



CODE DE PRATIQUES POUR LE SOIN ET LA MANIPULATION DES MOUTONS :



REVUE DE LITTÉRATURE RELATIVE AUX QUESTIONS PRIORITAIRES

Comité scientifique responsable du Code de pratiques des moutons
Août 2026

- | | |
|---|---|
|  Charlotte Winder, D.M.V., D.V.Sc. (vétérinaires)
(Présidente)
Professeure agrégée
Ontario Veterinary College
Université de Guelph |  Fred Baker (d'office)
Président du Comité du Code pour les
moutons
Fédération canadienne du mouton |
|  Michael Cockram, B.M.V., Ph. D.
Professeur (à la retraite)
Atlantic Veterinary College
Université de l'Île-du-Prince-Édouard |  ACER Consulting
Rédaction du rapport scientifique |
|  Cathy Dwyer, Ph. D., FRSB
Professeure
Food Security Challenge Centre
Scotland's Rural College | |



REMERCIEMENTS

Le présent rapport représente un travail considérable qui a bénéficié de l'aide et de l'apport de nombreuses personnes. Le Comité scientifique tient à remercier chaleureusement les personnes suivantes pour la contribution qu'elles ont apportée à ce rapport : Dr Steven Roche et son équipe à ACER Consulting pour leur aide sur l'ensemble du rapport, les évaluateurs et évaluatrices externes pour leurs précieux commentaires, qui ont considérablement amélioré la qualité du rapport, ainsi que Dr Jeff Wichtel de l'Université de Guelph, qui a coordonné l'examen par les pairs et a formulé de précieuses suggestions pour la version définitive du manuscrit.

Ce projet a été financé par le programme Agri-assurance du Partenariat canadien pour une agriculture durable, une initiative fédérale-provinciale-territoriale.

Extrait du mandat du comité scientifique

Contexte

Il est largement admis que les codes, les lignes directrices, les normes ou la législation portant sur le bien-être animal devraient tirer profit des meilleures connaissances disponibles. Ce savoir provient souvent de la littérature scientifique.

En réinstallant le processus d'élaboration des codes de pratiques, le CNSAE a reconnu la nécessité de mettre en place des moyens plus officiels d'intégrer la contribution scientifique au processus d'élaboration des codes de pratiques. L'examen par un comité scientifique des questions de bien-être prioritaires pour l'espèce à l'étude fournit de précieux renseignements au comité du code durant l'élaboration ou la révision d'un code de pratiques. Le fait que le rapport du comité scientifique est accessible au public rehausse la transparence et la crédibilité du code.

Pour chacun des codes de pratiques élaborés ou révisés, le CNSAE nommera un comité de chercheurs et chercheuses. Ce comité comprendra un nombre cible de six scientifiques connaissant les études menées sur les soins et la régie des animaux visés. Le CNSAE sollicitera des candidatures de chacune des organisations suivantes : 1) l'Association canadienne des médecins vétérinaires, 2) la Société canadienne de science animale, 3) le chapitre canadien de la Société internationale d'éthologie appliquée. Un représentant ou une représentante au moins de chacun de ces organismes scientifiques sera nommé·e au comité scientifique. Au besoin, d'autres organisations professionnelles scientifiques pourraient aussi être représentées dans le comité scientifique.

But et objectifs

Le comité scientifique rédigera un rapport synthétisant les résultats des recherches relatives aux principales questions touchant le bien-être animal, qui auront été déterminées par le comité lui-même et le comité d'élaboration du Code de pratiques. Ce dernier se servira du rapport lors de la rédaction du Code de pratiques de l'espèce animale visée. Certaines questions prioritaires peuvent ne pas être abordées par le comité scientifique pour toutes sortes de raisons (par exemple, données de recherche disponibles insuffisantes, existence de protocoles ou d'autres ressources offrant des orientations crédibles). Les questions de bien-être qui ne sont pas abordées par le comité scientifique seront quand même abordées lors de l'élaboration du code.

Notons que le rapport du comité scientifique ne contient pas de recommandations tirées des résultats de recherche. Il vise uniquement à présenter une compilation impartiale des conclusions scientifiques.

Le texte complet du mandat du comité scientifique figure dans le document du CNSAE sur le Processus d'élaboration des codes de pratiques applicables aux soins et à la manipulation des animaux d'élevage, qui peut être consulté à l'adresse suivante : <https://www.nfacc.ca/processus-delaboration-des-codes#annexeC>.

CODE DE PRATIQUES POUR LE SOIN ET LA MANIPULATION DES MOUTONS : REVUE DES ÉTUDES SCIENTIFIQUES RELATIVES AUX QUESTIONS PRIORITAIRES

**Comité scientifique du code de pratiques pour les moutons
Août 2026**

Table des Matières

1 Introduction.....	4
1.1 But et objectifs.....	4
2 Atténuation de la douleur.....	7
2.1 Grands principes et portée.....	7
2.2 États douloureux.....	8
2.2.1 Boiterie.....	8
2.2.2 Mammite.....	13
2.2.3 Maladie infectieuse.....	15
2.2.4 Agnelage.....	16
2.3 Procédures douloureuses.....	19
2.3.1 Castration.....	19
2.3.2 Caudectomie.....	20
2.4 Obstacles à l'adoption des pratiques d'atténuation de la douleur dans les élevages ovins.....	22
2.5 Recherches futures.....	23
2.6 Références.....	24
3 Infection endoparasitaire et ectoparasitaire.....	34
3.1 Implications possibles de la présence de parasites pour le bien-être animal.....	34
3.1.1 Endoparasites.....	35
3.1.2 Ectoparasites.....	36
3.2 Lutte antiparasitaire au moyen de produits chimiques ou de médicaments.....	37
3.2.1 Nématodes gastro-intestinaux (NGI).....	37
3.2.2 Trématodes (douve, par exemple).....	40
3.2.3 Coccidiose.....	40
3.2.4 Cysticercus ovis/Taenia ovis.....	40
3.2.5 Ectoparasites.....	41
3.3 Sélection génétique aux fins de résistance aux parasites.....	41
3.4 Stratégies de gestion du pâturage et espèces fourragères antiparasitaires.....	42
3.4.1 Stratégies de gestion du pâturage.....	42
3.4.2 Effets de la nutrition sur le parasitisme.....	43
3.4.3 Champignons nématophages.....	44
3.4.4 Fourrages bioactifs.....	44
3.5 Recherches futures.....	44
3.6 Références.....	45
4 Soins néonataux.....	52
4.1 Portée.....	52

4.2	Survie de l'agneau	53
4.3	Lien brebis-agneau	54
4.3.1	Hormones stéroïdiennes endogènes	55
4.3.2	Signaux neurologiques	56
4.3.3	Liquide amniotique	56
4.3.4	Neuroendocrinologie	56
4.4	Comportement brebis-agneau	57
4.4.1	Comportement à la mise bas	57
4.4.2	Lien brebis-agneau pendant la lactation	59
4.5	Facteurs influençant l'expression du comportement maternel	59
4.5.1	Parité de la brebis	60
4.5.2	Génétique maternelle	60
4.5.3	Nutrition pendant la gestation	61
4.5.4	Environnement	61
4.5.5	Dystocie	62
4.5.6	Santé de la brebis	62
4.6	Facteurs qui influencent l'expression du comportement de l'agneau	63
4.6.1	Génétique de l'agneau	63
4.6.2	Taille de la portée	63
4.6.3	Sexe de l'agneau	64
4.6.4	Facilité de l'agnelage	64
4.6.5	Effets environnementaux	65
4.6.6	Effets prénataux et épigénétiques	66
4.7	Mise en adoption et élevage artificiel	67
4.8	Sevrage des agneaux	70
4.9	Recherches futures	72
4.10	Références	72
5	Logement et environnement	87
5.1	Principaux aspects du logement en bâtiment clos à considérer	87
5.1.1	Privations sociales et comportementales	88
5.1.2	Comportement alimentaire	90
5.1.3	Effets sur la santé	91
5.1.4	Possibilités d'exercice physique	92
5.1.5	Espace nécessaire à l'alimentation restreint	92
5.1.6	Espace au sol	92
5.1.7	Enrichissement du milieu	94
5.2	Principaux aspects des systèmes extensifs à considérer	95
5.2.1	Cycle de pâturage	95
5.2.2	Qualité et disponibilité de la nourriture	96
5.2.3	Taux de chargement	98
5.2.4	Malnutrition	98
5.2.5	Plantes toxiques	102
5.2.6	Approvisionnement en eau d'abreuvement	102
5.2.7	Sécheresse et catastrophes naturelles	103
5.3	Systèmes de surveillance et d'alerte précoce	104
5.4	Références	106

1 Introduction

1.1 But et objectifs

Le présent rapport examine les questions prioritaires relatives au bien-être animal concernant l'industrie canadienne du mouton. Ses sujets et sa portée ont été déterminés par le comité d'élaboration du Code de pratiques et le comité scientifique au cours d'un processus de priorisation collaboratif. Le processus a tenu compte de la pertinence de chaque question relative au bien-être animal, la disponibilité et la maturité des données probantes scientifiques, la valeur potentielle des synthèses de spécialistes et leur correspondance avec la portée du Code de pratiques, particulièrement sur les questions à la ferme qui relèvent du contrôle des producteurs et productrices. L'objectif était de se concentrer sur les sujets pour lesquels une revue de la littérature structurée appuierait significativement l'élaboration du Code à partir de données probantes.

Le comité scientifique avait pour mandat d'examiner, d'interpréter et de résumer les implications de la littérature scientifique disponible concernant le bien-être des moutons aux fins des questions prioritaires, conformément au processus d'élaboration de Code du Conseil national pour les soins aux animaux d'élevage (CNSAE). Le présent rapport a été préparé pour appuyer le comité d'élaboration du Code de pratiques, dont les membres, dotés d'une vaste expertise technique, pratique et sectorielle, sont chargés d'intégrer les données probantes scientifiques en tenant compte de la faisabilité, de considérations éthiques et des réalités de l'industrie pendant les délibérations sur le Code.

Sur chaque question prioritaire, le rapport présente une synthèse narrative de la littérature examinée par les pairs. Chaque fois que cela était possible, des examens systématiques, des revues exploratoires et des méta-analyses ont servi à extraire des niveaux de preuve plus élevés. Pour de nombreuses questions prioritaires, le corpus de recherche actuel ne contenait toutefois pas suffisamment d'essais cliniques randomisés comparables pour permettre une synthèse quantitative robuste. Dans ces cas, le comité a examiné et synthétisé des études primaires pour déterminer l'état actuel des connaissances, trouver des résultats cohérents et cerner les zones d'incertitude. L'examen systématique du plan des études et du risque de biais ne faisait pas partie de la portée de la revue de littérature, qui s'intéresse aux principaux résultats, aux thèmes récurrents et aux conséquences pratiques concernant le bien-être animal. En synthétisant les meilleures données disponibles, le rapport cherche à appuyer des prises de décisions et des discussions transparentes et fondées sur la science pendant l'élaboration et le perfectionnement du Code de pratiques pour les soins et la manipulation des moutons.

Voici les questions prioritaires abordées dans le rapport.

- **Prise en charge de la douleur**

- Grands principes

- Prévention des états douloureux et des interventions douloureuses et moyens de les éviter, revue factuelle des effets néfastes de l'emploi des

méthodes de prise en charge de la douleur, tels qu'ils sont perçus par les productrices et les producteurs, données de recherche en sciences sociales sur les obstacles à l'adoption ou l'application de méthodes de prise en charge de la douleur dans le secteur ovin

- États douloureux (boiterie, mammite, maladies infectieuses)
 - Moyens d'éviter et d'atténuer la douleur et la souffrance
- Procédures (agnelage, castration, caudectomie)
 - Nouvelles données pertinentes pour la compréhension de la douleur associée à l'agnelage
- Stratégies factuelles pour éviter et atténuer la douleur
- **Infections endoparasitaires et ectoparasitaires**
 - Répercussions possibles des parasites sur le bien-être
 - Utilisation de produits chimiques ou de médicaments antiparasitaires
 - Sélection génétique pour la résistance aux parasites
 - Stratégie de gestion du pâturage et espèces fourragères adaptées à la lutte antiparasitaire
- **Soins néonataux**
 - Lien brebis-agneau
 - Importance du lien pour l'agneau (survie, développement et bien-être) et pour la brebis (santé et bien-être)
 - Mise en adoption, élevage artificiel et sevrage des agneaux
- **Logement et environnement**
 - Principaux aspects du logement en bâtiment clos à considérer
 - Privation sociale et comportementale
 - Comportement alimentaire
 - Effets sur la santé
 - Possibilité de faire de l'exercice
 - Enrichissement

- Principaux aspects des systèmes extensifs à considérer
 - Qualité et disponibilité de la nourriture
 - Surveillance et alerte précoce

2 Atténuation de la douleur

Conclusions :

1. **Les stratégies de prévention de la douleur comprennent des procédures de gestion améliorées pour éviter les maladies ainsi que l'adoption de pratiques de gestion visant à éviter l'utilisation d'interventions douloureuses.**
2. **Quand des procédures douloureuses sont employées, l'adoption des méthodes les moins douloureuses et l'utilisation d'une analgésie et d'une anesthésie peuvent aider à atténuer la douleur. L'atténuation de la douleur administrée avant l'apparition de la douleur (par exemple une anesthésie locale avant des interventions douloureuses) est plus efficace que l'administration d'analgésiques après l'apparition de la douleur.**
3. **En cas de douleur due à une maladie, la détection et le traitement précoces qui réduisent la gravité ou la durée de la maladie doivent atténuer l'expérience globale de la douleur.**
4. **Les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) ont des propriétés analgésiques et ils peuvent être utilisés chez les moutons sur ordonnance vétérinaire.**
5. **Une méthode multimodale (par exemple la combinaison d'une anesthésie locale et d'un analgésique AINS) se montre souvent efficace pour le soulagement de la douleur.**
6. **En général, il faudrait mener de plus amples recherches sur l'atténuation de la douleur chez le mouton, comme l'indique en détail la section 2.5.**

2.1 Grands principes et portée

Le présent chapitre examine la littérature scientifique sur la prise en charge de la douleur des moutons, particulièrement celle causée par les procédures douloureuses (castration et caudectomie), l'agnelage, la boiterie, la mammite et les maladies infectieuses. Le document *Code de pratiques pour le soin et la manipulation des moutons : Revue des études scientifiques relatives aux questions prioritaires* de 2012 (Cockram et coll.) comportait des chapitres sur la caudectomie, la castration et la dystocie. La revue de la littérature exposée propose une mise à jour sur ces sujets, en se fondant sur les études publiées depuis le rapport précédent, mais elle ne vise pas à remplacer ce dernier. Pour ce qui est de la dystocie, la présente revue de la littérature se concentre sur l'atténuation de la douleur et fournit des données provenant de recherches publiées après 2012. Toute personne souhaitant une synthèse complète sur ces thèmes est encouragée à lire la précédente revue de la littérature.

Le présent rapport met l'accent sur des méthodes de prévention et d'atténuation de la douleur. Les pratiques exemplaires visent à éviter l'apparition d'états douloureux plutôt qu'à devoir les

traiter (Guatteo et coll., 2012) ou les atténuer quand elles apparaissent. Dans cette optique, il est nécessaire de discuter avec le ou la vétérinaire du troupeau pour réduire les facteurs de risque entraînant les états douloureux décrits dans le présent chapitre. En général, quand un traitement est nécessaire, il est préférable de l'administrer le plus tôt possible, non seulement pour atténuer au maximum la réaction à la douleur (Lizarraga et Chambers, 2012), mais aussi pour augmenter les probabilités de guérison et réduire la transmission de la maladie à d'autres animaux. La nécessité des procédures douloureuses doit toujours être évaluée dans le contexte du système de gestion de chaque exploitation (Guatteo et coll., 2012; AWC, 2022). En effet, il faut envisager de changer de stratégie de gestion pour éviter toute procédure douloureuse inutile, quand la situation s'y prête (Guatteo et coll., 2012). Si des procédures douloureuses sont employées et qu'il existe plusieurs méthodes, il faut choisir l'option la moins douloureuse (Guatteo et coll., 2012). Le recours à des médicaments préventifs est plus efficace et peut s'inscrire dans une approche multimodale qui associe, d'une part, une anesthésie locale visant à prévenir ou à réduire la douleur aiguë et, d'autre part, une thérapie aux AINS en cas de possibilité de douleur inflammatoire (Lizarraga et Chambers, 2012). Les stratégies d'atténuation de la douleur sont sous-utilisées dans le monde (Lizarraga et Chambers, 2012) et dans l'industrie ovine canadienne (Moon et coll., 2010).

2.2 États douloureux

2.2.1 Boiterie

2.2.1.1 Définition et causes

Le mot « boiterie » est un terme général désignant une démarche anormale (Gelasakis et coll., 2019). La plupart des boiteries du mouton sont dues à la douleur. La boiterie peut être un problème grave pour le bien-être en raison de sa prévalence et de la gravité de la souffrance associée. Les moutons souffrant à cause d'une boiterie sont susceptibles de présenter d'autres problèmes de bien-être, comme des difficultés à s'alimenter et s'abreuver ainsi qu'à éviter les prédateurs. À titre d'exemple, les moutons atteints de piétin se tiennent souvent sur trois pattes et mangent parfois en se reposant sur leurs carpes (Zanolari et coll., 2021). La boiterie ne concerne pas seulement le bien-être, elle a aussi une incidence sur la productivité et le risque de réforme (Winter, 2011; Lizarraga et Chambers, 2012; Phythian et coll., 2013; Green et Clifton, 2017; Small et coll., 2021a). L'évaluation de la boiterie sert souvent d'indicateur de bien-être dans les programmes d'assurance du bien-être animal (Zufferey et coll., 2021).

Les causes courantes de la boiterie sont les états infectieux (dermatite interdigitée, également appelée fourchet, piétin, dermatite digitée contagieuse et arthrite septique) et des facteurs non infectieux (maladie de la ligne blanche et granulomes de la pince), qui peuvent constituer en eux-mêmes un risque de maladie infectieuse (Hodgkinson, 2010; Winter, 2011; Green et Clifton, 2017; Gelasakis et coll., 2019). La dermatite digitée contagieuse s'observe au Royaume-Uni et dans certaines régions d'Europe continentale (Bernhard et coll., 2021; Duncan et coll., 2021a), mais sa présence n'a jamais été déclarée en Amérique du Nord bien que les agents étiologiques (espèces *Treponema*) soient courants chez les bovins et les wapitis sauvages et qu'il ait été démontré que des isolats de bovins mis à l'essai dans des expériences causent des infections chez le mouton (Wilson-Welder et coll., 2018).

Le piétin est une maladie bactérienne contagieuse qui atteint le pied du mouton. L'infection de la peau interdigitée par la bactérie anaérobie *Dichelobacter nodosus* se produit en raison d'une blessure physique, d'un environnement humide ou d'une infection par d'autres microorganismes. La maladie peut passer d'une dermatite interdigitale modérée au détachement du sabot (Zanolari et coll., 2021). Les agents étiologiques sont des souches virulentes de *D. nodosus*, mais la communauté bactérienne du pied est complexe et, chez les moutons touchés, des espèces anaérobies à Gram négatif prédominent, comparativement aux espèces aérobies à Gram positif prédominantes sur le pied des moutons en bonne santé (McPherson et coll., 2019). De plus, les espèces *Treponema* sont observées dans les lésions du piétin (Maboni et coll., 2017; Duncan et coll., 2021b), ce qui montre les effets de la dysbiose de la communauté bactérienne des pieds des ovins.

La fourbure ainsi que l'arthrite infectieuse et chronique sont des causes possibles de boiterie du mouton (Boundy, 1983; Li et coll., 2017). L'arthrite bactérienne est courante chez les agneaux nouveau-nés (Henderson, 2007) et elle atteint parfois les moutons adultes (Scott et Sargison, 2012). Les moutons âgés, comme les béliers, peuvent développer une ostéo-arthrite aux coudes et d'autres articulations (Scott, 2001).

