891

HUT, P.R., HOSTENS, M.M., BEIJAARD, M. J., VAN EERDENBURG, F.J.C.M., HULSEN, J.H.J.L., HOOIJER, G.A., STASSEN, E.N. et NIELEN, M., 2021. Associations between body condition score, locomotion score, and sensor-based time budgets of dairy cattle during the dry period and early lactation. *Journal of Dairy Science*. Vol. 104, n° 4, pp. 4746-4763. DOI 10.3168/jds.2020-19200.

Idele, 2022(a), Résultats de contrôle laitier des espèces bovine, caprine et ovine - France 2021 - https://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2Fddf9255f-adc6-47c3-8c78-5d9f38861974&cHash=b3f88e2c88a1a97734ed540e37031820

Idele, 2022(b), Chiffre clés du GEB : bovins 2021 : productions lait et viande. <https://www.grands-troupeaux-mag.fr/wp-content/uploads/2021/10/Chiffres-cles-bovins-2021.pdf>

Ide

le, 2022(c). Changement de base de l'indexation.

https://idele.fr/fileadmin/user_upload/Note_IBL_2022-09_ISU_MON22.pdf

IDELE, 2022(d). Statistiques générales de l'inséminations sur femelles laitières Campagne IA 2020-2021. Institut de l'Élevage 7 septembre 2022. <https://idele.fr/detail-article/statistiques-generales-de-linseminations-sur-femelles-laitieres-campagne-ia-2020-2021>

INAO, Appellation d'origine protégée/contrôlée (AOP/AOC). 1 mai 2023

Disponible à l'adresse : <https://www.inao.gouv.fr/Les-signes-officiels-de-la-qualite-et-de-l-origine-SIQO/Appellation-d-origine-protgee-controlee-AOP-AOC>

ITO, K., VON KEYSERLINGK, M.A., LEBLANC, S.J. et WEARY, D.M., 2010. Lying behavior as an indicator of lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. Vol. 93, n° 8, pp. 3553-3560. DOI 10.3168/jds.2009-2951.

JI, K.J., BOOTH, R.E. et BLACKIE, N.A, 2021. A Retrospective Case Study into the Effect of Hoof Lesions on the Lying Behaviour of Holstein–Friesian in a Loose-Housed System. *Animals*. Vol. 11, n° 4, pp. 1120. DOI 10.3390/ani11041120.

KAMPHUIS, C., FRANK, E., BURKE, J.K., VERKERK, G.A. et JAGO, J.G., 2013. Applying additive logistic regression to data derived from sensors monitoring behavioral and physiological characteristics of dairy cows to detect lameness. *Journal of Dairy Science*. Vol. 96, n° 11, pp. 7043-7053. DOI 10.3168/jds.2013-6993.

KOSSAIBATI, M.A et ESSLEMONT R.J, 1997. The Costs of Production Diseases in Dairy Herds in England. *The veterinary journal*. Vol 154, pp. 41-51. DOI 10.1016/S1090-0233(05)80007-3

LE MEZEC, P., BARBAT-LETERRIER, A., CREMOUX, R., et GION, A., 2014. Evolution de la fertilité et impact de la FCO sur la reproduction du cheptel laitier français. Institut de l'élevage

LEACH, K.A., DIPPEL, S., HUBER, J., MARCH, S., Winckler, C. et Whay, H.R., 2009. Assessing lameness in cows kept in tie-stalls - ScienceDirect. Journal of dairy science, Vol 92, n° 4, pp. 1567-1574. DOI: 10.3168/jds.2008-1648

LEACH, K.A. et WHAY, H.R., 2009. The Welfare Quality Lameness Control programme for Dairy Cattle. Welfare Quality Reports n°14, ISBN 1-902647-98-X

LEACH, K.A., WHAY, H.R., MAGGS, C.M., BARKER, Z.E., PAUL, E.S., BELL, A.K. et MAIN, D.C.J., 2010. Working towards a reduction in cattle lameness: Understanding barriers to lameness control on dairy farms. Research in Veterinary Science. Vol. 89, n° 2, pp. 311-317. DOI 10.1016/j.rvsc.2010.02.014.