On ne dispose pas de données récentes sur la prévalence de la boiterie ovine au Canada. On sait cependant que les traitements antibiotiques de la boiterie constituent 9 % de tous les traitements administrés dans les élevages d'après une enquête sur l'Ontario (Moon et coll., 2010), et que plusieurs souches virulentes de *D. nodosus* (agent étiologique du piétin) ont été détectées dans un échantillon de moutons boiteux de l'Alberta et de la Colombie-Britannique (Olsen et coll., 1998). Une enquête par correspondance sur l'occurrence de la maladie dans les troupeaux ovins canadiens, réalisée en 1982 et 1983, constate des « problèmes de pied » dans 12 % des troupeaux. Selon l'étude, 2 % des brebis sont réformées à cause d'une boiterie (Dohoo et coll., 1985). Une étude sur la boiterie dans un parc d'engraissement pour ovins dans le sud de l'Alberta, réalisée entre 2017 et 2019, constate que 0,64 % des animaux boitent et que le piétin est considéré comme la cause de la boiterie de 23 % des moutons atteints (Schwartzkopf-Genswein et coll., 2020).

Il est démontré que les modèles fondés sur une boiterie naturelle comme ceux fondés sur une boiterie induite diminuent le seuil nociceptif et le seuil de retrait (Ley et coll., 1989; Small et coll., 2021a; Simpson et coll., 2022), qui sont augmentés ensuite par l'administration d'un anesthésique local (Ley et coll., 1989; Simpson et coll., 2022). Alors que les lésions du piétin modérées reviennent à un seuil nociceptif normal après la guérison, ce seuil reste élevé pour une plus longue période en cas de lésions plus sévères (Ley et coll., 1989). Les expressions faciales peuvent servir à distinguer chez les moutons, qui sont considérés comme sensibles à la douleur, les individus atteints de piétin des autres (McLennan et coll., 2016a). Par ailleurs, l'augmentation des concentrations de cortisol plasmatique est associée au piétin; ces concentrations peuvent rester élevées jusqu'à trois mois après la résolution apparente du problème (Ley et coll., 1994).

La détection automatisée de la boiterie (par accéléromètres, capteurs gyroscopiques et cages de pesage de sabots) chez le mouton est prometteuse (Bryne et coll., 2019; Kaler et coll., 2019), mais elle n'a pas encore été mise à l'essai à des fins commerciales ni mise sur le marché. Plusieurs échelles de notation de la démarche pour mesurer la boiterie des ovins peuvent servir à donner des cotes de locomotion allant de zéro – pour les moutons à la locomotion normale – à

des cotes plus élevées indiquant une boiterie sévère (Kaler et coll., 2009; Angell et coll., 2015). Des échelles binaires, plus simples et plus faciles à utiliser, ont aussi été proposées (Phythian et coll., 2013; Zufferey et coll., 2021).

2.2.1.2 Prévention et facteurs de risque

Environnement et hygiène. Là où la cause prédominante de la boiterie est le piétin, des conditions chaudes et humides sont associées à l'augmentation de la prévalence de la boiterie (Vittis et Kaler, 2019), qui varie selon la saison dans certaines régions (Hodgkinson, 2010). Ces conditions favorisent la propagation d'agents infectieux et augmentent le risque de lésion dans l'espace interdigité, ce qui permet la colonisation de l'hypoderme (Hodgkinson, 2010). Les espaces de manipulation insalubres peuvent faciliter la propagation des causes infectieuses de la boiterie (Winter, 2011), la prévalence de la boiterie augmentant quand les densités d'élevage sont plus élevées (Kaler et Green, 2009). Les logements incorrectement drainés, mal ventilés et à la litière insuffisante peuvent aussi augmenter l'humidité du sol, ce qui nuit à la santé des sabots (Gelasakis et coll., 2019). Chez les agneaux nouveau-nés, le risque de polyarthrite est plus élevé chez ceux nés quand la période d'agnelage est avancée, moment où l'on peut supposer que les sols sont plus contaminés (Ridler et coll., 2019). Par ailleurs, les agneaux nouveau-nés dont la queue est amputée à une ou deux vertèbres coccygiennes (par rapport à trois ou plus) présentent un risque plus élevé de polyarthrite (Lloyd et coll., 2016).

Bain de pied. Le bain de pied a longtemps servi de méthode de traitement et de prévention de la boiterie du mouton. Bien qu'il constitue un aspect important du traitement, il n'est plus recommandé comme mesure de gestion préventive régulière (Kaler et Green, 2009; Lewis et Green, 2020; voir 2.2.1.3). En effet, des bains de pied incorrectement entretenus peuvent nuire aux pieds et faciliter la propagation de maladies (Winter, 2011). Les bains de pied réguliers utilisés de manière préventive sont associés à une prévalence plus élevée de la boiterie (Kaler et Green, 2009).

Parage des pieds. Le parage excessif (causant un saignement) est associé à l'augmentation des taux de boiterie à l'échelle du troupeau (Winter et coll., 2015; Green et Clifton, 2017; Prosser et coll., 2019) et il peut accroître le risque de développement de granulomes de la pince, qui prédisposent ensuite le pied au piétin (Hodgkinson, 2010; Winter, 2011). Au Royaume-Uni, où les systèmes pastoraux prédominent, le parage systématique est associé à l'augmentation de la prévalence de la boiterie (Kaler et Green, 2009) et il est déconseillé comme méthode de gestion de troupeau (Green et Clifton, 2017; Lewis et Green, 2020). Toutefois, il faut souligner que quand les moutons sont élevés partiellement ou entièrement en bâtiment clos, une pousse excessive du sabot est possible et le parage systématique est alors un élément nécessaire de la stratégie de gestion de la boiterie (Gelasakis et coll., 2019).

Sélection génétique. Un dépistage génétique de la vulnérabilité au piétin a été mis au point en Nouvelle-Zélande (Bishop et Morris, 2007), en plus de travaux dans ce sens réalisés pour d'autres races et régions (Mucha et coll., 2015; Cinar et coll., 2024). La sélection de brebis qui n'ont jamais boité comme remplacements aux fins de la reproduction est associée à une prévalence inférieure de la boiterie comparativement aux fermes sans ce type de sélection (Winter et coll., 2015).

Quarantaine des nouveaux animaux. Il est recommandé d'isoler les animaux arrivant dans le troupeau pour éviter l'introduction de nouvelles infections (Winter, 2011; Clements et Stoye, 2014), ainsi que d'inspecter leurs pieds et de traiter adéquatement toute lésion. Les exploitations déclarant mettre en quarantaine les nouveaux moutons pendant plus de trois semaines présentent un risque plus faible de boiterie que celles qui ne le font pas (Winter et coll., 2015).

Vaccination. La vaccination contre *D. nodosus* est associée à la réduction du risque de boiterie (Winter et coll., 2015; Cresswell et coll., 2023) et elle est généralement recommandée dans le cadre d'une stratégie complète de prévention de la boiterie (Winter, 2011; Clements et Stoye, 2014; Gelasakis et coll., 2019). À la date de la présente publication, aucun vaccin contre *D. nodosus* n'est autorisé au Canada.

2.2.1.3 Stratégies d'atténuation de la douleur

Rapidité de l'identification et du traitement. Étant donné la douleur causée par plusieurs types de boiterie, le fait de les identifier et de les traiter rapidement réduit la durée de souffrance de l'individu et prévient la progression de la maladie vers des états plus graves ou plus douloureux, en plus de réduire le risque de propagation des causes infectieuses. De plus, il est essentiel de connaître la cause de la boiterie pour fournir un traitement efficace (Hodgkinson, 2010). L'identification des moutons boiteux et leur traitement dans les trois jours suivant l'identification sont associés à la diminution de la prévalence de la boiterie dans le troupeau (Winter et coll., 2015; Prosser et coll., 2019; Lewis et Green, 2020). Les exploitations sachant reconnaître la boiterie à une cote de locomotion basse (mouton moins boiteux), comparativement à celles qui la reconnaissent seulement à une cote élevée (mouton plus boiteux), ainsi que les exploitations appliquant un traitement dès qu'un individu est atteint de boiterie (comparativement à celles attendant que six moutons au moins boient) présentent une prévalence de boiterie moins élevée dans le troupeau par rapport aux exploitations aux seuils de traitement plus élevés (Winter et coll., 2015). Par ailleurs, la séparation des moutons boiteux et des moutons sains lors de la mise à l'herbe du printemps après une période de logement est associée à la diminution de la prévalence de la boiterie dans le troupeau (Kaler et Green, 2009). Les traitements rapides permettent en outre de réaliser des diagnostics suffisamment tôt, avant la progression vers des états plus graves (par exemple traitement de la dermatite interdigitée avant son évolution en piétin ou en arthrite septique, ou traitement de la maladie de la ligne blanche avant le développement d'infections secondaires ou d'abcès) (Winter, 2011).

Il est possible d'utiliser la formaline en bain de pied de passage en cas de dermatite interdigitée (fourchet) (Winter, 2011; Green et Clifton, 2017) ou de granulomes de la pince modérés (Hodgkinson, 2010), mais il est important de souligner que cette substance est irritante et un carcinogène connu. La formaline est déconseillée pour le piétin et la dermatite digitée contagieuse, car elle est très douloureuse en cas de plaie ouverte (Winter, 2011). Les bains de pied au sulfate de zinc (pédiluves) peuvent servir au traitement de la dermatite interdigitée (Winter, 2011), mais ils ne sont pas recommandés en cas de piétin (Winter, 2011; Green et Clifton, 2017). Le sulfate de cuivre peut être efficace pour traiter le piétin, mais il doit toujours s'employer avec prudence en raison de la sensibilité au cuivre, surtout chez les races continentales européennes (Winter, 2011). Les bains de pied au sulfate de zinc sont efficaces s'ils sont réalisés pendant cinq jours consécutifs (Jackson et coll., 2023). L'injection d'antibiotiques est recommandée pour le traitement du piétin (Winter, 2011), et une étude plus

récente a montré que certains traitements topiques étaient efficaces (pulvérisation quotidienne d'oxytétracycline pendant cinq jours) (Jackson et coll., 2023; Smith et Kreuder, 2024) et qu'ils pourraient être plus adéquats étant donné l'importance accordée à la diminution de l'utilisation totale d'antibiotiques systémiques. Le traitement de la dermatite digitée contagieuse est complexe et la thérapie a peu d'effet sur les cas sévères (Winter, 2011).

Atténuation de la douleur. Bien que les AINS aient été recommandés en cas de douleur inflammatoire pour fournir une analgésie de plus longue durée (Lizarraga et Chambers, 2012), peu d'essais ont examiné leur efficacité pour les cas de boiterie ovine. Leur adoption par les éleveurs et éleveuses est variable dans les traitements de la boiterie réalisés dans les exploitations (Crawford et coll., 2023). Dans un essai s'intéressant à des cas de piétin, l'administration d'une dose unique d'AINS (flunixiné méglumine) à huit moutons ne réduit pas le temps de rétablissement quand elle s'ajoute à des antibiotiques systémiques et topiques (Kaler et coll., 2010). Les auteurs considèrent toutefois que l'étude manquait de puissance statistique et que les propriétés anti-inflammatoires, antipyrétiques et analgésiques des AINS ont probablement eu des effets favorables en fournissant une analgésie pendant 24 heures au plus et en aidant les brebis à continuer de s'alimenter.

L'efficacité du méloxicam dans l'atténuation de la douleur est démontrée par un modèle de la boiterie (Colditz et coll., 2019). En effet, on observe sur des moutons à la boiterie induite par la douleur causée par une injection sous-cutanée de térébenthine dans la phalange proximale d'un membre antérieur que le méloxicam AINS réduit la boiterie, réduit la durée pendant laquelle le membre est maintenu sans appui et augmente la tolérance à la pression sur le membre (Colditz et coll., 2019). La flunixiné, le carprofène et le kétoprofène atteignent des niveaux thérapeutiques inférés après l'administration orale d'une dose double par rapport à la dose standard, mais se révèlent inefficaces dans le modèle de la boiterie de la même étude (Marini et coll., 2015).

Une étude a montré que l'association d'un traitement antiseptique et anesthésique topique est bénéfique en cas de lésions et de plaies ouvertes chez le mouton, notamment en cas de boiterie due à la fièvre aphteuse (Windsor, 2022), mais aucune étude ne s'est intéressée au traitement anesthésique-antiseptique topique de causes comme la dermatite interdigitée, le piétin et la dermatite digitée contagieuse.

Parage des pieds. Le parage n'est pas recommandé dans le cadre d'un traitement du piétin (Winter, 2011; Lewis et Green, 2020), car il est associé à l'augmentation du temps de guérison du piétin (Kaler et coll., 2010). Un parage thérapeutique prudent est conseillé en cas d'abcès qui seraient une séquelle de la maladie de la ligne blanche, quand cette dernière évolue jusqu'à l'état de sabot dérobé (Winter, 2011; Green et Clifton, 2017).

Réforme. La réforme des individus ne réagissant pas au traitement est recommandée comme pratique importante des stratégies de lutte contre la boiterie (Winter, 2011; Clements et Stoye, 2014; Green et Clifton, 2017).

Euthanasie. Les moutons présentant une boiterie chronique et une capsule articulaire épaissie en raison d'une arthrite septique sévère doivent être euthanasiés (Scott et Sargison, 2012).

2.2.2 Mammite

2.2.2.1 Définition et causes

Chez le mouton, la mammite désigne l'inflammation de la glande mammaire, qui est généralement causée par une infection, mais qui peut aussi être due à une blessure ou à d'autres facteurs moins courants (Menzies et Ramanoon, 2001). La mammite est une préoccupation relative au bien-être importante dans l'industrie ovine (EFSA, 2014), qui entraîne la réduction de la production laitière, altère la composition du lait, augmente le risque de morbidité et la mortalité des brebis, et diminue le rendement et le bien-être des agneaux (Menzies et Ramanoon, 2001; Alba et coll., 2019; Page et coll., 2021). La mammite est une des raisons courantes de l'utilisation d'antimicrobiens dans les élevages canadiens de moutons laitiers et de boucherie (Avery et coll., 2003).

Mammite clinique. La mammite clinique est caractérisée par des signes visibles d'inflammation : enflure, chaleur et rougeur, notamment (Menzies et Ramanoon, 2001). Cette forme de mammite peut être aiguë ou suraiguë, les cas les plus graves entraînant des taux de mortalité élevés en raison d'une toxémie systémique (Menzies et Ramanoon, 2001). Les agents étiologiques sont notamment *Staphylococcus aureus* et *Mannheimia haemolytica* (Arsenault et coll., 2008; Fthenakis, 2019), la bactérie *Mannheimia haemolytica* étant plus courante chez les moutons de boucherie que chez les moutons laitiers, car la transmission aux trayons par les agneaux pendant les événements d'allaitement augmente le risque de passage de cet habitant normal des voies respiratoires supérieures vers les trayons (Gelasakis et coll., 2015; Fthenakis, 2019). Par ailleurs, les espèces *Mycoplasma* peuvent causer une mammite clinique, souvent conjuguée à de l'arthrite, une conjonctivite ou une pneumonie (Menzies et Ramanoon, 2001; Fthenakis, 2019). Quelle que soit la cause, les animaux concernés présentent souvent des signes d'inconfort, comme de l'agitation, de la douleur et de l'anorexie (Gelasakis et coll., 2015), et l'infection peut entraîner de graves lésions à la glande mammaire et accroître le risque de réforme (Dohoo et coll., 1985).

Mammite subclinique. La mammite subclinique ne s'accompagne pas de signes cliniques évidents, mais elle entraîne tout de même l'altération de la composition du lait, l'augmentation de la numération des cellules somatiques (NCS), et la réduction de la qualité du lait (Vasileiou et coll., 2018). Les brebis atteintes de mammite subclinique présentent des effets systémiques, dont des indicateurs inflammatoires plus élevés (Alba et coll., 2019), mais l'ampleur de ses conséquences sur le bien-être n'est pas bien connue. Elle est détectable au moyen d'outils de diagnostic comme le Test de mammite de Californie ou CMT (pour *California Mastitis Test*) ou des cultures de lait (Queiroga, 2017). La mammite subclinique est couramment associée à des staphylocoques à coagulase négative (SCN) (Queiroga, 2017; Vasileiou et coll., 2018; Fthenakis, 2019) et elle peut avoir des effets à long terme sur la santé des brebis et sur la productivité du troupeau (Vasileiou et coll., 2019).

2.2.2.2 Prévention et facteurs de risque

Facteurs environnementaux. Les conditions environnementales jouent un rôle essentiel dans la prévalence de la mammite. Une mauvaise hygiène, l'humidité, une densité d'élevage élevée, une litière inadéquate et une ventilation insuffisante sont autant de facteurs d'augmentation de la

charge bactérienne dans le milieu et contribuent au risque de mammite (Gelasakis et coll., 2015). Dans les troupeaux laitiers, l'absence de désinfection après la traite est associée à un risque d'infection accru (Gelasakis et coll., 2015; Vasileiou et coll., 2018).

Fonction immunitaire et nutrition. Les carences en vitamines et en minéraux – particulièrement en vitamine A et E et en sélénium – peuvent nuire à l'intégrité de la glande mammaire et augmenter la sensibilité aux infections (Gelasakis et coll., 2015). La toxémie de gestation clinique ainsi qu'un taux élevé de bêta-hydroxybutyrate sérique sont associés à un risque plus élevé de mammite clinique (Gelasakis et coll., 2015). De plus, les infections parasitaires, comme celles causées par les espèces *Teladorsagia* sont liées à l'augmentation du risque de mammite, particulièrement au début de la lactation, ce qui souligne la nécessité de lutter efficacement contre les parasites dans une stratégie générale de prévention de la mammite (Vasileiou et coll., 2019).

Sélection génétique. La sélection génétique est un moyen prometteur de réduction de l'incidence de la mammite chez le mouton. Des études montrent que la sélection aux fins de résistance à la mammite (NCS plus faible) peut réduire le risque d'infection d'au plus 10 % (Conington et coll., 2008). Bien que certaines données montrent que l'amélioration génétique pourrait être avantageuse, des recherches plus approfondies doivent être menées pour déterminer les gènes associés à la résistance à la mammite (Conington et coll., 2008). De plus, des facteurs génétiques liés à la conformation du pis – par exemple des trayons plus susceptibles de présenter des lésions ou difficiles à traire – peuvent influencer sur la sensibilité à la mammite (Gelasakis et coll., 2015).

Gestion de la traite. Dans les élevages laitiers, il est fondamental de gérer efficacement la traite des moutons pour minimiser le risque de mammite. La surtraite, la sous-traite et le réglage inadéquat de la machine à traire (par exemple paramétrage incorrect du vide, du taux de pulsation ou du ratio) sont des facteurs possibles de lésions et d'infection du trayon (Gelasakis et coll., 2015). La traite doit suivre des procédures normalisées (PN), pour qu'elle soit uniforme et que le risque de lésion au pis soit minimal (Vasileiou et coll., 2018). De plus, la désinfection du trayon après la traite réduit le risque de maladie (Gelasakis et coll., 2015; Vasileiou et coll., 2018). Chez les moutons de boucherie, les trayons gercés, les morsures pendant l'allaitement, les lésions d'ecthyma contagieux et l'allaitement de plusieurs agneaux augmentent le risque de mammite (Gelasakis et coll., 2015).

Vaccination. La vaccination est un autre moyen de prévention de la mammite (Gelasakis et coll., 2015). Des études montrent que la vaccination contre *Staphylococcus aureus* vers la fin de la gestation peut protéger les brebis durant l'agnelage et le début de la période post-partum, ce qui réduit à la fois la mammite clinique et subclinique (Vasileiou et coll., 2022). La mise au point de vaccins ciblant la formation du biofilm dans les bactéries causant la mammite peut apporter des avantages supplémentaires, particulièrement dans la lutte contre les infections chroniques (Vasileiou et coll., 2022).

2.2.2.3 Stratégies d'atténuation de la douleur

La mammite est douloureuse et peut considérablement nuire au bien-être des brebis. Des recherches montrent que la mammite chronique entraîne une hyperalgie, qui rend l'animal de plus en plus sensible à la douleur (Fitzpatrick et coll., 2006; Lizarraga et Chambers, 2012). Les

AINS sont considérés comme un traitement possible en vue d'atténuer la douleur chez les moutons atteints; ils agissent en réduisant l'inflammation associée à la mammite (Fitzpatrick et coll., 2006). Dans une étude examinant les indicateurs faciaux de la douleur, le traitement des brebis atteintes de mammite clinique aiguë (antibiotiques systémiques conjugués à des AINS) réduit les scores de la douleur dans les jours suivant le traitement (McLennan et coll., 2016b). Chez les brebis atteintes de mammite, l'administration de flunixin méglumine peut réduire la température rectale et la gravité d'autres signes cliniques associés à l'inflammation (Fthenakis, 2000). Il est important de rapidement détecter et traiter la mammite pour plusieurs raisons : réduire le risque de cas chroniques (dans lesquels la douleur est accrue), diminuer la transmission à d'autres animaux, augmenter l'efficacité du traitement et réduire, de façon générale, la douleur associée à l'inflammation prolongée (Menzies et Ramanoon, 2001; Gelasakis et coll., 2015).

2.2.3 *Maladie infectieuse*

2.2.3.1 *Définition et causes*

Le terme « maladie infectieuse » est large et englobe les processus morbides comprenant la transmission de pathogènes et entraînant des infections, qui peuvent être des problèmes de santé aigus ou une maladie chronique. Les maladies peuvent être entièrement chroniques par nature (par exemple *Maedi visna*, *Mycobacterium avium* sous-espèce *paratuberculosis*, lymphadénite caséeuse), elles peuvent se présenter sous une forme aiguë générale (par exemple septicémie néonatale à *E. coli*), ou elles peuvent être des processus morbides aigus susceptibles d'évoluer pour devenir des problèmes de santé chroniques (par exemple pneumonie à mycoplasme, certaines causes de mammite clinique). Les causes des maladies infectieuses peuvent être des infections bactériennes, virales, fongiques ou parasitaires. Notons que l'énumération de tous les états pathologiques pertinents pour toutes les classes d'âge de moutons n'entre pas dans le cadre de la présente revue de la littérature.

2.2.3.2 *Prévention et facteurs de risque*

Les principales méthodes de lutte contre les maladies infectieuses visent à augmenter la résistance à l'infection, supprimer les sources d'infection et empêcher de nouveaux contacts susceptibles de conduire à la transmission de la maladie. Les procédures d'élevage, d'hygiène et de gestion servent à réduire au minimum la pression d'infection exercée par les agents pathogènes et à maximiser la capacité de l'hôte à lui résister (Biggs, 1985). Les stratégies de prévention et les facteurs de risque varient selon la maladie, mais en raison du nombre important de causes de maladie infectieuse couramment présentes, de façon générale, dans l'industrie ovine canadienne, il est probablement judicieux d'aborder et de planifier des stratégies d'atténuation des risques avec le ou la vétérinaire du troupeau. En outre, plusieurs des pathogènes du mouton étant zoonotiques (comme *Coxiella burnetii*, espèces *Campylobacter*, *Chlamydia*, *Toxoplasma gondii*, et l'ecthyma contagieux), il est d'autant plus important de mettre en place des stratégies d'atténuation des risques. À titre d'exemple, *C. burnetii* est de plus en plus commun dans les troupeaux ovins canadiens (Lang et coll., 1991; Meadows et coll., 2015; Turcotte et coll., 2021), or la sérologie positive à *Coxiella burnetii* et le risque accru de fièvre Q clinique chez l'humain sont tous deux associés à l'exposition à des moutons au Canada (Dolcé et coll., 2003; Meadows et coll., 2016; Dolcé et coll., 2023). D'autres maladies infectieuses sont courantes dans le secteur canadien du mouton (Dohoo et coll., 1985), notamment *Maedi visna* (Arsenault et coll., 2003;

Fournier et coll., 2006; Stonos et coll., 2017), *Mycobacterium avium* sous-espèce *paratuberculosis* (Arsenault et coll., 2003; Bauman et coll., 2016), la lymphadénite caséuse (Arsenault et coll., 2003), le virus de Cache Valley (Uehlinger et coll., 2018; Bergevin et coll., 2023), *Toxoplasma gondii* (Waltner-Towes et coll., 1991) et des causes de boiterie (voir 2.2.1.1). Cette liste est non exhaustive.

2.2.3.3 Stratégies d'atténuation de la douleur

Les stratégies d'atténuation de la douleur diffèrent selon la cause de la maladie et les signes cliniques, mais le fait d'identifier et de traiter adéquatement les animaux au début de la maladie améliore généralement le bien-être de l'individu et réduit le risque de maladie. Les stratégies préventives sont également nécessaires pour réduire le risque de maladie et son incidence à l'échelle du troupeau.

Toute maladie peut causer diverses sensations négatives chez les animaux (dont la douleur); certaines sont une conséquence directe du processus morbide et d'autres, une conséquence du comportement et de la physiologie défectueux (Cockram et Hughes, 2018). Les mécanismes biologiques causant de nombreux effets négatifs de la maladie se fondent sur les réactions inflammatoires à la maladie et leurs conséquences sur le cerveau. Des signes comportementaux non spécifiques de la maladie (comportement d'animal malade) associés à de la fièvre, des réactions réduites aux stimulus environnementaux et sociaux, une déficience cognitive, de la léthargie ou l'augmentation du temps de sommeil, et la diminution de la consommation d'aliments ou d'eau peuvent être dus aux effets des réactions inflammatoires et des réponses immunitaires (Gregory, 1998). Le traitement d'un animal malade vise principalement le rétablissement rapide et permanent, de façon à faire baisser le degré de souffrance. Cependant, il faut aussi veiller à soulager les souffrances et les sensations associées à la maladie dans les états pathologiques (Gregory, 1998). Certaines sensations désagréables ou formes d'inconfort dues à la maladie peuvent être en effet soulagées par des médicaments, comme les AINS (Scott, 2011; Ural, 2021; Crawford et coll., 2023; Tsekouras et coll., 2025), qui ont des propriétés anti-inflammatoires, anti-exsudatives, analgésiques et antipyrétiques.

2.2.4 Agnelage

L'agnelage, aussi dit parturition, représente un événement majeur, susceptible de causer de la douleur et de l'inconfort, même en l'absence d'anomalie. En cas de dystocie, le risque de douleur sévère et d'inconfort est plus grand pour les brebis. Par ailleurs, l'agnelage peut causer des blessures et être suivi du développement de problèmes de santé cliniques, par exemple une métrite. La parturition est douloureuse (Martínez-Burnes et coll., 2021) en raison de la dilatation du col, des contractions utérines, de la distension du canal génital, de l'expulsion du fœtus, et de l'inflammation de l'utérus et du vagin. Après la parturition, la douleur peut être causée par l'involution de l'utérus et des lésions tissulaires. Cette douleur peut réduire les comportements d'entretien et d'alimentation nécessaires à la lactation et au degré de soins maternels fournis aux nouveau-nés.

2.2.4.1 Définition et causes de la dystocie

Chez le mouton, la dystocie désigne une parturition difficile, caractérisée par l'absence de transition du stade I au stade II de la parturition ou par sa progression inadéquate pendant plus de 30 minutes pendant le stade II (Anderson, 2014). Les causes sont maternelles ou fœtales, ces dernières étant plus courantes (MLA, 2020; Balasopoulou et coll., 2022). Les causes fœtales sont notamment une mauvaise position, des agneaux trop gros, des fœtus emmêlés dans les portées multiples, des fœtus emphysémateux et les malformations fœtale majeures (Balasopoulou et coll., 2022). Les causes maternelles sont notamment la non-dilatation du col, un bassin étroit, une inertie utérine primaire et secondaire, un prolapsus vaginal et une torsion de l'utérus (Parkinson et coll., 2019). L'hydro-allantoïde, l'hydramnios et la paralysie du nerf sciatique (Jacobson et coll., 2020a) sont d'autres causes, moins courantes. Les effets de la dystocie sont importants, car elle accroît la mortalité périnatale des agneaux, une méta-analyse ayant constaté que 47 % (95 % IC : 38 à 55 %) de la mortalité périnatale des agneaux est attribuable à la dystocie (mortalité comprise) (Bruce et coll., 2021). Une hétérogénéité marquée de cette mesure est constatée si l'on tient compte de la race (Bruce et coll., 2021), ce qui indiquerait que les différences constatées d'une étude à l'autre pourraient traduire des différences dans de nombreux autres facteurs. En plus d'augmenter le risque de mortalité, la dystocie a également des répercussions considérables sur le bien-être des agneaux qui y survivent et la mère (Dwyer, 2008; Jacobson et coll., 2020a). Les agneaux touchés par une dystocie sont souvent aux prises à des difficultés supplémentaires, notamment l'hypoxie et l'acidose, ce qui entraîne des complications comme une hémorragie et la congestion des méninges (Jacobson et coll., 2020a), ce qui réduit la vigueur des agneaux et augmente le risque d'inanition et de morbidité (Dwyer, 2008). De plus, la dystocie cause souvent des douleurs dues à des blessures ou un traumatisme chez l'agneau et la brebis, perturbe la relation brebis-agneau et peut avoir des effets à long terme sur la réactivité au stress de l'agneau (Dwyer, 2008).

2.2.4.2 Prévention et facteurs de risque

Une nutrition adéquatement gérée, comportant notamment un apport protéinique et énergétique suffisant vers la fin de la gestation, est cruciale pour éviter la restriction de croissance intra-utérine et atténuer le risque de dystocie (Jacobson et coll., 2020a). De plus, l'hypocalcémie et le stress oxydant peuvent nuire à la contractilité utérine et prédisposer les brebis à la dystocie (Jacobson et coll., 2020a).

Bien que le poids optimal à la naissance varie selon la race, les agneaux au poids corporel trop élevé ou trop bas à l'agnelage peuvent augmenter le risque de dystocie (Jacobson et coll., 2020a). Les brebis dont la cote d'état de chair (CEC) est faible ou trop élevée à l'agnelage et celles dont la CEC diminue avant l'agnelage présentent un risque accru de dystocie (Jacobson et coll., 2020a). Les races de béliers terminaux, souvent sélectionnées pour des traits comme la musculature et la croissance, ont tendance à produire des agneaux plus grands, ce qui augmente la probabilité de dystocie, particulièrement en cas de canal pelvien plus petit, la4w1u3 l3 choix du bélier est inadéquat de primiparité (Dwyer et Bünger, 2012; McHugh et coll., 2016). Les brebis primipares ainsi que celles âgées de plus de 4,5 ans présentent un risque plus élevé de dystocie, et ce risque décroît entre la première naissance et l'âge de 4,5 ans (Jacobson et coll., 2020a).

La sous-alimentation vers la fin de la gestation peut restreindre la croissance intra-utérine et donner des agneaux trop petits ou insuffisamment développés (Jacobson et coll., 2020a; Sartori et coll., 2020). Il est crucial que les apports protéiniques et énergétiques soient adéquats pour assurer le développement de l'agneau jusqu'à un poids convenable à la naissance (MLA, 2020). Une méta-analyse des données ne trouve pas d'effet de la suralimentation au deuxième et au troisième trimestre sur le poids à la naissance, mais elle constate une hétérogénéité importante, ce qui indiquerait que l'effet (ou l'absence d'effet) varierait en fonction de facteurs contextuels (Sartori et coll., 2020).

Puisque l'hypocalcémie et le stress oxydant sont tous deux des facteurs de risque de dystocie, en raison de leurs effets sur la contractilité utérine, il est important de fournir des niveaux adéquats de macrominéraux – comme le calcium, le phosphore et le magnésium – et de microminéraux, comme le sélénium, le zinc et le cuivre, ainsi que de vitamine A et E (Jacobson et coll., 2020b). L'exposition à des phytoœstrogènes peut perturber la fonction utérine et il est recommandé de les éviter (MLA, 2020). Bien que l'étiologie de la non-dilatation du col soit mal connue, selon certaines hypothèses, elle serait influencée par des déséquilibres hormonaux ou des carences nutritionnelles (Parkinson et coll., 2019). L'inertie utérine secondaire pourrait être causée par une parturition prolongée, des déséquilibres métaboliques ou le stress (Jacobson et coll., 2020a).

Étant donné que le stress et la perturbation pendant la parturition peuvent interférer avec la fonction utérine et la progression de la parturition, ils doivent être minimisés (Jacobson et coll., 2020b; MLA, 2020; Balasopoulou et coll., 2022). Il est recommandé d'apporter une alimentation et un abri adéquats et de maîtriser la taille du groupe (MLA, 2020). S'il est vrai qu'une supervision et des interventions adéquates sont nécessaires pour réduire les complications de la dystocie, une intervention incorrectement menée peut, au contraire, accroître le risque pour l'agneau et la brebis (Scott, 2005), ce qui montre l'importance d'apporter aux personnes responsables de animaux une formation de qualité en gestion de la dystocie.

2.2.4.3 Stratégies d'atténuation de la douleur

Pour la brebis comme pour l'agneau, la dystocie peut entraîner des douleurs et des traumatismes considérables, notamment des lésions de l'appareil génital et une inflammation (Dwyer, 2008). Il est primordial de prendre en charge efficacement la douleur qui suit une dystocie pour réduire le plus possible ses conséquences. Bien que les études manquent sur cette population, les AINS sont couramment utilisés pour réduire l'inflammation et la douleur, car leur action cible les prostaglandines qui contribuent à la réaction inflammatoire (Scott, 2005).

L'anesthésie péridurale est un moyen d'analgésie efficace pour les interventions manuelles réalisées durant une dystocie (Scott, 2005). L'anesthésie péridurale peut aider à bloquer les voies de la douleur pendant la correction manuelle des positions anormales de l'agneau et dans d'autres complications (Scott, 2005). Souvent, la réduction du prolapsus vaginal à l'aide de cuillères vaginales est réalisée sans analgésie, mais il est recommandé de recourir à une anesthésie péridurale en cas de réduction avec sutures (Scott, 2005).

Il est essentiel de superviser la parturition (sans déranger la brebis) pour prévenir l'escalade des complications. En effet, une intervention réalisée en temps opportun et l'utilisation d'analgésiques pendant la parturition peuvent considérablement réduire le niveau de douleur et

de détresse vécu par la brebis et l'agneau. Une assistance appropriée, apportée suffisamment tôt, peut empêcher le déclenchement de complications graves, qui augmentent les souffrances et la mortalité (Scott, 2005; MLA, 2020).

2.3 Procédures douloureuses

2.3.1 Castration

2.3.1.1 Nécessité de la castration

Si les pratiques de gestion mises en place réduisent la nécessité de la castration, il faut se demander s'il est justifié de castrer des agneaux qui seront abattus avant leur puberté. Toutes les méthodes manuelles de castration sont douloureuses. L'immunocastration a été mise au point pour les moutons, mais elle n'est pas mise sur le marché au Canada et son utilisation n'y est pas approuvée (AWC, 2022). Bien que le gain de poids moyen quotidien (GPQM) des béliers soit supérieur à celui des béliers castrés, la viande de ces derniers pourrait présenter de petits avantages en matière de qualité, en raison de différences de goût et de consistance observées par des études auprès des consommatrices et consommateurs (Gravador et coll., 2018; McGrath et coll., 2024).

2.3.1.2 Techniques et stratégies d'atténuation de la douleur

Technique à l'anneau en caoutchouc. La précédente revue de la littérature (Cockram et coll., 2012) concluait que la castration au moyen d'un anneau en caoutchouc causait une douleur aiguë ainsi que des changements comportementaux et des signes d'inconfort pendant les quatre semaines, environ, qui suivent la procédure, jusqu'à ce que les tissus nécrosés se détachent. L'injection d'un anesthésique local dans le collet du scrotum, le cordon spermatique ou les testicules ainsi que l'administration de flunixin AINS peuvent réduire la réponse à la douleur aiguë. Depuis la publication citée, des recherches ont comparé directement la méthode à l'anneau en caoutchouc à celle à l'anneau en caoutchouc et pince; elles montrent que les indicateurs comportementaux de la douleur diminuent quand une pince est utilisée en plus de l'anneau en caoutchouc (par rapport à l'anneau seul) (Maslowska et coll., 2020). Par ailleurs, les études concordent sur le fait que l'administration d'un anesthésique local affaiblit la réponse à la douleur aiguë (Kells et coll., 2020; AWC, 2022; Marini et coll., 2025), mais bénéfice additionnel n'a été observé lorsque l'anesthésique local était associé au méloxicam aux agneaux subissant une castration à l'anneau et une caudectomie au fer chaud (Kells et coll., 2020). L'utilisation de bandes élastiques imprégnées de lidocaïne est une nouvelle technologie qui pourrait présenter plus d'avantages que les bandes classiques (Roche et coll., 2024); des études supplémentaires sur les indicateurs comportementaux et physiologiques seraient nécessaires pour vérifier cette hypothèse.

Technique à l'anneau en caoutchouc combiné à une pince (Burdizzo). La précédente revue de la littérature (Cockram et coll., 2012) a conclu que la méthode de la pince et la technique combinant l'anneau en caoutchouc à la pince causaient toutes deux une douleur aiguë, et que l'injection d'un anesthésique local dans le collet du scrotum et le cordon spermatique réduisait cette réponse. La réponse à la douleur en cas de technique combinée semble moindre que si l'anneau est utilisé seul, mais plus grande par rapport à l'utilisation de la pince seule. Des revues de la littérature publiées depuis ces travaux concordent pour dire que la douleur est inférieure

pour les méthodes de la pince et celle de la pince avec anneau, comparativement à la technique utilisant seulement un anneau en caoutchouc. Cela s'expliquerait par l'atteinte nerveuse plus aiguë causée par la pince (AWC, 2022). La castration à la pince doit être réalisée par une personne qualifiée pour que l'écrasement soit efficace, mais aussi pour éviter les traumatismes urétraux (AWC, 2022). De plus, il est démontré que la castration à la pince élimine les tissus nécrosés plus rapidement et obtient des scores de lésions inférieurs à ceux de la technique à l'anneau de caoutchouc utilisé seul (AWC, 2022).

Technique chirurgicale. La précédente revue de la littérature (Cockram et coll., 2012) a conclu que la castration chirurgicale causait une douleur aiguë. L'administration de lidocaïne et de méloxicam en cas de chirurgie donnait quelques signes d'une analgésie efficace, mais elle ne réduisait pas systématiquement les indicateurs de la douleur comparativement à une simulation de castration (Harris et coll., 2021). L'administration d'un anesthésique topique en cas de castration chirurgicale atténue la douleur comparativement à une castration à l'anneau en caoutchouc (sans anesthésie) (AWC, 2022).

2.3.2 Caudectomie

2.3.2.1 Nécessité de la caudectomie

La caudectomie est couramment employée comme mesure de prévention de la myiase. Le fait de couper la queue aide à réduire l'accumulation de fèces et d'urine, particulièrement chez les races à laine longue, en assurant une plus grande propreté de la croupe (Small et coll., 2021b; AWC, 2022). Cependant, selon certaines études et l'avis de spécialistes, les espèces ayant naturellement moins de souillures fécales ou vivant dans des milieux à faible risque pourraient ne pas bénéficier de cette intervention. C'est pourquoi les éleveurs et éleveuses doivent évaluer les facteurs de risque de chaque troupeau, notamment la race, l'environnement et les pratiques de gestion (Gascoigne et coll., 2021; AWC, 2022).