LEACH, K.A., DIPPEL, S., HUBER, J., MARCH, S., WINCKLER, C. et WHAY, H.R., 2009. Assessing lameness in cows kept in tie-stalls. Journal of Dairy Science. Vol. 92, n° 4, pp. 1567-1574. DOI 10.3168/jds.2008-1648.

LEDOUX, D., VEISSIER, I., MEUNIER, B., GELIN, V., RICHARD, C., KIEFER, H., JAMMES, H., FOUCRAS, G. et DE BOYER DES ROCHES, A., 2023. Combining accelerometers and direct visual observations to detect sickness and pain in cows of different ages submitted to systemic inflammation. *Scientific Reports*. Vol. 13, n° 1, pp. 1977. DOI 10.1038/s41598-023-27884-x.

LIANG, D., ARNOLD, L. M., STOWE, C. J., HARMON, R. J. et BEWLEY, J. M., 2017. Estimating US dairy clinical disease costs with a stochastic simulation model. Journal of Dairy Science. Vol. 100, n° 2, pp. 1472-1486. DOI 10.3168/jds.2016-11565.

LIU, J., DYER, R.M., NEERCHAL, N.K., TASCH, U. et RAJKONDAWAR, P.G., 2011. Diversity in the magnitude of hind limb unloading occurs with similar forms of lameness in dairy cows. Journal of Dairy Research. Vol. 78, n° 2, pp. 168-177. DOI 10.1017/S0022029911000057.

MAERTENS, W., VANGEYTE, J., BAERT, J., JANTUAN, A., MERTENS, K.C., DE CAMPENEERE, S., PLUK, A., OPSOMER, G., VAN WEYENBERG, S. et VAN NUFFEL, A., 2011. Development of a real time cow gait tracking and analysing tool to assess lameness using a pressure sensitive walkway: The GAITWISE system. Biosystems Engineering. Vol. 110, n° 1, pp. 29-39. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2011.06.003.

MAIN, D.C.J., BARKER, Z.E., LEACH, K.A., et BELL, N.J., Whay H.R. et Browne, W.J., 2010. Sampling strategies for monitoring lameness in dairy cattle. Journal of dairy science, Vol. 93, n° 5, pp. 1970-1978. DOI 10.3168/jds.2009-2500

MARCH, S., BRINKMANN, J. et WINKLER, C., 2007. Effect of training on the inter-observer reliability of lameness scoring in dairy cattle. Animal Welfare. Vol. 16, n° 2, pp. 131-133. DOI 10.1017/S096272860003116X.

MELLENDEZ, P., BARTOLOME, J., ARCHBALD, L.F. et DONOVAN, A., 2003. The association between lameness, ovarian cysts and fertility in lactating dairy cows. Theriogenology. Vol. 59, n° 3-4, pp. 927-937. DOI 10.1016/S0093-691X(02)01152-4.

MORRIS, M. J., WALKER, S. L., JONES, D. N., ROUTLY, J. E., SMITH, R. F. et DOBSON, H., 2009. Influence of somatic cell count, body condition and lameness on follicular growth and ovulation in dairy cows. Theriogenology. Vol. 71, n° 5, pp. 801-806. DOI 10.1016/j.theriogenology.2008.10.001.

O'CALLAGHAN, K. A., CRIPPS, P. J., DOWNHAM, D. Y. et MURRAY, R. D., 2003. Subjective and Objective Assessment of Pain and Discomfort Due to Lameness in Dairy Cattle. Animal Welfare. Vol. 12, n° 4, pp. 605-610. DOI 10.1017/S0962728600026257.

PALACIO, S., PEIGNIER, L., PACHOUD, C., NASH, C., ADAM, S., BERGERON, R., PELLERIN, D., DE PASSILLÉ, A. M., RUSHEN, J., HALEY, D., DEVRIES, T. J. et VASSEUR, E., 2017. Technical note: Assessing lameness in tie-stalls using live stall lameness scoring. *Journal of Dairy Science*. Vol. 100, n° 8, pp. 6577-6582. DOI 10.3168/jds.2016-12171.