Une étude de Johnson et coll. (2023) montre que les traits relatifs à la longueur de la queue et à la présence de poils sont modérément à fortement héréditaires, ce qui indique un fort potentiel d'amélioration par la sélection. En effet, les agneaux ayant des valeurs reproductives plus élevées en raison de la présence de poils (l'absence de laine) et d'une queue plus courte présentent moins de résidus de matières fécales et un risque moindre de myiase et ils pourraient ne pas nécessiter du tout de caudectomie dans certaines conditions de production (Johnson et coll., 2023).

2.3.2.2 Techniques et stratégies d'atténuation de la douleur

Technique à l'anneau en caoutchouc. La revue de la littérature précédente (Cockram et coll., 2012) a conclu que cette méthode était extrêmement douloureuse : des données montrent que la douleur causée est supérieure à une caudectomie au fer chaud ou par combinaison d'anneau en caoutchouc et de pince, et d'autres données indiquent qu'elle serait plus douloureuse que la caudectomie chirurgicale. La revue de la littérature constatait qu'une anesthésie locale sur le site avant l'application de l'anneau pouvait réduire les signes de douleur aiguë, et que le diclofénac AINS réduisait la sécrétion de cortisol, mais pas les signes comportementaux de la douleur, et qu'il n'était pas aussi efficace que l'anesthésie locale (Cockram et coll., 2012). Les études

publiées depuis la revue précédente confirment que la caudectomie à l'anneau en caoutchouc serait plus douloureuse que la technique à fer chaud ou au couteau à froid (Orihuela et Ungerfeld, 2019). De plus, des études comportementales ont montré que les agnelles pourraient exprimer des réponses plus intenses que les mâles, ce qui indiquerait de possibles différences de sensibilité à la douleur selon le sexe (Marini et coll., 2023). Il faut de 30 à 60 jours pour que des plaies à la queue causées par une caudectomie à l'anneau en caoutchouc guérissent, et au moins 89 % des queues sont infectées (Woods et Adcock, 2025).

Il semble que l'anesthésie locale atténue efficacement la douleur aiguë (Small et coll., 2020; 2021b; 2021c). L'administration d'AINS ne se montre pas aussi efficace que l'anesthésie locale aux fins de réduction de la douleur aiguë (Schllemer et coll., 2021; AWC, 2022), mais certaines données montrent que la douleur est plus atténuée si l'on conjugue méloxicam et anesthésie locale (Dunthorne, 2021). L'utilisation de bandes élastiques imprégnées de lidocaïne est une nouvelle technique, qui pourrait être plus avantageuse que les bandes élastiques classiques (Roche et coll., 2024), mais il faudrait que leurs effets sur les indicateurs comportementaux et physiologiques de la douleur soient davantage étudiés.

Technique à l'anneau en caoutchouc et pince (Burdizzo). La revue de la littérature précédente (Cockram et coll., 2012) conclut que la caudectomie à l'anneau en caoutchouc associé à une pince est moins douloureuse que l'utilisation de l'anneau en caoutchouc seul et qu'elle serait plus douloureuse que les techniques chirurgicales. Les revues de la littérature publiées depuis corroborent cette conclusion (Orihuela et Ungerfeld, 2019; AWC, 2022) et soulignent que la guérison de la plaie est plus rapide que si l'anneau en caoutchouc est utilisé seul (AWC, 2022). Néanmoins, cette technique reste douloureuse et l'administration à la fois d'un anesthésique et d'un analgésique réduit les niveaux de douleur (AWC, 2022).

Technique chirurgicale (au couteau à froid). La revue de la littérature précédente (Cockram et coll., 2012) conclut que la caudectomie chirurgicale est extrêmement douloureuse mais qu'elle pourrait être moins douloureuse que la caudectomie à l'anneau en caoutchouc, mais que les données probantes sont contradictoires. Les revues de la littérature publiées depuis indiqueraient que la technique au couteau à froid serait plus douloureuse que le fer chaud, car la cautérisation cause des brûlures au troisième degré, ce qui endommage les nocicepteurs et réduit la sensibilité de la zone, mais aussi qu'elle serait plus douloureuse que la caudectomie à l'anneau en caoutchouc d'après les différences dans l'augmentation du taux de cortisol (Orihuela et Ungerfeld, 2019). L'administration d'un anesthésique topique quand cette technique est employée pourrait réduire les signes comportementaux de la douleur (Ferrer et coll., 2020).

Technique du fer chaud. La revue de la littérature précédente (Cockram et coll., 2012) conclut que la caudectomie au fer chaud entraîne des réactions physiologiques et comportementales aiguës inférieures à celles d'autres techniques, comme l'anneau en caoutchouc ou la chirurgie. Bien que des études publiées depuis cette revue de la littérature confirment que la caudectomie au fer chaud cause une réaction à la douleur inférieure à celle de la technique à l'anneau en caoutchouc ou au couteau à froid (Orihuela et Ungerfeld, 2019), il apparaît nettement que la méthode est tout de même douloureuse en l'absence d'atténuation de la douleur (AWC, 2022; Teubes et coll., 2025). L'administration d'un anesthésique local et de méloxicam améliore les indicateurs comportementaux de la douleur en cas de caudectomie au fer chaud réalisée conjointement à une castration à l'anneau (Kells et coll., 2020).

2.4 Obstacles à l'adoption des pratiques d'atténuation de la douleur dans les élevages ovins

Les stratégies de réduction de la douleur comprennent l'amélioration des procédures de gestion pour prévenir les blessures et les maladies, l'adoption de procédures de gestion de substitution pour éviter les procédures douloureuses, et le recours accru à l'analgésie et l'anesthésie (Weary et coll., 2006). Il existe une variété de médicaments analgésiques pour moutons, ayant des niveaux d'action variés (Lizarraga et Chambers, 2012; Cohen et coll., 2024). Des enquêtes réalisées dans d'autres pays ont constaté que les élevages de moutons n'utilisaient pas d'AINS (Crawford et coll., 2023; Tsekouras et coll., 2025).

Plusieurs facteurs peuvent limiter l'administration d'analgésiques à des animaux :

1. la non-reconnaissance des signes comportementaux de la douleur (souvent, les moutons masquent les signes de la douleur dans un mécanisme de protection contre les prédateurs);
2. la nécessité de périodes de retrait avant l'abattage ou l'utilisation du lait, visant à préserver la salubrité des aliments pour humains à cause de la possibilité de résidus dans la nourriture;
3. l'absence de médicaments disponibles adaptés aux moutons;
4. les coûts de traitement (les coûts des médicaments plus les coûts de la main-d'œuvre nécessaire pour les administrer) par rapport aux avantages (avantages incertains en matière de production et nombre très réduit d'études confirmant une réduction de la souffrance);
5. le risque de mésusage des médicaments par des humains, la réglementation relative aux drogues et l'augmentation des exigences administratives restreignent l'accès aux analgésiques pour les producteurs et productrices;
6. l'absence de médicaments dont l'utilisation est approuvée pour les moutons, ce qui nécessite une utilisation des analgésiques en dérogation des directives de leur monographie;
7. la nécessité de personnel formé en raison du mode et de la fréquence d'administration de certains médicaments;
8. le délai entre l'administration du médicament et le début de l'activité analgésique;
9. les effets indésirables de certains analgésiques;
10. la crainte que la réduction de la douleur endommage davantage la zone blessée

(Anil et coll., 2005; Coetzee, 2013).

L'autorisation de l'utilisation de médicaments (notamment d'analgésiques) pour le mouton implique des enjeux importants en matière de réglementation et de coût (McKellar, 2006). En vertu du système de cascade, les médicaments dont l'utilisation est autorisée pour d'autres animaux destinés à l'alimentation peuvent être prescrits à des moutons par un ou une vétérinaire, au cas par cas et à des fins de bien-être animal. Quand des vétérinaires emploient des médicaments en dérogation des directives de leur monographie, ils doivent choisir prudemment les données sur lesquelles ils s'appuient pour définir les périodes d'attente nécessaires afin d'éviter les résidus dans l'alimentation humaine et s'assurer que les risques de toxicité sont acceptables. Ces préoccupations peuvent limiter les quantités d'analgésiques prescriptibles sur

une période donnée à chaque élevage (Cook, 2011). Les effets toxiques possibles d'une surdose d'AINS comprennent notamment une toxicité rénale et gastro-intestinale et l'inhibition de la coagulation sanguine (Lees et coll., 2004).

Une étude réalisée auprès d'élevages de moutons d'Irlande du Nord constate que l'absence de directives de traitement et de promotion auprès de l'industrie est un des principaux facteurs de limitation de l'emploi d'analgésiques (Crawford et coll., 2023). Dans certains pays, l'information sur l'atténuation de la douleur chez le mouton est disponible dans des formats adaptés aux éleveurs et éleveuses (Scott, 2012; Manteca et coll., 2017; MLA, 2020). Les discussions entre producteurs, productrices et vétérinaires sur les meilleures méthodes d'atténuation de la douleur chez les moutons sont une composante essentielle de l'administration d'analgésiques aux ovins (Crawford et coll., 2023). Au Canada, les dispositions actuelles du Code de pratiques n'exigent pas l'utilisation d'analgésiques pour toutes les procédures douloureuses relatives au mouton. De plus, l'absence d'une législation stricte en matière de bien-être animal – qui exigerait l'emploi d'analgésiques dans les élevages de moutons – et son exécution inadéquate pourraient influencer sur l'utilisation d'analgésiques.

2.5 Recherches futures

- **Les stratégies de gestion permettant d'éviter le besoin de procédures douloureuses mériteraient d'être étudiées davantage. Ces recherches devraient déterminer les effets de ces pratiques et la possibilité de les généraliser à diverses populations (c'est-à-dire secteur de la production animale/des produits de base, race, climat).**
- **Il faudrait approfondir la recherche (c'est-à-dire réaliser des essais cliniques) sur l'administration d'AINS aux moutons, particulièrement concernant les problèmes de santé douloureux, comme la boiterie, la mammite, les maladies infectieuses et la dystocie. Bien que certaines études aient examiné les effets de la dystocie sur la douleur chez les brebis ainsi que le comportement et le lien maternels, de nouvelles recherches pourraient se pencher sur la douleur vécue par les agneaux en cas de dystocie.**
- **Concernant les procédures et les problèmes de santé douloureux, il faudrait examiner des stratégies qui s'ajouteraient à l'anesthésie et l'analgésie pour réduire la douleur, notamment sur les effets du lien maternel et des dynamiques sociales ainsi que d'autres facteurs de stress environnementaux.**
- **Il faudrait examiner des méthodes plus pratiques de soulagement de la douleur (par exemple dermo-jets, administration orale ou transdermique), mais aussi mieux comprendre les obstacles à l'adoption de moyens de lutte contre la douleur dans l'industrie ovine canadienne. Des études sur la manière de surmonter ces obstacles à l'atténuation de la douleur dans les élevages de moutons sont nécessaires.**
- **Il faudrait mener des recherches examinant les pratiques exemplaires de gestion permettant de lutter contre la boiterie quand les moutons sont élevés partiellement ou entièrement en bâtiment clos, notamment pour déterminer les meilleures pratiques préventives dans ces troupeaux.**

2.6 Références

Alba D.F., da Rosa G., Hanauer D., Saldanha T.F., Souza C.F., Baldissera M.D., da Silva dos Santos D., Piovezan A.P., Giradini L.K. et Da Silva A.S. (2019) Subclinical mastitis in Lacaune sheep: Causative agents, impacts on milk production, milk quality, oxidative profiles and treatment efficacy of ceftiofur. *Microbial Pathogenesis*, vol. 137, p. 103732

Anderson D.E. (2014) *C-section in small ruminants*. University of Tennessee, Knoxville. Disponible à l'adresse : <https://cmapspublic3.ihmc.us/rid=1NFWWWFS1-1B245YL-168Q/>.

Angell J.W., Cripps P.J., Grove-White D. et Duncan J.S. (2015) A practical tool for locomotion scoring in sheep: Reliability when used by veterinary surgeons and sheep farmers. *Veterinary Record*, vol. 176, p. 521. <https://doi.org/10.1136/vr.102882>.

Anil L., Anil S.S. et Deen J. (2005) Pain detection and amelioration in animals on the farm: Issues and options. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, vol. 8, p. 261-278. https://doi.org/10.1207/s15327604jaws0804_3.

Animal Welfare Committee (AWC) (2022) *Opinion on the implications of castration and tail docking for the welfare of lambs*. Department for Environment, Food and Rural Affairs, the Scottish Government and the Welsh Government. Disponible à l'adresse : https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65e6fa013f6945a006035ffe/AWC_Opinion_on_the_implications_of_castration_and_tail_docking_for_the_welfare_of_lambs_Dec_2023.pdf.

Arsenault J., Girard C., Dubreuil P., Daignault D., Galarneau J.R., Boisclair J., Simard C. et Bélanger D. (2003) Prevalence and carcass condemnation from maedi-visna, paratuberculosis and caseous lymphadenitis in culled sheep from Quebec, Canada. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 59, n° 1-2, p. 67-81.

Arsenault J., Dubreuil P., Higgins R. et Bélanger D. (2008) Risk factors and impacts of clinical and subclinical mastitis in commercial meat-producing sheep flocks in Quebec, Canada. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 87, p. 373-393.

Avery B.P., Rajić A., McFall M., Reid-Smith R.J., Deckert A.E., Irwin R.J. et McEwen S.A. (2003) Antimicrobial use in the Alberta sheep industry. *The Canadian Journal of Veterinary Research*, vol. 72, p. 137-142.

Balasopoulou V., Zablotzki Y., Zerbe H. et Voigt K. (2022) Retrospective analysis of 302 ovine dystocia cases presented to a veterinary hospital with particular attention to uterine torsion. *Veterinary Medical Science*, vol. 8, p. 1683-1693. <https://doi.org/10.1002/vms3.820>.

Bauman C.A., Jones-Bitton A., Menzies P., Toft N., Jansen J. et Kelton D. (2016) Prevalence of paratuberculosis in the dairy goat and dairy sheep industries in Ontario, Canada. *Canadian Veterinary Journal*, vol. 57, p. 169-175.

Bergevin M.D., Ng V., Menzies P., Ludwig A., Mubareka S. et Clow K.M. (2023) Cache a killer: Cache Valley virus seropositivity and associated farm management risk factors in sheep in Ontario, Canada. *PLoS ONE*, vol. 18, n° 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290443>.

- Bernhard M., Frosth S. et König U. (2021) First report of outbreaks of contagious ovine digital dermatitis in Sweden. *Acta Veterinaria Scandinavica*, vol. 63. <https://doi.org/10.1186/s13028-021-00595-x>.
- Biggs P.M. (1985) Infectious animal disease and its control. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, vol. 310, p. 259-274. <https://doi.org/10.1098/rstb.1985.0115>.
- Bishop S.C. et Morris C.A. (2007) Genetics of disease resistance in sheep and goats. *Small Ruminant Research*, vol. 70, p. 48-49.
- Boundy T. (1983) Foot problems in sheep. *Veterinary Clinics of North America, Large Animal Practice*, vol. 5, p. 477-488.
- Bruce M., Young J.M., Masters D.G., Refshauge G., Thompson A.N., Kenyon P.R., Behrendt R., Lockwood A., Miller D.W. et Jacobson C. (2021) The impact of lamb and ewe mortality associated with dystocia on Australian and New Zealand sheep farms: A systematic review, meta-analysis and bio-economic model. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 196. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105478>.
- Bryne D.T., Esmonde H., Berry D.P., McGovern F., Creighton P. et McHugh N. (2019) Sheep lameness detection from individual hoof load. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 158, p. 241-248.
- Cinar M.U., Oliveira R.D., Hadfield T.S., Lichtenwalner A., Brzozowski R.J., Settlemire C.T., Schoenian S.G., Parker C., Neibergs H.L., Cockett N.E. et White S.N. (2024) Genome-wide association with footrot in hair and wool sheep. *Frontiers in Genetics*, vol. 14, p. 1297444. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1297444>.
- Clements R.H. et Stoye S.C. (2014) The 'Five Point Plan': A successful tool for reducing sheep lameness. *Veterinary Record*, vol. 175. <https://doi.org/10.1136/vr.102161>.
- Cockram M.S. et Hughes B.O. (2018) « Health and disease » dans *Animal Welfare*. 3e édition. Appleby M.C., Olsson I.A.S. et Galindo F. (dir.). Wallingford, Royaume-Uni : CABI, p. 141-159. <https://doi.org/10.1079/9781786390202.0141>.
- Cockram M.S., Menzies P., Barrett D. et Hemsted J. (2012) *Code de pratiques applicable aux soins et à la manipulation des moutons : Revue des études scientifiques relatives aux questions prioritaires*. Conseil national pour les soins aux animaux d'élevage (CNSAE). Disponible à l'adresse : https://www.nfacc.ca/resources/codes-of-practice/sheep/moutons_rapport_cs_oct_2012.pdf.
- Coetzee J.F. (2013) A review of analgesic compounds used in food animals in the United States. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, vol. 29, p. 11-28. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2012.11.008>.
- Cohen S., Foss E., Beths T. et Musk G.C. (2024) An exploration of analgesia options for Australian sheep. *Animals*, vol. 14, n° 7, p. 990. <https://doi.org/10.3390/ani14070990>.

Colditz I.G., Paull D.R., Lloyd J.B., Johnston L. et Small A.H. (2019) Efficacy of meloxicam in a pain model in sheep. *Australian Veterinary Journal*, vol. 97, p. 23-32.
<https://doi.org/10.1111/avj.12779>.

Conington J., Gao G., Stott A. et Bünger L. (2008) Breeding for resistance to mastitis in United Kingdom sheep, a review and economic appraisal. *The Veterinary Record*, vol. 162, p. 369-376.

Cook L.G. (2011) Research using unregistered analgesics in sheep. *Australian Veterinary Journal*, vol. 89. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2011.00856.x>.

Crawford P.E., Hamer K., Lovatt F., Behnke M.C. et Robinson P.A. (2023) Improving analgesia provision for sheep: An analysis of farm medicine records and attitudes towards pain relief on sheep farms in Northern Ireland. *Veterinary Record*. <https://doi.org/10.1002/vro2.75>.

Cresswell L., Ashworth A., Cole R., Mckerrow H., Girvan B., Baxter-Smith K. et Thornley E. (2023) The impact of veterinarian-farmer engagement on sheep lameness: A clinical impressions study. *Animal – science proceedings*, vol. 14, p. 146.

Dohoo I.R., Curtis R.A. et Finley G.G. (1985) A survey of sheep diseases in Canada. *Canadian Journal of Comparative Medicine*, vol. 49, p. 239-247.

Dolcé P., Bélanger M.J., Tumanowicz K., Gauthier C.P., Jutras P., Massé R., Montpetit C., Bernatchez H., McColl D. et Artsob H. (2003) *Coxiella burnetii* seroprevalence of shepherds and their flocks in the lower Saint-Lawrence River region of Quebec, Canada. *Canadian Journal of Infectious Disease*, vol. 14, p. 97-102.

Dolcé P., de Beaumont-Dupont A., Jutras P., Mailhot-Léonard F., Rosca M.A. et Aubé-Maurice J. (2023) The lower Saint Lawrence River region of Quebec, a hot spot for sheepfold-associated Q fever in Canada: Review of 258 cases. *Journal of the Association of Medical Microbiology and Infectious Disease Canada*, vol. 8, n° 3. <https://doi.org/10.3138/jammi-2023-0001>.

Duncan J.S., Angell J.W., Grove-White D., Walsh T.R., Seechurn N., Carter S. et Evans N. (2021a). Impact of research on contagious ovine digital dermatitis on the knowledge and practices of UK sheep farmers and veterinarians. *Vet Record*. <https://doi.org/10.1002/vetr.674>.

Duncan J.S., Angell J.W., Richards P., Lenzi L., Staton G.J., Grove-White D., Clegg S., Oikonomou G., Carter S.D. et Evans N.J. (2021b) The dysbiosis of ovine foot microbiome during the development and treatment of contagious ovine digital dermatitis. *Animal Microbiome*, vol. 3. <https://doi.org/10.1186/s42523-021-00078-4>.

Dunthorne E. (2021) Tail docking and castrating lambs: Does the administration of local anesthetic or meloxicam reduce the pain response exhibited? *Veterinary Evidence*, vol. 6, n° 3.

Dwyer C.M. (2008) The welfare of the neonatal lamb. *Small Ruminant Research*, vol. 76, p. 31-41.

Dwyer C.M. et Bünger L. (2012) Factors affecting dystocia and offspring vigour in different sheep genotypes. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 103, p. 257-264.

European Food Safety Authority (EFSA) (2014) Scientific opinion on the welfare risks related to the farming of sheep for wool, meat and milk production. *EFSA Journal*, vol. 12, p. 3933-4060.

- Ferrer L.M., Lacasta D., Ortín A., Ramos J.J., Tejedor M.T., Borobia M., Pérez M., Castells E., de Arcaute M.R., Ruiz H. et Windsor P.A. (2020) Impact of a topical anesthetic wound management formulation on pain, inflammation and reduction of secondary infections after tail docking in lambs. *Animals*, vol. 10, p. 1255.
- Fitzpatrick J., Scott M. et Nolan A. (2006) Assessment of pain and welfare in sheep. *Small Ruminant Research*, vol. 62, n° 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.028>.
- Fournier D., Campbell J.R. et Middleton D.M. (2006) Prevalence of maedi-visna infection in culled ewes in Alberta. *Canadian Veterinary Journal*, vol. 47, p. 460-466.
- Fthenakis G.C. (2019) Editorial: Research on mastitis in sheep. *Journal of Dairy Research*, vol. 86, p. 253.
- Fthenakis G.C. (2000) Field evaluation of flunixin meglumine in the supportive treatment of ovine mastitis. *Journal of Veterinary Pharmacology & Therapeutics*, vol. 23, p. 405-407.
- Gascoigne E., Moulard C. et Lovatt F. (2021) Considering the 3Rs for castration and tail docking in sheep. *In Practice*, vol. 43, p. 152-162. <https://doi.org/10.1002/inpr.29>.
- Gelasakis A.I., Mavrogianni V.S., Petridis I.G., Vasileiou N.G.C. et Fthenakis G.C. (2015) Mastitis in sheep—The last 10 years and the future of research. *Veterinary Microbiology*, vol. 181, p. 136-146.
- Gelasakis A.I., Kalogianni A.I. et Bossis I. (2019) Aetiology, risk factors, diagnosis and control of foot-related lameness in dairy sheep. *Animals*, vol. 9, n° 8. <https://doi.org/10.3390/ani9080509>.
- Gravador R.S., Pace E., Mooney B.R., Jaeger S.R., Gkarane V., Fahey A.G., Brunton N.P., Claffey N.A., Allen P., Diskin M.G., Moloney A.P., Farmer L.J. et Monahan F.J. (2018) A consumer study of the effect of castration and slaughter age of lambs on the sensory quality of meat. *Small Ruminant Research*, vol. 169, p. 148-153.
- Green L. et Clifton R. (2017) Diagnosing and managing footrot in sheep: An update. *In Practice*, vol. 40, p. 17-26. <https://doi.org/10.1136/inp.j4575>.
- Gregory N.G. (1998) Physiological mechanisms causing sickness behaviour and suffering in diseased animals. *Animal Welfare*, vol. 7, p. 293-305.
- Guatteo R., Levionnois O., Fournier D., Guémené D., Latouche K., Leterrier C., Mormède P., Prunier A., Servièrre J., Terlouw C. et Le Neindre P. (2012) Minimising pain in farm animals: The 3S approach: 'Suppress, Substitute, Soothe.' *Animal*, vol. 6, p. 1261-1274.
- Harris C., White J.P., Hall E., Van der Saag D. et Lomax S. (2021) Evaluation of electroencephalography, behaviour and eye temperature response to surgical castration in sheep. *Animals*, vol. 11, p. 637.
- Henderson D.C. (2007) « Neonatal conditions » dans *Diseases of Sheep*. 4^e édition. Aitken I.D. (dir.). Blackwell Publishing.
- Hodgkinson O. (2010) The importance of feet examination in sheep health management. *Small Ruminant Research*, vol. 92, p. 67-71.

Jackson A., Grove-White D.H., Angell J.W. et Duncan J.S. (2023) Comparison of cure rates from footrot and contagious ovine digital dermatitis using zinc sulphate foot bathing and topical oxytetracycline: A randomised trial. *Veterinary Record*, vol. 193, p. e3116.

Jacobson C., Bruce M., Kenyon P.R., Lockwood A., Miller D., Refshauge G. et Masters D.G. (2020a) A review of dystocia in sheep. *Small Ruminant Research*, vol. 192. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106209>.

Jacobson C., Bruce M., Kenyon P.R., Lockwood A., Miller D., Refshauge G. et Masters D.G. (2020b) *A review of maternal dystocia: Final report*. North Sydney, Australia: Meat and Livestock Australia Ltd. Disponible à l'adresse : https://www.mla.com.au/contentassets/7d138f6ee4c04de48a76b9cd862d7baf/1.lsm.0027_final_report.pdf.

Johnson J.L., Scobie D.R., Dodds K.G., Powdrell S.J.H., Rowe S.J. et McRae K.M. (2023) Genetic parameter analysis of bareness and tail traits in New Zealand sheep. *Journal of Animal Science*, vol. 101, p. 1-10.

Kaler J. et Green L.E. (2009) Farmers' practices and factors associated with the prevalence of all lameness and lameness attributed to interdigital dermatitis and footrot in sheep flocks in England in 2004. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 92, p. 52-59.

Kaler J., Wassink G.J., Green L.E. (2009) The inter- and intra-observer reliability of a locomotion scoring scale for sheep. *Veterinary Journal*, vol. 180, p. 189-194.

Kaler J., Daniels S.L.S., Wright J.L. et Green L.E. (2010) Randomized clinical trial of long-acting oxytetracycline, foot trimming, and flunixin meglumine on time to recovery in sheep with footrot. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, vol. 24, p. 420-425.

Kaler J., Mitsch J., Vázquez-Diosdado J.A., Bollard N., Dottorini T. et Ellis K.A. (2019) Automated detection of lameness in sheep using machine learning approaches: Novel insights into behavioural differences among lame and non-lame sheep. *Royal Society Open Science*, vol. 7. <https://doi.org/10.1098/rsos.190824>.

Kells N.J., Beausoleil N.J., Godfrey A.J.R., Littlewood K.E., Ward R.N. et Johnson C.B. (2020) Effect of analgesic strategies on pain behaviour associated with combined ring castration and hot iron tail docking in Merino lambs. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 222. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104914>.

Lang G., Waltner-Toews D. et Menzies P. (1991) The seroprevalence of Coxiellosis (Q fever) in Ontario sheep flocks. *Canadian Journal of Veterinary Research*, vol. 55, p. 139-142.

Lees P., Landoni M.F., Giraudel J. et Toutain P.L. (2004) Pharmacodynamics and pharmacokinetics of nonsteroidal anti-inflammatory drugs in species of veterinary interest. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, vol. 27, p. 479-490. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2885.2004.00617.x>.

Lewis K.E. et Green L.E. (2020) Management practices associated with prevalence of lameness in lambs in 2012–2013 in 1,271 English sheep flocks. *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 7. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.519601>.

- Ley S.J., Livingston A. et Waterman A.E. (1989) The effect of chronic clinical pain on thermal and mechanical thresholds in sheep. *Pain*, vol. 39, p. 353-357.
- Ley S.J., Waterman A.E., Livingston A. et Parkinson T.J. (1994) Effect of chronic pain associated with lameness on plasma cortisol concentrations in sheep: A field study. *Research in Veterinary Science*, vol. 57, p. 332-335.
- Li H., Liu J., Zhu W. et Mao S. (2017) Intraruminal infusion of oligofructose alters ruminal microbiota and induces acute laminitis in sheep. *Journal of Animal Science*, vol. 95, p. 5407-5419.
- Lizarraga I. et Chambers J.P. (2012) Use of analgesic drugs for pain management in sheep. *New Zealand Veterinary Journal*, vol. 60. <https://doi.org/10.1080/00480169.2011.642772>.
- Lloyd J., Kessell A., Barchia I., Schröder J. et Rutley D. (2016) Docked tail length is a risk factor for bacterial arthritis in lambs. *Small Ruminant Research*, vol. 144, p. 17-22.
- Maboni G., Blanchard A., Frosth S., Stewart C., Emes R. et Töttemeyer S. (2017) A distinct bacterial dysbiosis associated skin inflammation in ovine footrot. *Scientific Reports*, vol. 7, p. 45220.
- Manteca X., Temple D., Mainau E. et Llonch P. (2017) *Assessment of pain in sheep*. The Farm Animal Welfare Fact Sheet No. 17. Farm Animal Welfare Education Centre. Disponible à l'adresse : https://awecadvisors.org/wp-content/uploads/2023/08/Fact_Sheet_FAWEC_n17_en.pdf.
- Marini D., Pippia J., Colditz I.G., Hinch G., Petherick J.C. et Lee C. (2015) Randomised trial of the bioavailability and efficacy of orally administered flunixin, carprofen and ketoprofen in a pain model in sheep. *Australian Veterinary Journal*, vol. 93, n° 8. <https://doi.org/10.1111/avj.12351>.
- Marini D., Monk J.E., Campbell D.L.M., Lee C., Belson S. et Small A. (2023) Sex impacts pain behaviour but not emotional reactivity of lambs following ring tail docking. *PeerJ*, vol. 11, p. e15092 <https://doi.org/10.7717/peerj.15092>.
- Marini D., Kalinowski T. et Small A. (2025) Efficacy of a single central injection of lignocaine at the scrotal neck on the behavioural response of lambs to castration. *Veterinary Anesthesia and Analgesia*, vol. 52, p. 83-89.
- Martínez-Burnes J., Muns R., Barrios-García H., Villanueva-García D., Domínguez-Oliva A. et Mota-Rojas D. (2021) Parturition in mammals: Animal models, pain and distress. *Animals*, vol. 11, n° 10. <https://doi.org/10.3390/ani11102960>.
- Masłowska K., Mizzoni F., Dwyer C.M. et Wemelsfelder F. (2020) Qualitative behavioural assessment of pain in castrated lambs. *Applied Animal Behavioural Science*, vol. 233. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105143>.
- McGrath S.R., Allworth M.B., Stephens J., Henry M.L.E. et Holman B.W.B. (2024) The liveweight, carcasses and meat quality of intact and castrated male lambs reared under a pasture-fed Australian production system. *Animal Production Science*, vol. 64, p. AN24155.

McHugh N., Berry D.P. et Pabiou T. (2016) Risk factors associated with lambing traits. *Animals*, vol. 10, p. 89-95.

McKellar Q.A. (2006) Round table discussion: Veterinary drugs for sheep. *Small Ruminant Research*, vol. 62, p. 3-4. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.08.017>.

McLennan K., Rebelo C.J.B., Corke M.J., Holmes M.A., Leach M.C. et Constantino-Casas F. (2016a) Development of a facial expression scale using footrot and mastitis as models of pain in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 176, p. 19-26.

McLennan K.M., Rebelo C.B.J., Corke M.J., Holmes M.A., Leach M.C. et Constantino-Casas F. (2016b) Development of a facial expression scale using footrot and mastitis as models of pain in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 176, p. 19-26.

McPherson A.S., Dhungyel O.P. et Whittington R.J. (2019) The microbiome of the footrot lesion in Merino sheep is characterized by a persistent bacterial dysbiosis. *Veterinary Microbiology*, vol. 236, p. 108378.

Meadows S., Jones-Bitton A., McEwen S., Jansen J. et Menzies P. (2015) *Coxiella burnetii* seropositivity and associated risk factors in sheep in Ontario, Canada. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 122, p. 129-134.

Meadows S., Jones-Bitton A., McEwen S.A., Jansen J., Patel S.N., Filejski C. et Menzies P. (2016) *Coxiella burnetii* (Q fever) seropositivity and associated risk factors in sheep and goat farm workers in Ontario, Canada. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, vol. 16, p. 643-639.

Meat & Livestock Australia (MLA) (2020) *Pain mitigation in sheep*. Fact sheet. Disponible à l'adresse : https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/research-and-development/program-areas/animal-health-welfare-and-biosecurity/20mla-pain-mitigation-factsheet_sheep_v4.pdf.

Menzies P.I. et Ramanoon S.Z. (2001) Mastitis of sheep and goats. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, vol. 17, p. 333-358.

Moon C.S., Berke O., Avery B.P., McEwen S.A., Reid-Smith R.J., Scott L. et Menzies P. (2010) Characteristics of drug use on sheep farms in Ontario, Canada. *Canadian Veterinary Journal*, vol. 51, p. 1373-1378.

Mucha S., Bunger L. et Conington J. (2015) Genome-wide association study of footrot in Texel sheep. *Genetics Selection Evolution*, vol. 47, n° 35. <https://doi.org/10.1186/s12711-015-0119-3>.

Olsen M.E., Gard M.S., Grandin J. et Morck D.W. (1998) Serological classification and virulence determination of *Dichelobacter nodosus* isolated from Alberta and British Columbia sheep. *Canadian Journal of Veterinary Research*, vol. 62, p. 33-37.

Orihuela A. et Ungerfeld R. (2019) Tail docking in sheep (*Ovis aries*): A review on the arguments for and against the procedure, advantages/disadvantages, methods, and new evidence to revisit the topic. *Livestock Science*, vol. 230. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103837>.

Page P., Evans M., Phythian C., Vasileiou N. et Crilly J.P. (2021) Mastitis in meat sheep. *UK-Vet Livestock*, vol. 26. <https://doi.org/10.12968/live.2021.26.5.248>.

Parkinson T.J., Vermunt J.J. et Noakes D.E. (2019) « Maternal dystocia » dans *Veterinary Reproduction and Obstetrics*. St. Louis: W.B. Saunders, p. 236-249.

Phythian C.J., Cripps P.C., Grove-White D., Jones P.H., Michalopoulou E. et Dunca J.S. (2013) Observing lame sheep: Evaluating test agreement between group-level and individual animal methods of assessment. *Animal Welfare*, vol. 22, p. 417-422.

Prosser N.S., Purdy K.J. et Green L.E. (2019) Increase in the flock prevalence of lameness in ewes is associated with a reduction in farmers using evidence-based management of prompt treatment: A longitudinal observational study of 154 English sheep flocks 2013–2015. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 173. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104801>.

Queiroga M.C. (2017) Prevalence and aetiology of sheep mastitis in Alentejo region of Portugal. *Small Ruminant Research*, vol. 153, p. 123-130.

Ridler A., Hickson R., Griffith K., Pettigrew E. et Kenyon P. (2019) Effects of *Streptococcus dysgalactiae* polyarthritis on lamb growth and mortality and risk factors for disease. *Small Ruminant Research*, vol. 177, p. 25-28.

Roche S.M., Ralston B.J., Olson B., Sharpe B.D., Schatz C., Beaugrand K., Ross J.A., Broomfield M.A., Allan N. et Olson M. (2024) Efficacy of a lidocaine-impregnated elastrator band for castration and tail docking in lambs. *Animals*, vol. 14, p. 1403.

Sartori E.D., Sessim A.G., Brutti D.D., Lopes J.F., McManus C.M. et Barcellos J.O. (2020) Fetal programming in sheep: Effects on pre- and postnatal development in lambs. *Journal of Animal Science*, vol. 98, p. skaa294.

Scott P.R. (2001) Osteoarthritis of the elbow joint in adult sheep. *Veterinary Record*, vol. 149, p. 652-654. <https://doi.org/10.1136/vr.149.21.652>.

Scott P.R. (2005) The management and welfare of some common ovine obstetrical problems in the United Kingdom. *The Veterinary Journal*, vol. 170, p. 33-40.

Scott P.R. (2011) Treatment and control of respiratory disease in sheep. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, vol. 27, p. 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2010.10.016>.

Scott P. (2012) *Pain management in livestock*. NADIS. Disponible à l'adresse : <https://www.nadis.org.uk/disease-a-z/sheep/pain-management-in-livestock>.

Scott P.R. et Sargison N.D. (2012) Diagnosis and treatment of joint infections in 39 adult sheep. *Small Ruminant Research*, vol. 106, p. 16-20. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.013>.

Schwartzkopf-Genswein K.S., Nordi W.M., Gellatly D., Meléndez D.M., Schwinghamer T.D., Marti S., Anklam K.S., Dopfer D. et Van Donkersgoed J. (2020) PSV-1 A prospective longitudinal study of the incidence and risk factors associated with footrot in feedlot lambs in southern Alberta. *Journal of Animal Science*, vol. 98, p. 227. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa278.417>.

Simpson K.M., Van Metre D.C., Applegate T.J., Taylor J.D., Johnson J., Brooks K.S. et Mama K.R. (2022) Evaluation of the 4-point regional nerve block using 2% lidocaine in sheep. *Canadian Veterinary Journal*, vol. 63, p. 269-274.

Schllemer N.R., Coneglian M.M., Mendes A.F., Pontarolo D.V., Reck A.M., Coelho A.M., Artner B., Carrasco A.O.T., Seki M.C. et Bertagnon H.G. (2021) Effect of flunixin or ketoprofen in caudectomy by elastration in lambs: Pain and neutrophil function. *Brazilian Journal of Veterinary Research*, vol. 41, p. e06652.

Small A.H., Jongman E.C., Niemeyer D., Lee C. et Colditz I.G. (2020) Efficacy of precisely injected single local bolus of lignocaine for alleviation of behavioural responses during tail docking and castration of lambs with rubber rings. *Research in Veterinary Science*, vol. 133, p. 210-218.

Small A., Fisher A.D., Lee C. et Colditz I. (2021a) Analgesia for sheep in commercial production: Where to next? *Animals*, vol. 11. <https://doi.org/10.3390/ani11041127>.

Small A., Marini D. et Colditz I. (2021b) Local anesthetic delivered with a dual action ring and injection applicator reduces the acute pain response of lambs during tail docking. *Animals*, vol. 11, p. 2242.

Small A., Fétiveau M., Smith R. et Colditz I. (2021c) Three studies evaluating the potential for lidocaine, bupivacaine or procaine to reduce pain-related behaviours following ring castration and/or tail docking in lambs. *Animals*, vol. 11, p. 3583.

Smith J.S. et Kreuder A.J. (2024) « Antimicrobial therapy in sheep and goats » dans *Antimicrobial Therapy in Veterinary Medicine*. 6e édition. Dowling P.M., Prescott J.F. et Baptiste K.E. (dir.). <https://doi.org/10.1002/9781119654629.ch31>.

Stonos N., Bauman C., Menzies P., Wootton S.K. et Karrow N.A. (2017) Prevalence of small ruminant lentivirus and *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* co-infection in Ontario dairy sheep and dairy goats. *The Canadian Journal of Veterinary Research*, vol. 81, p. 155-159.

Teubes M., Scholtz A.J., Dzama K., Cloete S.W.P. (2025) Lamb behaviour during and shortly after tail-docking. *South African Journal of Animal Science*, vol. 55, p. 3.

Tsekouras N., Christodouloupoulos M.A.B., Meletis E., Kousoulis C., Kostoulas P., Pantazis V., Papatsiros V.G., Dimoveli K. et Gougoulis D. (2025) Associations between non-steroidal and steroidal anti-inflammatory drug use, welfare, and milk production in dairy sheep: A multivariate study. *Animals*, vol. 15. <https://doi.org/10.3390/ani15081104>.

Turcotte M.E., Buczinski S., Leboeuf A., Harel J., Bélanger D., Tremblay D., Gagnon C.A. et Arsenault J. (2021) Epidemiological study of *Coxiella burnetii* in dairy cattle and small ruminants in Québec, Canada. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 191. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105365>.

Uehlinger F.D., Wilkins W., Godson D.L. et Drebot M.A. (2018) Seroprevalence of Cache Valley virus and related viruses in sheep and other livestock in Saskatchewan, Canada. *Canadian Veterinary Journal*, vol. 59, p. 413-418.