POULAIN, V., 2018. Etude de la corrélation entre deux méthodes d'évaluation des boiteries chez les vaches laitières. . Thèse de doctorat vétérinaire, Université Claude-Bernard - Lyon I , 128 pages

POULAIN, V. et LEDOUX, D., 2020. L'évaluation automatique des boiteries chez les vaches laitières. *Le nouveau praticien vétérinaire*. Hors-série, pp. 78-84

PRIM'HOLSTEIN FRANCE, 2 mai 2023. Formule officielle ISU 2021 | Prim'Holstein France. <https://primholstein.com/2020/formule-officielle-isu-2021>

R CORE TEAM, 10 avril 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>

RABOISSON, D., FERCHIOU, A. et LHERMIE, G., 2020. Approche économique pratique de la gestion des boiteries en élevage. *Le nouveau praticien vétérinaire*. Hors-série, pp. 65-70

RELUN, A., DUVAUCHELLE WACHÉ, A. et GUATTEO, R., 2020. Boiterie d'origine podale chez les jeunes bovins en engraissement. *Le nouveau praticien vétérinaire*. Hors-série, pp. 44-48

ROBCIS, R., FERCHIOU, A., BERRAD, M., NDIAYE, Y., Hermann, N., LHERMIE, G., et RABOISSON, D., 2023. Cost of lameness in dairy herds: An integrated bioeconomic modeling approach. *Journal of dairy science*, Tome 106, numéro 4, pp, 2519-2534. DOI 10.3168/jds.2022-22446

ROUSSEL, P., BAREILLE, N., SERIEYS, F., MICHENOT, B., MONNERIE, C. et SEEGER, H., 2009. Evaluation a priori de la rentabilité des plans de maîtrise des mammites et des boiteries dans les interventions de conseil en exploitations laitières. *Institut de l'élevage*.

SAILLARD, Y., GALMICHE, M. et PLAISANCE, A., 2020. Prévalence des lésions podales et facteurs de risque associés. *Le nouveau praticien vétérinaire*. Hors-série, pp. 29-36

SCHLAGETER-TELLO, A., BOKKERS, E.A.M., KOERKAMP, P.W.G., VAN HERTEM, T., VIAZZI, S., ROMANINI, C.E.B., HALACHMI, I., BAHR, C., BERCKMANS, D. et LOKHORST, K., 2014. Manual and automatic locomotion scoring systems in dairy cows: a review. *Preventive Veterinary Medicine*. Vol. 116, n° 1-2, pp. 12-25. DOI 10.1016/j.prevetmed.2014.06.006.

SHEPLEY, E., BERTHELOT, M. et VASSEUR, E., 2017. Validation of the Ability of a 3D Pedometer to Accurately Determine the Number of Steps Taken by Dairy Cows When Housed in Tie-Stalls. *Agriculture*. Vol. 7, n° 7, pp. 53. DOI 10.3390/agriculture7070053.

SOGSTAD, A.M., FJELDAAS, T., ØSTERÅS, O. et FORSHELL, K.P, 2005. Prevalence of claw lesions in Norwegian dairy cattle housed in tie stalls and free stalls. *Preventive Veterinary Medicine*. Vol. 70, n° 3, pp. 191-209. DOI 10.1016/j.prevetmed.2005.03.005.

SOLANO, L., BARKEMA, H.W., PAJOR, E.A., MASON, S., LEBLANC, S.J., ZAFFINO HEYERHOFF, J.C., NASH, C.G.R., HALEY, D.B., VASSEUR, E., PELLERIN, D., RUSHEN, J., DE PASSILLÉ, A.M. et ORSEL, K., 2015. Prevalence of lameness and associated risk factors in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns. *Journal of Dairy Science*. Vol. 98, n° 10, pp. 6978-6991. DOI 10.3168/jds.2015-9652.

SPRECHER, D.J., HOSTETLER, D.E. et KANEENE, J.B., 1997. A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. *Theriogenology*. Vol. 47, n° 6, pp. 1179-1187. DOI 10.1016/S0093-691X(97)00098-8.