- Ural M.N. (2021) Use of non-steroidal anti-inflammatory drugs in the treatment of bacterial respiratory tract infections of lambs. *International Journal of Basic Clinical Pharmacology*, vol. 10, p. 1149-1155.
- Vasileiou N.G.C., Cripps P.J., Ioannidi K.S., Chatzopoulos D.C., Gougoulis D.A., Sarrou S., Orfanou D.C., Politis A.P., Calvo Gonzalez-Valerio T., Argyros S., Mavrogianni V.S., Petinaki E. et Fthenakis G.C. (2018) Extensive countrywide field investigation of subclinical mastitis in sheep in Greece. *Journal of Dairy Science*, vol. 101, p. 7297-7310.
- Vasileiou N.G.C., Arsenopoulos K., Katsafadou A.I., Angelou A., Mavrogianni V.S., Fthenakis G.C. et Papadopoulos E. (2019) Interactions between parasitism and milk production – Mastitis in sheep. *Small Ruminant Research*, vol. 180, p. 70-73.
- Vasileiou N.G.C., Lianou D.T., Michael C.K., Fthenakis G.C. et Mavrogianni V.S. (2022) Vaccination against bacterial mastitis in sheep. *Vaccines*, vol. 10. <https://doi.org/10.3390/vaccines10122088>.
- Vittis Y. et Kaler J. (2019) Environmental and field characteristics associated with lameness in sheep: A study using a smartphone lameness app for data recording. *Veterinary Record*, vol. 186. <https://doi.org/10.1136/vr.105476>.
- Waltner-Toews D., Mondesire R. et Menzies P. (1991) The seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in Ontario sheep flocks. *Canadian Veterinary Journal*, vol. 32, p. 734-737.
- Weary D.M., Niel L., Flower F.C. et Fraser D. (2006) Identifying and preventing pain in animals. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 100, p. 64-76. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.04.013>.
- Wilson-Welder J.H., Nally J.E., Alt D.P., Palmer M.V., Coatney J. et Plummer P. (2018) Experimental transmission of bovine digital dermatitis to sheep: Development of an infection model. *Veterinary Pathology*, vol. 55, p. 245-257.
- Windsor P.A. (2022) Role of topical anesthesia in pain management of farm animals, a changing paradigm. *Animals*, vol. 12. <https://doi.org/10.3390/ani12182459>.
- Winter A.C. (2011) Treatment and control of hoof disorders in sheep and goats. *Veterinary Clinics of North America*, vol. 27, p. 187-192.
- Winter J.R., Kaler J., Ferguson E., Kilbride A.L. et Green L.E. (2015) Changes in prevalence of, and risk factors for, lameness in random samples of English sheep flocks: 2004–2013. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 122, p. 121-128.
- Woods J.M. et Adcock S.J.J. (2025) Healing progression of tail docking and ear tag wounds in lambs. *Scientific Reports*, vol. 15, p. 3061.
- Zanolari P., Dürr S., Jores J., Steiner A. et Kuhnert P. (2021) Ovine footrot: A review of current knowledge. *Veterinary Journal*, vol. 271. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2021.105647>.
- Zufferey R., Minnig A., Thomann B., Zwyygart S., Keil N., Schüpbach G., Miserez R., Zanolari P. et Stucki D. (2021) Animal-based indicators for on-farm welfare assessment in sheep. *Animals*, vol. 11. <https://doi.org/10.3390/ani11102973>.

3 Infection endoparasitaire et ectoparasitaire

Conclusions :

1. Des endoparasites peuvent causer des maladies et des blessures nuisant à la fonction physiologique et à l'état affectif des moutons.
2. Les ectoparasites peuvent transmettre différents pathogènes et causer des blessures, des effets toxiques, de l'irritation et de l'anémie.
3. Les ectoparasites et les endoparasites peuvent réduire l'état corporel et la vigueur des moutons.
4. Des stratégies de traitement sélectives et la prise en compte de la population refuge (population de parasites non exposée aux vermifuges) sont des aspects importants de la gestion parasitaire pour lutter contre la nématodose gastro-intestinale (infection à NGI).
5. Il est important d'adéquatement doser et entreposer les médicaments, de calibrer correctement les pistolets doseurs et d'éviter les thérapies à action prolongée pour ralentir le développement d'une résistance aux anthelminthiques.
6. Comme les facteurs de risque dépendent de l'exploitation, la sélection de médicaments antiparasitaires et les stratégies d'application doivent être déterminées selon la situation par le ou la vétérinaire du troupeau.
7. Étant donné que la résistance à l'infection à NGI est modérément héréditaire, il serait possible de mettre en œuvre une sélection génétique, par des paramètres cliniques (par exemple nombre d'œufs dans les matières fécales [NEF], FAMACHA) et test salivaire de dosage des IgA (test salivaire CarLA^{MD}).
8. La gestion parasitaire intégrée, qui associe la génétique à des stratégies de prévention et de traitement adéquates, est essentielle pour lutter durablement contre les parasites.
9. L'apport adéquat de protéines dans l'alimentation protège les agneaux des effets des infections à *Haemonchus*.
10. Les stratégies de pâturage doivent tenir compte du niveau de contamination, des risques pour les animaux et des conditions environnementales.

3.1 Implications possibles de la présence de parasites pour le bien-être animal

Certains parasites causent des maladies et des blessures, qui nuisent à la fonction physiologique et à l'état affectif du mouton. En effet, les maladies entraînent des sensations négatives chez le mouton, comme de la douleur, de la souffrance, un état maladif et un inconfort. La compréhension des mécanismes pathophysiologiques des maladies parasitaires fournit des éléments biologiques essentiels pour interpréter les effets possibles des parasites sur le bien-être

du mouton. La pathophysiologie d'une maladie décrit les altérations de la fonction normale consécutives à une maladie. Une lésion cellulaire due à une maladie entraîne des modifications de la structure et de la fonction de certains tissus, ce qui cause le développement des signes cliniques et des sensations associés à la maladie (Cockram et Hughes, 2018).

Certains changements pathophysiologiques causés par des parasites peuvent ne pas être suffisamment graves pour causer (a) un dysfonctionnement reconnaissable, (b) des signes cliniques, et/ou (c) des modifications des états affectifs associées à la maladie. Certaines maladies sont résolutes, se réparent ou sont combattues avant leur évolution en dysfonctionnement reconnaissable ou en états mentaux négatifs graves. D'autres sont latentes et peuvent rester dans le corps sans signes manifestes (maladie subclinique) ou elles peuvent évoluer en maladie clinique à un stade ultérieur. Certaines maladies parasitaires ont des conséquences négligeables et, parfois, les moutons ne sentent pas la présence des parasites. Le fait que l'infestation parasitaire cause une maladie ou une blessure dépend de facteurs comme le type de parasite, la gravité de l'infestation ainsi que l'immunité, le génotype, la santé, la nutrition et l'état physiologique du mouton (Stear et coll., 2003).

Les mécanismes biologiques responsables de plusieurs des effets nocifs des maladies parasitaires chez l'animal proviennent des réactions inflammatoires à la maladie et de leurs conséquences sur le cerveau. Les parasites peuvent, à des degrés divers, causer : des lésions tissulaires, une inflammation, des réponses immunitaires, une réaction de phase aiguë, un état maladif, un inconfort, une anorexie, une perte de poids et de la faiblesse (Kyriazakis et coll., 1998; Colditz, 2003; Williams, 2011; McRae et coll., 2015).

3.1.1 Endoparasites

- Les protozoaires, comme les cryptosporidies et les coccidies, peuvent endommager les cellules épithéliales intestinales des agneaux les plus jeunes et causer de la diarrhée, de l'anorexie et une douleur abdominale (Fresán et Pliego, 2021).
- Les vers ronds parasites entériques ou nématodes, comme les espèces *Haemonchus*, *Teladorsagia* et *Trichostrongylus*, peuvent causer des maladies et nuire au bien-être :
 - en obstruant mécaniquement les conduits et le tube digestif;
 - en suçant le sang et en causant de l'anémie, par exemple *Haemonchus contortus* (Baker et coll., 1959);
 - en endommageant la paroi de la caillette et en réduisant la sécrétion d'acides et d'enzymes (Holmes, 1987);
 - en causant une gastro-entérite parasitaire. La diarrhée est due à plusieurs facteurs conjugués : la malabsorption du digesta, la sécrétion d'eau et d'électrolytes causée par une atrophie villositaire dans l'intestin grêle, la réduction du temps de transit du digesta, les réponses immunitaires des muqueuses et l'inflammation qui augmentent la perméabilité de l'intestin aux fluides, le plasma et les mucines, et les modifications de la composition de la flore intestinale (Stear et coll., 2003; Cortés et coll., 2020; Jacobson et coll., 2020);
 - en affaiblissant les moutons par la consommation du digesta et de la paroi du tube digestif, et parfois par une hémorragie du tube digestif. De plus, les nématodes peuvent causer une inappétence et une perte de protéines (en raison de la

désorption de protéines et de la paroi endommagée du tube digestif). Cette diminution de l'apport énergétique des nutriments peut entraîner une perte de poids (Holmes, 1987). En cas d'anémie, cela peut causer un état de faiblesse (Flay et coll., 2022). En cas de charge parasitaire élevée, les moutons doivent allouer de l'énergie à la réparation des tissus et à la réponse immunitaire. En raison de l'effet global de la diminution de quantité d'énergie disponible chez les moutons infestés de nématodes, leur activité comportementale est moins complexe et leur activité est réduite par rapport aux moutons traités par anthelminthiques (Burgunder et coll., 2018; Ikurior et coll., 2020; Reeves et coll., 2024; Hempstead et coll., 2023; Högberg et coll., 2021).

- Les strongles pulmonaires (espèces *Dictyocaulus* et *Muellerius*) peuvent se trouver dans les bronches. Ils peuvent causer de la toux, un état de faiblesse, une perte d'état corporel et des difficultés respiratoires (Panuska, 2006).
- Les grandes douves du foie (*Fasciola hepatica*) peuvent causer des maladies, car leur migration est nocive pour la structure et la fonction hépatiques. Cela peut se manifester par une perte de poids, de l'anémie et de l'hypoprotéinémie (Stuen et Ersdal, 2022).
- Les ténias (*Moniezia* ou *Thysanosoma*), normalement, ne causent pas de problèmes graves, sauf s'ils sont en grand nombre. Ils peuvent alors entraîner une perte de poids et une obstruction intestinale (Elliott, 1986).

3.1.2 Ectoparasites

Les parasites externes peuvent transmettre différents types de pathogènes, causer des dommages directs, des effets toxiques, de l'irritation, de l'anémie, une allergie et une perte générale d'état corporel.

- Les moutons infestés par le barbin du mouton (espèces *Melophagus*) peuvent connaître une perte d'état corporel et une anémie, car l'insecte suce leur sang par la peau et cause une irritation (Small, 2005; Plant, 2006).
- Les tiques (Ixodidae) peuvent s'accrocher au mouton pour sucer son sang. Elles peuvent causer irritation, infection, anémie et transmettre divers pathogènes viraux, bactériens et protozoaires (Cortinas et Jones, 2006; Torina et Caracappa, 2012).
- Les moustiques, mouches noires, brûlots, mouches des sables, taons, mouches à chevreuil et mouches piquantes des étables peuvent mordre et irriter les moutons. Certaines transmettent des virus. La mouche domestique commune, *Musca domestica*, peut transmettre des bactéries, notamment les espèces *Salmonella* (Cortinas et Jones, 2006).
- Les poux broyeur (espèces *Damalinea*) et les anoploures (espèces *Linognathus*) peuvent causer une irritation, qui fait que le mouton se frotte, se gratte, morde, souffre d'anémie, et réduit ses temps de repos et son alimentation (Cortinas et Jones, 2006).

- L'œstre du mouton (espèces *Oestrus*) dépose ses larves directement dans les naseaux du mouton ou autour. Les larves se déplacent ensuite dans les cavités nasales et les sinus, ce qui cause une irritation (Cortinas et Jones, 2006).
- Les mouches de la viande, dites aussi calliphoridés (espèces *Lucilia* et *Calliphora*), peuvent pondre sur les ovins. Après l'éclosion, les larves peuvent pénétrer dans la chair et causer un effet toxique dû à la sécrétion d'ammoniac. La myiase est un problème de santé douloureux s'accompagnant d'une inflammation ou d'une irritation et entraînant parfois la mort (Wall et Lovatt, 2015). Les moutons peuvent avoir de la fièvre, moins s'alimenter et présenter des concentrations plasmatiques plus élevées de cortisol, de cytokines et de protéines de la phase aiguë (Colditz et coll., 2005; Shutt et coll., 1988). Les procédures chirurgicales, comme la caudectomie et le mulesing, qui sont utilisées pour réduire le risque de myiase, peuvent causer elles aussi de la douleur (Plant, 2006).
- Les mites peuvent causer une dermatite exsudative allergique. La gale (psoropte du mouton), causée par les espèces *Psoroptes* et non observée au Canada, peut produire une irritation intense. Les moutons canadiens sont parfois affectés par d'autres espèces de mites (Cortinas et Jones, 2006). L'irritation peut causer une activité de frottement, dont la gravité augmente quand l'infestation par les mites se développe. Chez le mouton, la diminution de l'alimentation et du temps de repos peut être suivie d'une émaciation et d'infections bactériennes systémiques (Berriatua et coll., 2001; Corke et Broom, 1999; Milne et coll., 2008).

Quand la lutte contre les parasites externes nécessite une manipulation, une immersion ou une vaporisation, la procédure peut causer du stress et l'immersion peut entraîner des infections bactériennes (Plant, 2006; Hargreaves et Hutson, 1990).

3.2 Lutte antiparasitaire au moyen de produits chimiques ou de médicaments

En général, les programmes antiparasitaires comprennent l'administration de médicaments anthelminthiques. Soulignons toutefois que tous ces programmes nécessitent aussi d'autres modes de lutte antiparasitaire, comme la surveillance et le traitement sélectif, la mise en quarantaine des animaux nouvellement arrivés dans le troupeau, une enquête sur les échecs de traitement et une gestion du pâturage pour maîtriser le niveau de contamination (Menzies, 2019).

3.2.1 Nématodes gastro-intestinaux (NGI)

Des niveaux faibles de présence de parasites ont peu de répercussions sur la productivité et le bien-être, et ils permettent aux animaux de développer leur immunité. L'objectif est alors d'exposer de manière limitée les animaux qui n'ont jamais été infectés par des larves infectieuses, pour obtenir de faibles niveaux de charge parasitaire (Sargison, 2011). L'exposition à des nombres élevés de larves infectieuses peut causer des maladies cliniques et la mort, chez les agneaux et les moutons matures, les agneaux jamais infectés auparavant étant les plus à risque (Menzies, 2019).

La charge de NGI varie quelque peu selon les saisons, en fonction de la température et de l'humidité. Une étude réalisée en Ontario et au Québec montre que le nombre d'œufs dans les

matières fécales (NEF) atteint un pic au printemps pour les brebis et en été pour les agneaux, le nombre de larves dans le pâturage atteignant son niveau maximal en été et en automne, selon les conditions météorologiques particulières de chaque zone (Mederos et coll., 2010). Auparavant, le nématode *Haemonchus* mourait systématiquement en hiver au Canada (Swales, 1939; Falzon et coll., 2014), mais les changements climatiques ont modifié la donne dans de nombreuses zones et ils doivent être pris en compte dans l'élaboration des programmes antiparasitaires.

3.2.1.1 Produits chimiques et médicaments de la lutte contre les NGI

Les anthelminthiques servant à traiter les NGI sont des catégories à large spectre de lactones macrocycliques, de benzimidazoles, d'imidazothiazoles, de spiro-indoles et de dérivés d'amino-acétonitrile, ainsi que le closantel, un anthelminthique à spectre étroit (efficace contre *Haemonchus contortus* et *Fasciola hepatica*) (Menziez, 2019). La plus ancienne de ces catégories existe seulement depuis les années 1960 (benzimidazoles) et, en raison des longs délais du processus de découverte d'un médicament anthelminthique, il est peu probable que de nouvelles catégories soient découvertes (Sargison, 2012). Il faut le souligner, car on constate une résistance très répandue des NGI à différentes classes d'anthelminthiques dans le monde (Sayers et Sweeney, 2005; Sargison, 2011; Arsenopoulos et coll., 2021; Höglund et Gustaffson, 2023), ainsi que dans des troupeaux ovins canadiens, plusieurs études ayant montré des niveaux élevés de résistance aux anthelminthiques (Mederos et coll., 2010; Barrere et coll., 2013; Falzon et coll., 2013a; Westers et coll., 2017).

L'efficacité d'un traitement au moyen de particules de fil d'oxyde de cuivre contre les NGI a été étudiée. Si les résultats montrent une certaine efficacité contre *Haemonchus*, ils sont moins uniformes pour d'autres NGI. L'utilité du produit est toutefois remise en question, car les moutons sont très sensibles à la toxicité du cuivre (Torres-Acosta et Hoste, 2008). Par ailleurs, bien que de nombreux remèdes à base de plantes aient fait l'objet de plusieurs études, les données probantes scientifiques manquent sur leur efficacité et il existe des préoccupations concernant la variabilité de leur teneur biochimique et la non-standardisation de ces produits (Torres-Acosta et Hoste, 2008).

La vaccination au Barbervax (non disponible au Canada) réduit le risque d'haemonchose chez l'agneau, mais elle ne protège pas des autres espèces de NGI (Andronicos et coll., 2025).

3.2.1.2 Traitement ciblé (sélectif) et population refuge

On estime que 80 % de la charge de NGI se trouve dans 20 à 30 % des animaux (Arsenopoulos et coll., 2021). Si des allèles de résistance se trouvent dans la population parasite, l'exposition accrue des NGI aux anthelminthiques accélère le développement de la résistance (Sargison, 2011). C'est pourquoi un traitement sélectif (au lieu d'un traitement généralisé) permet de concentrer le dosage thérapeutique sur les individus susceptibles d'avoir une plus grande charge de vers ou sur les individus présentant des signes cliniques, tout en conservant une population refuge dans les animaux non traités. Il faut qu'au moins 10 % d'un groupe ne reçoive aucun traitement (Arsenopoulos et coll., 2021), et des pourcentages plus élevés, s'ils sont réalisables, ralentissent encore plus le développement de la résistance (Höglund et Gustaffson, 2023). Comparativement à un traitement généralisé, un traitement sélectif (consistant à traiter seulement les animaux susceptibles d'être cliniquement atteints) à l'agnelage, se fondant sur l'âge, la cote

d'état de chair (CEC) et le score FAMACHA (Faffa Malan Chart) réduit de 47 % le nombre d'animaux traités dans une étude réalisée en Ontario (Westers et coll., 2017). Chez ces animaux (CEC faible, score FAMACHA élevé, ainsi que les brebis portant plusieurs agneaux), il est plus probable de constater une augmentation de l'excrétion fécale d'œufs pendant la période du péripartum (Högberg et coll., 2021; González-Warleta et coll., 2025). L'étude réalisée en Ontario n'observe pas de différences dans le pourcentage de traitements nécessaires pendant la saison de pâturage ni dans le pourcentage de morts dues au parasitisme (Westers et coll., 2017). Il est donc possible de maintenir une population refuge dans le troupeau et d'obtenir des résultats cliniques identiques tout en réduisant le coût des traitements. Pendant la saison de pâturage, la charte FAMACHA permet de faire en sorte que seuls les moutons cliniquement affectés par *haemonchus* soient traités et de préserver ainsi une population refuge en détectant les problèmes du troupeau avant l'apparition d'une maladie grave ou de morts (Torres-Acosta et Hoste, 2008; Menzies, 2019; Zajac et Garza, 2020). Par ailleurs, pour des infections par d'autres NGI, le fait de traiter les agneaux selon leur taux de croissance (Crilly, 2023) ou le score de résidus de matières fécales (Menzies, 2019) peut contribuer à appliquer un traitement sélectif seulement aux animaux les plus susceptibles de présenter la charge parasitaire la plus élevée.

Il faut aussi prendre en compte la contamination du pâturage. En effet, le fait de traiter puis déplacer les moutons vers un pâturage stérile accélère le développement de la résistance dans la population de parasites, comparativement au fait de les traiter puis de les déplacer vers un pâturage contaminé ou de les déplacer avant de les traiter (Torres-Acosta et Hoste, 2008; Höglund et Gustaffson, 2023). En permettant que les animaux soient réinfectés par un petit nombre de parasites sensibles aux anthelminthiques (traitement suivi du déplacement vers un pâturage contaminé) ou en les déplaçant avant de les traiter (ce qui permet la contamination du pâturage par des parasites sensibles avant le traitement), la proportion de parasites sensibles dans la population augmente. Il est essentiel de prévoir des stratégies avec le ou la vétérinaire du troupeau pour maîtriser les niveaux de la charge parasitaire et préserver les populations refuges.

De plus, il est essentiel de consigner ces informations, car les animaux nécessitant un traitement anthelminthique de façon répétée (par exemple ayant un score FAMACHA de 4 ou 5) doivent être réformés, de façon à réduire la charge parasitaire environnementale provenant de ces individus (Menzies, 2019).

3.2.1.3 Sélection des médicaments et stratégies d'utilisation pour éviter la résistance

En cas de prescription d'anthelminthiques, on peut réduire le risque de résistance en évitant un dosage insuffisant. Il est recommandé de peser les animaux (ou de peser le plus lourd du groupe), de calibrer le pistolet doseur, de calculer correctement le dosage du médicament, et d'administrer et d'entreposer adéquatement le médicament (Menzies, 2019; Höglund et Gustaffson, 2023). Les anthelminthiques à action prolongée sont associés à l'augmentation du risque de résistance et ils doivent être évités (Sargison, 2011; Menzies, 2019). Dans la mesure du possible, il est recommandé d'employer des anthelminthiques à spectre étroit pour ralentir la résistance (Sargison, 2011). Le fait de priver l'animal d'aliments pendant les 24 heures avant l'administration orale du vermifuge peut ralentir le taux de passage et améliorer ainsi l'absorption du médicament (Sargison, 2011; Menzies, 2019), mais certaines études montrent que cela ne se produit pas nécessairement si le mouton est privé de nourriture après avoir broué dans des pâturages riches (Sargison, 2011), ce qui montre la nécessité d'élaborer des plans de

lutte antiparasitaire pour chaque élevage en consultant le ou la vétérinaire du troupeau. Une étude de 2010 réalisée en Ontario constate que les traitements généralisés sont courants, tout comme le non-calibrage des pistolets doseurs avant leur utilisation (Falzon et coll., 2013b). Bien que l'administration simultanée de plusieurs classes d'anthelminthiques puisse augmenter l'efficacité en cas de résistance à un seul médicament (Zajac et Garza, 2020), cette pratique peut aussi accélérer le développement d'une résistance à plusieurs classes de médicaments (Menzies, 2019). La multiplicité des facteurs influant sur la sélection du médicament et les utilisations diverses selon l'exploitation expliquent pourquoi chaque élevage doit élaborer un programme antiparasitaire qui lui soit propre, avec l'aide du ou de la vétérinaire du troupeau.

3.2.2 Trématodes (douve, par exemple)

Une partie de la lutte contre les douves consiste à utiliser des anthelminthiques pour supprimer l'excrétion d'œufs et lutter contre la contamination du pâturage, mais elle doit aussi comprendre une gestion du pâturage pour éviter le contact des organismes infectieux avec des hôtes sensibles ainsi que le drainage du pâturage pour réduire l'éclosion d'œufs et la survie aux stades larvaires libres (Sargison, 2011). Bien que tous les anthelminthiques efficaces contre les douves agissent contre les douves adultes présentes dans les voies biliaires, leur efficacité diffère pour les douves immatures présentes dans le foie (Sargison, 2011). On observe une résistance aux anthelminthiques, c'est pourquoi il est important d'envisager une approche holistique, qui englobe la gestion de l'environnement, les rétroactions des abattoirs (pour déterminer les lésions hépatiques) et des traitements ciblés convenant au stade d'infection estimé (Colston et Mearns, 2023).

3.2.3 Coccidiose

En général, la coccidiose clinique est une maladie touchant uniquement les jeunes et elle est liée au niveau de contamination aux oocystes de l'environnement ainsi qu'à la fonction immunitaire de l'hôte (Menzies, 2019). On peut utiliser des coccidiostatiques pour lutter contre l'infection, mais ils doivent être ingérés en quantité suffisante avant l'infection (Menzies, 2019). Le toltrazuril est utilisable dans le cadre d'une métaphylaxie, c'est-à-dire administré à un groupe d'animaux qui ne présentent pas de signes de maladie mais qui risquent de la développer (Mundt et coll., 2009; Menzies, 2019), et certaines données probantes indiquent la possibilité d'une utilisation thérapeutique (Mundt et coll., 2009). L'emploi métaphylactique du toltrazuril nécessite de connaître l'épidémiologie de l'infection dans l'élevage concerné (Odden et coll., 2018; Menzies, 2019). L'amprolium et les antibiotiques sulfamidés peuvent servir à traiter la coccidiose (Menzies, 2019).

3.2.4 *Cysticercus ovis*/*Taenia ovis*

Le traitement des chiens de la ferme toutes les quatre à six semaines aux cestocides et l'élimination adéquate des animaux morts sont deux des éléments d'un programme néo-zélandais qui a réduit les taux de condamnation attribuables à *C. ovis* chez les agneaux (DeWolf et coll., 2014). Une étude réalisée en Ontario montre des associations entre, d'une part, les fermes permettant aux chiens de se nourrir de carcasses d'animaux morts et celles n'éliminant pas le cheptel mort et, d'autre part, des taux de condamnation accrus chez les agneaux en raison de *C. ovis* (DeWolf et coll., 2012).

3.2.5 Ectoparasites

Pour la gale chorioptique, les mélophages du mouton et les poux, le traitement doit viser l'éradication des parasites dans le troupeau parce que leur durée de survie hors de l'hôte est très brève (Plant et Lewis, 2011). L'application topique de pyréthrinoïdes synthétiques ou de régulateurs de croissance des insectes pour les poux peut être efficace, si cela est fait le long de la colonne vertébrale dans les 24 heures qui suivent la tonte (Plant et Lewis, 2011). Les formulations conçues pour une application sur les individus à laine longue peuvent aider à lutter contre les infestations, mais elles n'éradiquent pas les poux chez les moutons à laine longue (Plant et Lewis, 2011). Les poudrages ne sont pas considérés comme un moyen efficace de lutter contre les poux et l'immersion peut être inefficace si la peau du mouton n'est pas mouillée (Plant et Lewis, 2011). Les lactones macrocycliques peuvent être efficaces contre les ectoparasites (Plant et Lewis, 2011), mais leur utilisation contre les ectoparasites risque d'accélérer le développement de la résistance aux anthelminthiques des NGI.

3.3 Sélection génétique aux fins de résistance aux parasites

Plusieurs études montrent que la résistance des nématodes gastro-intestinaux (NGI) est héréditaire et dépend de différentes régions génomiques (revue de la littérature par Sayers et Sweeney, 2005; Karlsson et Greeff, 2012; Cunha et coll., 2024). À titre d'exemple, Willoughby et coll. (2024) ont découvert des modifications du transcriptome hépatique liées à l'infection et ils ont ainsi identifié des gènes candidats (par exemple *ALAS1*, *TAT*) associés aux réponses métaboliques et immunitaires. De plus, des études pangénomiques identifient des locus en particulier : Karrow et coll. (2014) constatent que le chromosome 20 est fortement associé à la résistance aux vers des moutons canadiens et Pickering et coll. (2015) détectent un signal fort sur le chromosome 26 (gène candidat *SGCZ*) et un locus associé à la présence de résidus de matières fécales (souillures fécales dans l'arrière-train des ovins) sur le chromosome 15 chez des moutons néo-zélandais.

Selon une méta-analyse, l'héritabilité globale serait d'environ 0,25 (95 % IC = 0,22 à 0,27) en matière de résistance aux NGI, estimation stable pour toutes les races et tous les environnements (Hayward, 2022). Par ailleurs, une revue narrative constate une héritabilité dans différentes études allant de 0,00 à 0,46 pour le nombre d'œufs dans les matières fécales (NEF) et de 0,07 à 0,37 pour les traits hématologiques et immunitaires associés à la résistance aux NGI (Cunha et coll., 2024). Karlsson et Greeff (2012) constatent une héritabilité modérée pour le NEF et la présence de résidus de matières fécales. De plus, une méta-analyse réalisée par Hayward (2022) montre une corrélation positive (+0,10) avec la résistance aux NGI et le rendement (en se fondant sur des études évaluant les effets sur le poids, le gain de poids, la CEC, les traits de la laine, les agneaux nés, le poids des agneaux ou la croissance des agneaux), mais elle observe qu'une sélection visant des marqueurs immunitaires (contrairement au NEC et à FAMACHA) se fait parfois au détriment de la productivité.

Bien que la sélection aux fins de résistance aux parasites soit avantageuse, elle compromet parfois la productivité. Douhard et coll. (2022) constatent que la résistance s'accompagne d'un petit coût : en effet les brebis sélectionnées ont un poids corporel plus bas lors de leur première gestation. Ces coûts semblent mineurs quand les besoins nutritionnels sont assurés et ils sont probablement compensés par les avantages à long terme. Par ailleurs, Hayward (2022) montre

que les marqueurs immunitaires adaptatifs ont une relation défavorable avec les traits de rendement, tandis que le score de NEF et le score FAMACHA sont corrélés positivement à la productivité.

Outre la sélection fondée sur des paramètres cliniques (par exemple NEF, FAMACHA), d'autres outils de sélection sont proposés. On a montré que le test salivaire CarLA (qui mesure les IgA pour quantifier les larves de NGI) prédit les NEF futurs dans des conditions de pâturage canadiennes (DeWolf et coll., 2025a). Dans une étude de suivi, DeWolf et coll. (2025b) montrent que les concentrations salivaires d'IgA chez la mère sont associées positivement à la croissance de son agneau et négativement au NEF, ce qui indiquerait la possibilité d'un biomarqueur héritable aux fins de sélection. La sélection génomique, aussi, est prometteuse : Pickering et coll. (2015) montre des prédictions exactes du NEF au moyen d'une puce à SNP de 50K sur des moutons Coopworth, et Karrow et coll. (2014) trouvent des variants génétiques convenant à des programmes de sélection fondée sur l'ADN destinés à des moutons canadiens.

Après avoir examiné des données probantes concernant les influences génétiques sur la coccidiose, l'infestation par les poux, la présence de résidus de matières fécales et la myiase, Karlsson et Greeff (2012) indiquent que tous ces traits seraient héréditaires et se prêteraient à une sélection, mais que des recherches plus approfondies sur la question sont nécessaires.

3.4 Stratégies de gestion du pâturage et espèces fourragères antiparasitaires

3.4.1 Stratégies de gestion du pâturage

Les stratégies de pâturage relatives au calendrier d'administration de médicaments antiparasitaires sont traitées dans la section 3.2.1.2. En général, la contamination du pâturage par des NGI la plus élevée est observée chez les agneaux vers le milieu ou la fin de la saison de pâturage et chez les femelles adultes en fin de gestation et pendant la lactation (Menzies, 2019). La surveillance fréquente et le traitement sélectif avant l'agnelage et pendant la saison de pâturage constituent des aspects importants de la lutte antiparasitaire, comme l'indique la section 3.1.2. L'agnelage des brebis au pâturage est particulièrement délicat, à la fois en raison de la gestion difficile de l'augmentation de l'excrétion fécale d'œufs pendant la période du péri-partum et du risque d'exposition des agneaux les plus jeunes à des charges parasitaires élevées dans le pâturage (Menzies, 2019). Il faut envisager un agnelage à l'intérieur ou sans contact avec l'herbe en cas d'espace limité ou de difficultés de gestion parasitaire.

L'exposition du sol à la lumière du soleil augmente la probabilité que les larves infectieuses au stade 3 (L3) soient soumises à la chaleur et se dessèchent (Menzies, 2019; Delmilho et Dias da Costa, 2023). On peut y parvenir par déchaumage ou labourage ou en replantant les pâturages anciens. La décomposition des crottins augmente la probabilité de tuer les stades larvaires 1 et 2, mais elle facilite la libération des larves de stade 3 (Menzies, 2019); selon une étude nord-américaine, le hersage n'a pas d'effet sur le parasitisme par les NGI des agneaux au pâturage (Harris, 2021).

Il est recommandé de maintenir l'herbe haute (> 5 cm), car cela protège mieux de la migration des larves de stade 3 (Menzies, 2019). Cependant, différentes hauteurs d'herbe haute (20 cm comparativement à 10 cm) n'entraînent pas de différence pour ce qui est de la migration des

larves de stade 3 d'*Haemonchus* (Gasparina et coll., 2021). Les zones de faible élévation et les zones humides (par exemple autour des abreuvoirs) sont propices à la survie des larves du stade 3 et il est recommandé de les recouvrir de gravier pour améliorer le drainage ou de les clôturer (Menzies, 2019).

Une rotation des pâturages avec des bovins ou des chevaux ou le co-pâturage avec ces espèces peut diminuer la transmission d'infections du pâturage au mouton (Torres-Acosta et Hoste, 2008; Grace et coll., 2018; Menzies, 2019; Joly et coll., 2022). En matière de NGI, les lamas et les chèvres doivent être considérés comme la même espèce que le mouton, car ils ont ces parasites en commun (Torres-Acosta et Hoste, 2008; Menzies, 2019).

Si possible, des pâturages à faible risque doivent être proposés aux animaux les plus sensibles (agneaux récemment sevrés). Il s'agit notamment de prairies de fauche ou de pâturages qui ont été semés ou mis au repos depuis peu, ou encore de pâturages annuels labourés à la fin de chaque saison (Menzies, 2019).

Dans presque tous les systèmes de pâturage en rotation, les troupeaux doivent retourner de manière répétée dans le même pâturage à la même saison de pacage. C'est pourquoi il faut tenir compte de la durée de survie des larves de stade 3 en fonction de la température et de l'humidité (Torres-Acosta et Hoste, 2008; Menzies, 2019). Les animaux doivent être déplacés avant l'éclosion des œufs au stade 3 et ne doivent pas retourner dans le pâturage avant la mort des larves de stade 3 (Torres-Acosta et Hoste, 2008; Menzies, 2019). Elles peuvent survivre pendant des semaines, voire des mois, dans des conditions chaudes et humides. Il est par conséquent difficile de prévoir quand le pâturage présentera un risque moindre. Des stratégies d'évitement précises (élaborées à partir de données sur le développement larvaire dans les conditions du pâturage local) existent dans d'autres pays, mais il n'existe pas de modèles locaux, adaptés à des régions ou au climat du Canada, qui permettraient de prédire les charges de larves de stade 3.

Si la contamination du pâturage est forte, il faut envisager de le labourer et de le réensemencer, de l'utiliser pour la production de foin, ou d'y faire paître une autre espèce (Menzies, 2019). De plus, le fumier entreposé présente un risque s'il n'est pas composté correctement et il est recommandé de l'épandre dans des champs uniquement avant le labourage ou la moisson (Menzies, 2019). Quand des pâturages fortement contaminés doivent être broutés, le risque diminue si les brebis qui ne sont pas en lactation et qui ne sont pas dans la dernière période de gestation sont placées à une densité d'élevage inférieure et suivent une rotation rapide, ce qui n'empêche pas la nécessité d'une surveillance régulière (Menzies, 2019).

3.4.2 Effets de la nutrition sur le parasitisme

Le fait de combler les besoins alimentaires peut agir directement sur le parasitisme : l'augmentation de l'apport en protéines (en fournissant aux agneaux soit une supplémentation alimentaire, soit des pâturages semés récemment) peut améliorer la résilience à *Haemonchus* chez l'agneau (score FAMACHA plus bas et hémocrite plus élevé) par rapport aux agneaux ne recevant pas de suppléments ou broutant des pâturages anciens (Campbell et coll., 2021). L'augmentation de la consommation de protéines autour de la parturition peut atténuer l'augmentation de la sécrétion d'œufs pendant la période du péri-partum, et contribuer ainsi à la diminution de la contamination des pâturages de printemps (Marley et coll., 2005; Torres-Acosta

et Hoste, 2008). En effet, chez les brebis broutant une herbe plus riche en protéines, le NEF diminue et l'hématocrite augmente pendant la lactation (López-Leyva et coll., 2022). Une nutrition insuffisante, notamment pauvre en oligo-éléments, réduit la fonction immunitaire et augmente la vulnérabilité aux maladies (Crilly, 2023). Les effets de la nutrition sur la fonction immunitaire peuvent être indirects et liés à la modulation nutritionnelle de la réponse immunitaire du mouton, ou directs quand ils sont dus à la consommation des métabolites secondaires des végétaux (voir la section 3.4.4) (Ishaq et coll., 2023).

3.4.3 Champignons nématophages

Les champignons nématophages sont des microorganismes adaptés à différents sols, qui se nourrissent de larves de parasites par plusieurs mécanismes (prédateur, ovicide, endoparasites de larves, ou producteurs de métabolites toxiques) (Delmilho et Dias da Costa, 2023). Ces champignons seraient applicables dans la gestion parasitaire des petits ruminants, mais leur implantation dans l'environnement pourrait être compliquée par la température et l'humidité (Delmilho et Dias da Costa, 2023). À notre connaissance, leur utilisation n'a pas fait l'objet d'études examinées par les pairs concernant la production ovine canadienne.

3.4.4 Fourrages bioactifs

Les fourrages bioactifs comprennent la chicorée, la sulla, le sainfoin et le lotier corniculé, qui contiennent des tanins condensés (Crilly, 2023). Ces tanins condensés peuvent agir directement sur les NGI dans le tube digestif pour endommager leur cuticule et réduire l'éclosion d'œufs, ou ils peuvent agir de façon indirecte en influençant la réponse immunitaire à l'infection aux NGI (Crilly, 2023). De plus, la structure de ces plantes inhiberait la migration larvaire (Crilly, 2023). On a montré que le lotier corniculé brouté limitait la migration des larves de stade 3 vers la strate supérieure de la plante, ce qui pouvait réduire le risque d'infection (Garcia-Méndez et coll., 2002). L'utilisation de ces espèces a été étudiée dans des monocultures et dans des mélanges d'espèces (prairies semées temporaires).

Une étude du Royaume-Uni sur des agneaux au pâturage montre que, comparativement à un mélange trèfle/graminées, l'utilisation d'une prairie semée temporaire (dont la teneur en macronutriments et en micronutriments est plus élevée, particulièrement en sélénium et en cobalt) réduit les NEF de 78 % (Cooledge et coll., 2024). Plusieurs recherches ont évalué la chicorée (qui composait 50 à 90 % de la matière sèche totale de l'herbe), qui semble réduire le nombre de NGI, bien que certaines études démontrent que les résultats ne sont pas toujours concluants selon l'espèce de NGI (Ishaq et coll., 2023). Une revue narrative conclut que d'après les études *in vivo* réalisées sur des moutons, des chèvres et des chevreuils, les plantes contenant des tanins condensés doivent constituer au minimum 3 à 4 % de la matière sèche totale des aliments pour qu'une activité antiparasitaire soit observée (diminution du NEF) (Rodríguez-Hernández et coll., 2023).