TUNSTALL, J., WHITE, G.D., HIGGINS, H.M., OULTRAM, J. et MUELLER, K., 2019. Lameness in Beef Cattle-what's going on out there? *Cattle practice*. Vol. 27, pp. 100

VEISSIER, I., MIALON, M.M et SLOTH, K.H, 2017. Short communication: Early modification of the circadian organization of cow activity in relation to disease or estrus. *Journal of Dairy Science*. Vol. 100, n° 5, pp. 3969-3974. DOI 10.3168/jds.2016-11853.

VIAZZI, S., BAHR C. et SCHLAGETER-TELO, A., 2013. Analysis of individual classification of lameness using automatic measurement of back posture in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. Vol. 96, n° 1, pp. 257-266. DOI 10.3168/jds.2012-5806.

WALKER, S.L., SMITH, R.F., ROUTLY, J.E., JONES, D.N., MORRIS, M.J. et DOBSON, H., 2008. Lameness, Activity Time-Budgets, and Estrus Expression in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. Vol. 91, n° 12, pp. 4552-4559. DOI 10.3168/jds.2008-1048.

WALKER, S., SMITH, R., JONES, D., ROUTLY, J., MORRIS, M. et DOBSON, H., 2010. The Effect of a Chronic Stressor, Lameness, on Detailed Sexual Behaviour and Hormonal Profiles in Milk and Plasma of Dairy Cattle. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 45, n° 1, pp. 109-117. DOI 10.1111/j.1439-0531.2008.01263.x.

WELFARE QUALITY, 2009. Welfare Quality assessment protocol for cattle. ISBN : 978-90-78240-04-4

WHAY, H.R. et SHEARER, J.K., 2017. The Impact of Lameness on Welfare of the Dairy Cow. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. Vol. 33, n° 2, pp. 153-164. DOI 10.1016/j.cvfa.2017.02.008.

YUNTA, C., GUASCH, I. et BACH, A., 2012. Short communication: lying behavior of lactating dairy cows is influenced by lameness especially around feeding time. *Journal of Dairy Science*. Vol. 95, n° 11, pp. 6546-6549. DOI 10.3168/jds.2012-5670.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de consentement éclairé destinée aux éleveurs participant à l'étude expérimentale

CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ POUR L'UTILISATION DES DONNÉES CONCERNANT VOS ANIMAUX DANS UNE ETUDE SUR :

Détection des boiteries des vaches de race Montbéliarde à l'aide d'une grille d'évaluation statique développée pour la race Prim Holstein

Je soussigné(e).....

Représentant de l'exploitation agricole

Située à

Accepte que mes bovins participent au travail expérimental de la thèse d'exercice vétérinaire de monsieur Jonathan Curt, étudiant à VetAgro Sup en cursus vétérinaire.

Je confirme que les interventions sur mes bovins m'ont bien été expliquées. Ces dernières ne nécessitent aucune intervention invasive sur les animaux. Seules une contention aux cornadis pour une observation à distance n'excédant pas la durée de 90 minutes pour l'ensemble du troupeau et une période de marche individuelle dans un espace connu de chaque bovin pour une durée maximale d'une minute par bovin seront nécessaires.

J'atteste avoir compris les bénéfices attendus et les risques liés à la mise en œuvre de cette étude ; lesquels m'ont été clairement énoncés

J'autorise les équipes de VetAgro Sup à réaliser une analyse statistique de manière anonyme à l'issue de ces observations dans le cadre cette thèse.

J'ai noté que la participation à l'étude clinique n'occasionne aucun frais supplémentaire à ma charge et qu'elle ne s'accompagne pas non plus d'une rémunération associée.

J'ai été prévenu(e) que j'ai le droit, à tout moment et pour quelque raison que ce soit, de retirer une ou des vaches de mon élevage de l'étude.

En cas de problème, merci de contactez :

- Jonathan CURT
- Dorothee LEDOUX

Fait à :

Le :

Signature du propriétaire ou du détenteur des animaux

Annexe 2 : Capture d'écran du fichier Excel des données de notation statique

	Numéro de la vache	Evaluation en statique					
		Courbure dos	Aspect aplombs	Score statique			
1	C0094	0	0	0			
2	C0099	0	1	0	Dos plat		0
3	C0075	0	1	0	Dos courbé		1
4	C0092	0	1	0	Aplombs : normaux		0
5	C0036	0	3	2	Aplombs : légère anomalie		1
6	C0064	0	2	0	Aplombs : rotation interne jarrets		2
7	C0063	0	0	0	Aplombs : suppression d'appui		3
8	C0157	0	0	0			
9	C0149	0	1	0			
10	C0152	0	1	0			

Annexe 3 : Capture d'écran du fichier Excel des données de notation en locomotion

EVALUTATION EN LOCOMOTION											
	Numéro de la vache	Foulées			Dos/Tête			Appui			Note en locomotion
		Grandes enjambées	Foulées raccourcies	Mouvements asymétriques	Plat / Relevée	Légèrement arrondi / Basse	Arrondi / Mouvements balancier	Egaux aux 4 membres	Présents mais inégaux	Suppression ou forte réticence	
1	C0094	X			X			X			0
2	C0099	X				X		X			0
3	C0075	X			X			X			0
4	C0092	X			X			X			0
5	C0036			X			X			X	2
6	C0064	X			X			X			0
7	C0063	X			X			X			0
8	C0157	X			X			X			0
9	C0149	X			X			X			0
10	C0152	X			X			X			0

Annexe 4 : Capture écran du fichier Excel des scores de boiterie

Effectif	Numéro de la vache	Score statique	Score en locomotion
1	C0094	0	0
2	C0099	0	0
3	C0075	0	0
4	C0092	0	0
5	C0036	2	2
6	C0064	0	0
7	C0063	0	0
8	C0157	0	0
9	C0149	0	0
10	C0152	0	0

Annexe 5 : Script R

```
#repertoire de travail

setwd("C:/Users/jonat/OneDrive/Documents/These")

library(NSM3)

d<-read.table("these grille.txt", header=TRUE)
str(d)
View(d)

# Table de concordance entre statique et dynamique

tconcordance<-table(d$Scorestatique,d$Scoredynamique)
tconcordance

# Table a 2 modalités entre statique et dynamique : comparaison des
fréquences de boiteries

table(d$Scorestatique)
d$boiteusestatique[d$Scorestatique==0]<- "non_boiteux_statique"
d$boiteusestatique[d$Scorestatique==1]<- "boiteux_statique"
d$boiteusestatique[d$Scorestatique==2]<- "boiteux_statique"
d$boiteusestatique<-factor(d$boiteusestatique)
table(d$boiteusestatique)

d$boiteusedynamique[d$Scoredynamique==0]<- "non_boiteux_dynamique"
d$boiteusedynamique[d$Scoredynamique==1]<- "boiteux_dynamique"
d$boiteusedynamique[d$Scoredynamique==2]<- "boiteux_dynamique"
d$boiteusedynamique<-factor(d$boiteusedynamique)
table(d$boiteusedynamique)

tdeuxmodalites<-table(d$boiteusestatique,d$boiteusedynamique)
tdeuxmodalites

# Table a 2 modalités entre statique et dynamique pour comparer les
fréquences des modérément boiteuses

table(d$Scorestatique)
d$moderement_boiteusestatique[d$Scorestatique==0]<-
"non_moderement_boiteux_statique"
d$moderement_boiteusestatique[d$Scorestatique==1]<-
"moderement_boiteux_statique"
d$moderement_boiteusestatique[d$Scorestatique==2]<-
"non_moderement_boiteux_statique"
d$moderement_boiteusestatique<-factor(d$moderement_boiteusestatique)
table(d$moderement_boiteusestatique)

d$moderement_boiteusedynamique[d$Scoredynamique==0]<-
"non_moderement_boiteux_dynamique"
d$moderement_boiteusedynamique[d$Scoredynamique==1]<-
"moderement_boiteux_dynamique"
d$moderement_boiteusedynamique[d$Scoredynamique==2]<-
"non_moderement_boiteux_dynamique"
d$moderement_boiteusedynamique<-factor(d$moderement_boiteusedynamique)
table(d$moderement_boiteusedynamique)

tdeuxmodalites_moderement_boiteuse<-
table(d$moderement_boiteusestatique,d$moderement_boiteusedynamique)
tdeuxmodalites_moderement_boiteuse
```

```

# Table a 2 modalités entre statique et dynamique pour comparer les
fréquences des sévèrement boiteuses

table(d$Scorestatique)
d$severement_boiteusestatique[d$Scorestatique==0]<-
"non_severement_boiteux_statique"
d$severement_boiteusestatique[d$Scorestatique==1]<-
"non_severement_boiteux_statique"
d$severement_boiteusestatique[d$Scorestatique==2]<-
"severement_boiteux_statique"
d$severement_boiteusestatique<-factor(d$severement_boiteusestatique)
table(d$severement_boiteusestatique)

d$severement_boiteusedynamique[d$Scoredynamique==0]<-
"non_severement_boiteux_dynamique"
d$severement_boiteusedynamique[d$Scoredynamique==1]<-
"non_severement_boiteux_dynamique"
d$severement_boiteusedynamique[d$Scoredynamique==2]<-
"severement_boiteux_dynamique"
d$severement_boiteusedynamique<-factor(d$severement_boiteusedynamique)
table(d$severement_boiteusedynamique)

tdeuxmodalites_severement_boiteuse<-
table(d$severement_boiteusestatique,d$severement_boiteusedynamique)
tdeuxmodalites_severement_boiteuse

# Test de McNemar (2 séries d'observation, dépendantes, variables
qualitatives) pour statique et dynamique

mcnemar.test(tdeuxmodalites)
mcnemar.test(tdeuxmodalites_moderement_boiteuse)
mcnemar.test(tdeuxmodalites_severement_boiteuse)

# Coefficient de corrélation entre statique et dynamique et IC

res<-cor.test(d$Scorestatique,d$Scoredynamique, method="kendall")
res
kendall.ci(x=d$Scorestatique,y=d$Scoredynamique,alpha=0.05,type="t",bootstr
ap=F,B=1000,example=F)

# Table de concordance entre statique MODIFIE et dynamique

tconcordancebis<-table(d$Scorestatiquemodif,d$Scoredynamique)
tconcordancebis

# Table a deux modalités entre statique MODIFIE et dynamique

table(d$Scorestatiquemodif)
d$boiteusestatiquemodif[d$Scorestatiquemodif==0]<"non_boiteux_statiquemodif"
d$boiteusestatiquemodif[d$Scorestatiquemodif==1]<- "boiteux_statiquemodif"
d$boiteusestatiquemodif[d$Scorestatiquemodif==2]<- "boiteux_statiquemodif"
d$boiteusestatiquemodif<-factor(d$boiteusestatiquemodif)
table(d$boiteusestatiquemodif)

tdeuxmodalitesbis<-table(d$boiteusestatiquemodif,d$boiteusedynamique)
tdeuxmodalitesbis

```

```
# Table a deux modalités entre statique MODIFIE et dynamique pour comparer
les fréquences des modérément boíteuses
```

```
table(d$Scorestatiquemodif)
d$moderement_boíteusestatiquemodif[d$Scorestatiquemodif==0]<-
"non_moderement_boíteux_statiquemodif"
d$moderement_boíteusestatiquemodif[d$Scorestatiquemodif==1]<-
"moderement_boíteux_statiquemodif"
d$moderement_boíteusestatiquemodif[d$Scorestatiquemodif==2]<-
"non_moderement_boíteux_statiquemodif"
d$moderement_boíteusestatiquemodif<-
factor(d$moderement_boíteusestatiquemodif)
table(d$moderement_boíteusestatiquemodif)
```

```
tdeuxmodalites_moderement_boíteuses_bis<-
table(d$moderement_boíteusestatiquemodif,d$moderement_boíteusedynamique)
tdeuxmodalites_moderement_boíteuses_bis
```

```
# Table a deux modalités entre statique MODIFIE et dynamique pour comparer
les fréquences des sévèrement boíteuses
```

```
table(d$Scorestatiquemodif)
d$severement_boíteusestatiquemodif[d$Scorestatiquemodif==0]<-
"non_severement_boíteux_statiquemodif"
d$severement_boíteusestatiquemodif[d$Scorestatiquemodif==1]<-
"non_severement_boíteux_statiquemodif"
d$severement_boíteusestatiquemodif[d$Scorestatiquemodif==2]<-
"severementt_boíteux_statiquemodif"
d$severement_boíteusestatiquemodif<-
factor(d$severement_boíteusestatiquemodif)
table(d$severement_boíteusestatiquemodif)
```

```
tdeuxmodalites_severement_boíteuses_bis<-
table(d$severement_boíteusestatiquemodif,d$severement_boíteusedynamique)
tdeuxmodalites_severement_boíteuses_bis
```

```
# Test de McNemar ( 2 séries d'observation, dépendantes, variables
qualitatives) pour statique modifié et dynamique
```

```
mcnemar.test(tdeuxmodalitesbis)
mcnemar.test(tdeuxmodalites_moderement_boíteuses_bis)
mcnemar.test(tdeuxmodalites_severement_boíteuses_bis)
```

```
# Coefficient de corrélation entre statique modifié et dynamique
```

```
resbis<-cor.test(d$Scorestatiquemodif,d$Scoredynamique, method="kendall")
resbis
kendall.ci(x=d$Scorestatiquemodif,y=d$Scoredynamique,alpha=0.05,type="t",bo
otstrap=F,B=1000,example=F)
```

```
# Intervalles de confiance divers
```

```
binom.test(103,296,p=0.5,alternative=c("two.sided","less","greater"),conf.l
evel=0.95)
```


DÉTECTION DES BOITERIES DES VACHES DE RACE MONTBÉLIARDE À L'AIDE D'UNE GRILLE D'ÉVALUATION STATIQUE DÉVELOPPÉE POUR LA RACE PRIM HOLSTEIN

CURT Jonathan

Résumé

Les boiteries ont un impact majeur sur le bien-être animal, les performances zootechniques et économiques. Les grilles en locomotion sont un outil fréquemment utilisé pour la détection des boiteries, mais leur utilisation s'avère chronophage. Les systèmes automatiques d'évaluation des boiteries ont un coût élevé et manquent de performance. Les grilles statiques semblent être une alternative intéressante et se basent sur des modifications de postures corrélées à la présence de boiterie en race Prim Holstein, mais non encore étudiées en race Montbéliarde, malgré des différences morphologiques entre ces races. Nos objectifs étaient d'évaluer la capacité de la grille d'évaluation statique de Poulain (2018) développée en race Prim Holstein à détecter les boiteries des vaches montbéliardes, puis d'améliorer ce score. Nous avons montré que la grille de Poulain sous-estimait la fréquence des boiteries par rapport à notre grille de référence (Welfare Quality), (21,6 % contre 41,2 %), qu'elle manquait de sensibilité (0,48) mais qu'elle avait une bonne spécificité (0,97). Son utilisation a abouti à 21,6 % de faux négatifs. Sa corrélation avec le score en locomotion était positive et forte (Kendall (τ) = 0,60). A partir de ces résultats, nous avons élaboré une grille modifiée qui sous-estimait la fréquence des boiteries (34,8 % contre 41,2 % en locomotion) mais dans une moindre mesure que la grille de Poulain. La sensibilité de la grille modifiée (0,66) était plus élevée mais sa spécificité (0,79) était plus faible. L'utilisation de la grille modifiée a abouti à moins de faux négatifs (13,9 % des observations) mais à plus de faux positifs (7,4 % des observations). Sa corrélation avec le score en locomotion n'était pas modifiée. La grille modifiée constitue le seul outil de détection statique des boiteries étudié en race Montbéliarde et serait un outil intéressant pour détecter les vaches boiteuses lors d'un audit et pour le suivi des nouveaux cas chez les montbéliardes.

Mots-clés

Observation, boiterie, grille, vaches laitières

Jury

Président du jury : Pr **SERVIEN Elvire**
1er assesseur : Dr **LEDOUX Dorothee**
2ème assesseur : Pr **ARCANGIOLI Marie-Anne**