3.5 Recherches futures

- **L'élaboration de modèles de prédiction des charges de larves au stade 3 en temps réel dans les conditions climatiques régionales canadiennes éclairerait les stratégies d'évitement en matière de pâturage pour les élevages ovins canadiens.**

- **La collecte de données de surveillance relatives aux charges parasitaires et à la résistance des parasites dans les élevages ovins canadiens permettrait d'assurer le suivi des profils ou des réactions en cas d'amélioration des pratiques.**

3.6 Références

- Andronicos N.M., Knox M.R., McNally J. et Hunt P.W. (2025) Direct comparison of host resistance status and Barbevax vaccination to control parasitism in sheep subjected to a mixed parasite field challenge. *Veterinary Parasitology*, vol. 339, p. 110552.
- Arsenopoulos K.V., Fthenakis G.C., Katsarou E.I. et Papadopoulos E. (2021) Haemonchosis: A challenging parasitic infection of sheep and goats. *Animals*. <https://doi.org/10.3390/ani11020363>.
- Baker N.F., Cook E.F., Douglas J.R. et Cornelius C.E. (1959) The pathogenesis of trichostrongyloid parasites. III. Some physiological observations in lambs suffering from acute parasitic gastroenteritis. *The Journal of Parasitology*, vol. 45, p. 643-651. <https://doi.org/10.2307/3274817>.
- Barrere V., Falzon L.C., Shakya K.P., Menzies P.I., Peregrine A.S. et Prichard R.K. (2013) Assessment of benzimidazole resistance in *Haemonchus contortus* in sheep flocks in Ontario, Canada: Comparison of detection methods for drug resistance. *Veterinary Parasitology*, vol. 198, p. 159-165.
- Berriatua E., French N.P., Broster C.E., Morgan K.L. et Wall R. (2001) Effect of infestation with *Psoroptes ovis* on the nocturnal rubbing and lying behaviour of housed sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 71, p. 43-55. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(00\)00166-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(00)00166-0).
- Burgunder J., Petrželková K.J., Modrý D., Kato A. et MacIntosh A.J.J. (2018) Fractal measures in activity patterns: Do gastrointestinal parasites affect the complexity of sheep behaviour? *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 205, p. 44-53. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.05.014>.
- Campbell B.J., Marsh A.E., Parker E.M., McCutcheon J.S., Fluharty F.L. et Parker A.J. (2021) The effects of protein supplementation and pasture maintenance on the growth, parasite burden, and economic return of pasture-raised lambs. *Translational Animal Science*, vol. 5, p. 1-14.
- Cockram M.S. et Hughes B.O. (2018) « Health and disease » dans *Animal Welfare*. 3e édition. Appleby M.C., Olsson I.A.S. et Galindo F. (dir.). Wallingford, Royaume-Uni : CABI, p. 141-159. <https://doi.org/10.1079/9781786390202.0141>.
- Colditz I.G. (2003) Metabolic effects of host defence responses during gastrointestinal parasitism in sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 43, p. 1437-1443. <https://doi.org/10.1071/EA03006>.
- Colditz I.G., Walkden-Brown S.W., Daly B.L. et Crook B.J. (2005) Some physiological responses associated with reduced wool growth during blowfly strike in Merino sheep. *Australian Veterinary Journal*, vol. 83, p. 695-699. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2005.tb13053.x>.
- Colston M. et Mearns R. (2023) Liver fluke in cattle and sheep: Getting ahead of a rapidly adapting parasite. *In Practice*, vol. 45, p. 332-343. <https://doi.org/10.1002/inpr.341>.

Cooledge E.C., Kendall N.R., Leake J.R., Chadwick D.R. et Jones D.L. (2024) Herbal leys increase forage macro- and micronutrient content, spring lamb nutrition, liveweight gain, and reduce gastrointestinal parasites compared to a grass-clover ley. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, vol. 367, p. 108991.

Corke M.J. et Broom D.M. (1999) The behaviour of sheep with sheep scab, *Psoroptes ovis* infestation. *Veterinary Parasitology*, vol. 83, p. 291-300. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(99\)00065-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00065-5).

Cortés A., Wills J., Su X., Hewitt R.E., Robertson J., Scotti R., Price D.R.G., Bartley Y., McNeilly T.N., Krause L., Powell J.J., Nisbet A.J. et Cantacessi C. (2020) Infection with the sheep gastrointestinal nematode *Teladorsagia circumcincta* increases luminal pathobionts. *Microbiome*, vol. 8, p. 60-9. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00818-9>.

Cortinas R. et Jones C.J. (2006) Ectoparasites of cattle and small ruminants. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, vol. 22, p. 673-693. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2006.06.003>.

Crilly J.P. (2023) Guide to advances in the control of gastrointestinal roundworms in sheep. *In Practice*, vol. 45, p. 211-221.

Cunha S.M.F., Willoughby O., Schenkel F. et Cánovas Á. (2024) Genetic parameter estimation and selection for resistance to gastrointestinal nematode parasites in Sheep—A review. *Animals*, vol. 14, n° 4, p. 613. <https://doi.org/10.3390/ani14040613>.

Delmilho G. et Dias da Costa R.L. (2023) Nematophagous fungi and their influences on parasitic control in sheep. *Research, Society, and Development*, vol. 12, p. 4.

DeWolf B.D., Peregrine A.S., Jones-Bitton A., Jansen J.T., MacTavish J. et Menzies P.I. (2012) Distribution of, and risk factors associated with, sheep carcass condemnations due to *Cysticercus ovis* infection on Canadian sheep farms. *Veterinary Parasitology*, vol. 190, p. 434-441.

DeWolf B.D., Peregrine A.S., Jones-Bitton A., Jansen J.T. et Menzies P.I. (2014) *Taenia ovis* infection and its control: A Canadian perspective. *New Zealand Veterinary Journal*, vol. 62, p. 1-7.

DeWolf B.D., Bauman C.A., Menzies P.I., Borkowski E.A., Shaw R.J. et Peregrine A.S. (2025a) Evaluating the use of salivary anti-CarLA IgA testing to reduce gastrointestinal parasitism in Canadian pastured sheep. *Veterinary Parasitology*, vol. 335, p. 110417.

DeWolf B.D., Bauman C.A., Menzies P.I., Borkowski E.A., Shaw R.J. et Peregrine A.S. (2025b) Salivary anti-CarLA IgA levels in ewes and their offspring and association with gastrointestinal parasitism and offspring performance in Ontario sheep flocks. *Veterinary Parasitology*, vol. 338, p. 110549.

Douhard F., Doeschl-Wilson A.B., Corbishley A., Hayward A.D., Macron D., Weisbecker J.L., Aguerre S., Bordes L., Jacquet P., McNeilly T.N., Sallé G. et Moreno-Romieux C. (2022) The cost of host genetic resistance on body condition: Evidence from divergently selected sheep. *Evolutionary Applications*, vol. 15, p. 1374-1389.

Elliott D.C. (1986) Tapeworm (*Moniezia expansa*) and its effect on sheep production: The evidence reviewed. *New Zealand Veterinary Journal*, vol. 34, p. 61-65.

<https://doi.org/10.1080/00480169.1986.35289>.

Falzon L.C., Menzies P.I., Shakya K.P., Jones-Bitton A., Vanleeuwen J., Avula J., Stewart H., Jansen J.T., Taylor M.A., Learmount J. et Peregrine A.S. (2013a) Anthelmintic resistance in sheep flocks in Ontario, Canada. *Veterinary Parasitology*, vol. 193, p. 150-162.

Falzon L.C., Menzies P.I., Vanleeuwen J., Jones-Bitton A., Shakya K.P., Avula J., Jansen J.T. et Peregrine A.S. (2013b) A survey of farm management practices and their associations with anthelmintic resistance in sheep flocks in Ontario, Canada. *Small Ruminant Research*, vol. 114, p. 41-45.

Falzon L.C., Menzies P.I., VanLeeuwen J., Shakya K.P., Jones-Bitton A., Avula J., Jansen J.T. et Peregrine A.S. (2014) Pilot project to investigate over-wintering of free-living gastrointestinal nematode larvae of sheep in Ontario, Canada. *Canadian Veterinary Journal*, vol. 55, p. 749-756.

Flay K.J., Hill F.I. et Muguiro D.H. (2022) A review: *Haemonchus contortus* infection in pasture-based sheep production systems, with a focus on the pathogenesis of anaemia and changes in haematological parameters. *Animals*, vol. 12. <https://doi.org/10.3390/ani12101238>.

Fresán M.U.A. et Pliego A.B. (2021) « The role of cryptosporidiosis in sheep welfare » dans *Sheep Farming: Herds Husbandry, Management System, Reproduction and Improvement of Animal Health*. Ronquillo G. et Palacios Riocerezo C. (dir.). Rijeka: IntechOpen.

Garcia-Méndez M., Schmitt-Filho A.L., Rocha R.A. et Bricarello P.A. (2002) Effect of growing forage legumes on the migration and survival in the pasture of gastrointestinal nematodes of sheep. *Journal of Helminthology*, vol. 96, p. e77.

Gasparina J.M., Baby R.G., Fonseca L., Bricarello P.A. et da Rocha R.A. (2021) Infective larvae of *Haemonchus contortus* found from the base to the top of the grass sward. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinaria*, vol. 30, n° 2, p. e028120.

González-Warleta M., Castro-Hermida J.A. et Mezo M. (2025) Gastrointestinal nematode egg counts throughout the reproductive cycle of breeding ewes: Relation to body condition, FAMACHA and dag scores. *Veterinary Parasitology*, vol. 340, p. 110612.

Grace C., Lynch M.B., Sheridan H., Lott S., Fritch R. et Boland T.M. (2018) Grazing multispecies swards improves ewe and lamb performance. *Animal*, vol. 13, p. 1721-1729.

Hargreaves A.L. et Hutson G.D. (1990) The stress response in sheep during routine handling procedures. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 26, p. 83-90. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(90\)90089-V](https://doi.org/10.1016/0168-1591(90)90089-V).

Harris J. (2021) *The impacts of pasture management techniques in grazing lamb systems*. Mémoire de maîtrise. Penn State University. Disponible à l'adresse : <https://etda.libraries.psu.edu/catalog/19039jzh776>. Consulté le 8 octobre 2025.

Hayward A.D. (2022) Genetic parameters for resistance to gastrointestinal nematodes in sheep: A meta-analysis. *International Journal for Parasitology*, vol. 52, p. 843-853.

Hempstead M.N., Waghorn T.S., Gibson M.J., Sauermann C.W., Ross A.B., Cave V.M., Sutherland M.A., Marquetoux N., Hannaford R., Corner-Thomas R. et Sutherland I.A. (2023) Worms and welfare: Behavioural and physiological changes associated with gastrointestinal nematode parasitism in lambs. *Veterinary Parasitology*, vol. 324, p. 110056.
<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2023.110056>.

Högberg N., Hessle A., Lidfors L., Enweji N. et Höglund J. (2021) Nematode parasitism affects lying time and overall activity patterns in lambs following pasture exposure around weaning. *Veterinary Parasitology*, vol. 296, p. 109500.
<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109500>.

Höglund J. et Gustafsson K. (2023) Anthelmintic treatment of sheep and the role of parasites refugia in a local context. *Animals*, vol. 13. <https://doi.org/10.3390/ani13121960>.

Holmes P.H. (1987) Pathophysiology of parasitic infections. *Parasitology*, vol. 94, p. S29-S51.

Ikurior S.J., Pomroy W.E., Scott I., Corner-Thomas R., Marquetoux N. et Leu S.T. (2020) Gastrointestinal nematode infection affects overall activity in young sheep monitored with tri-axial accelerometers. *Veterinary Parasitology*, vol. 283, p. 109188.
<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109188>.

Ishaq K., Ahmad T., Rajput M., Maqbool M., Gupta A., Imran M. et Machtinger E.T. (2023) « Parasitic control strategies: Bioactive crops and nutrition » dans *Parasitism and Parasitic Control in Animals: Strategies for the Developing World*. Rizwan H.M. et Sajid M.S. (dir.). CAB International, p. 136-150.

Jacobson C., Larsen J.W.A., Besier R.B., Lloyd J.B. et Kahn L.P. (2020) Diarrhoea associated with gastrointestinal parasites in grazing sheep. *Veterinary Parasitology*, vol. 282, p. 109139.
<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109139>.

Joly F., Note P., Barbet M., Jacquet P., Faure S., Benoit M. et Dumont B. (2022) Parasite dilution improves lamb growth more than does the complementarity of forage niches in a mesic pasture grazed by sheep and cattle. *Frontiers in Animal Science*, vol. 11, p. 3.

Karlsson L.J.E. et Greeff J.C. (2012) Genetic aspects of sheep parasitic diseases. *Veterinary Parasitology*, vol. 189, p. 104-112.

Karrow N.A., Goliboski K., Stonos N., Schenkel F. et Peregrine A. (2014) Review: Genetics of helminth resistance in sheep. *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 94, p. 1-9.

Kyriazakis I., Tolkamp B.J. et Hutchings M.R. (1998) Towards a functional explanation for the occurrence of anorexia during parasitic infections. *Animal Behaviour*, vol. 56, p. 265-274.
<https://doi.org/10.1006/anbe.1998.0761>.

López-Leyva Y., González-Gurduño R., Cruz-Tamayo A.A., Arece-García J., Huerta-Bravo M., Ramírez-Valverde R., Torres-Hernández G. et López-Arellano M.E. (2022) Protein supplementation as a nutritional strategy to reduce gastrointestinal nematodiasis in periparturient and lactating Pelibuey ewes in a tropical environment. *Pathogens*, vol. 11, p. 941.

Marley C.L., Fraser M.D., Fychan R., Theobald V.J. et Jones R. (2005) Effect of forage legumes and anthelmintic treatment on the performance, nutritional status and nematode parasites of grazing lambs. *Veterinary Parasitology*, vol. 131, p. 267-282.

McRae K.M., Stear M.J., Good B. et Keane O.M. (2015) The host immune response to gastrointestinal nematode infection in sheep. *Parasite Immunology*, vol. 37, p. 605-613.
<https://doi.org/10.1111/pim.12290>.

Mederos A., Fernández S., VanLeeuwen J., Peregrine A.S., Kelton D., Menzies P., LeBoeuf A. et Martin R. (2010) Prevalence and distribution of gastrointestinal nematodes on 32 organic and conventional commercial sheep farms in Ontario and Québec, Canada (2006–2008). *Veterinary Parasitology*, vol. 170, p. 244-252.

Menzies P. (2019) *Handbook for the control of internal parasites of sheep and goats*. University of Guelph. Disponible à l'adresse :
<https://vet.ucalgary.ca/sites/default/files/teams/29/Handbook%20for%20the%20Control%20of%20Internal%20Parasites%20of%20Sheep%20and%20Goats.pdf>. Consulté le 1er octobre 2025.

Milne C.E., Dalton G.E. et Stott A.W. (2008) Balancing the animal welfare, farm profitability, human health and environmental outcomes of sheep ectoparasite control in Scottish flocks. *Livestock Science*, vol. 118, p. 20-33. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.01.016>.

Mundt H.C., Dittmar K., Dauschies A., Grzonka E. et Bangoura B. (2009) Study of the comparative efficacy of toltrazuril and diclazuril against ovine coccidiosis in housed lambs. *Parasitology Research*, vol. 105, p. 141-150.

Odden A., Denwood M.J., Stuen S., Robertson L.J., Ruiz A., Hamnes I.S., Hektoen L. et Enemark H. (2018) Field evaluation of anticoccidial efficacy: A novel approach demonstrates reduced efficacy of toltrazuril against ovine *Eimeria* spp. in Norway. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, vol. 8, p. 304-311.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2018.05.002>.

Panuska C. (2006) Lungworms of ruminants. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, vol. 22, p. 583-593. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2006.06.002>.

Pickering N.K., Auvray B., Dodds K.G. et McEwan J.C. (2015) Genomic prediction and genome-wide association study for dagginess and host internal parasite resistance in New Zealand sheep. *BMC Genomics*, vol. 16, p. 958.

Plant J.W. (2006) Sheep ectoparasite control and animal welfare. *Small Ruminant Research*, vol. 62, p. 109-112. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.08.003>.

Plant J.W. et Lewis C.J. (2011) Treatment and control of ectoparasites in sheep. *Veterinary Clinics of North America: Food Animals*, vol. 27, p. 203-212.

Reeves M.C., Booth N., Fox N.J., Donbavand J., Jack M., Kenyon F., Martin J.E., Baxter E.M. et Dwyer C.M. (2024) The impact of gastrointestinal parasitism on the behaviour and welfare of weaned housed lambs. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 276.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106323>.

- Rodríguez-Hernández P., Reyes-Palomo C., Sanz-Fernández S., Rufino-Moya P.J., Zafra R., Martínez-Moreno F.J., Rodríguez-Estévez V. et Díaz-Gaona C. (2023) Antiparasitic tannin-rich plants from the south of Europe for grazing livestock: A review. *Animals*, vol. 13, p. 201.
- Sargison N.D. (2011) Pharmaceutical control of endoparasitic helminth infections in sheep. *Veterinary Clinical of North America: Food Animals*, vol. 27, p. 139-156.
- Sargison N.D. (2012) Pharmaceutical treatments of gastrointestinal nematode infections of sheep—Future of anthelmintic drugs. *Veterinary Parasitology*, vol. 189, p. 79-84.
- Sayers G. et Sweeney T. (2005) Gastrointestinal nematode infection in sheep – A review of the alternatives to anthelmintics in parasite control. *Animal Health Research Reviews*, vol. 6, p. 159-171.
- Shutt D.A., Smith A.I., Wallace C.A., Connell R. et Fell L.R. (1988) Effect of myiasis and acute restraint stress on plasma-levels of immunoreactive beta-endorphin, adrenocorticotropin (ACTH) and cortisol in the sheep. *Australian Journal of Biological Sciences*, vol. 41, p. 297-301.
- Small R.W. (2005) A review of *Melophagus ovinus* (L.), the sheep ked. *Veterinary Parasitology*, vol. 130, p. 141-155. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.03.005>.
- Stear M.J., Bishop S.C., Henderson N.G. et Scott I. (2003) A key mechanism of pathogenesis in sheep infected with the nematode *Teladorsagia circumcincta*. *Animal Health Research Reviews*, vol. 4, p. 45-52. <https://doi.org/10.1079/AHRR200351>.
- Stuen S. et Ersdal C. (2022) Fasciolosis—An increasing challenge in the sheep industry. *Animals*, vol. 12. <https://doi.org/10.3390/ani12121491>.
- Swales W.E. (1939) Notes on the diagnosis and treatment of parasitic diseases of sheep in Canada. *Canadian Journal of Comparative Medicine*, vol. 111, p. 341-344.
- Torina A. et Caracappa S. (2012) Tick-borne diseases in sheep and goats: Clinical and diagnostic aspects. *Small Ruminant Research*, vol. 106, p. S6-S11. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.04.026>.
- Torres-Acosta J.F.J. et Hoste H. (2008) Alternative or improved methods to limit gastrointestinal parasitism in grazing sheep and goats. *Small Ruminant Research*, vol. 77, p. 159-173.
- Wall R. et Lovatt F. (2015) Blowfly strike: Biology, epidemiology and control. *In Practice*, vol. 37, p. 181-188. <https://doi.org/10.1136/inp.h1434>.
- Westers T., Jones-Bitton A., Menzies P.I., VanLeeuwen J., Poljak Z. et Peregrine A.S. (2017) Comparison of targeted selective and whole flock treatment of periparturient ewes for controlling *Haemonchus* sp. on sheep farms in Ontario, Canada. *Small Ruminant Research*, vol. 150, p. 102-110.
- Williams A.R. (2011) Immune-mediated pathology of nematode infection in sheep – Is immunity beneficial to the animal? *Parasitology*, vol. 138, p. 547-556. <https://doi.org/10.1017/S0031182010001654>.
- Willoughby O., Karrow N.A., Cunha S.M.H., Asselstine V., Mallard B.A. et Cánovas Á. (2024) Characterization of the hepatic transcriptome for divergent immune-responding sheep following

natural exposure to gastrointestinal nematodes. *Genes*, vol. 15, p. 713.
<https://doi.org/10.3390/genes15060713>.

Zajac A.M. et Garza J. (2020) Biology, epidemiology, and control of gastrointestinal nematodes of small ruminants. *The Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, vol. 36, p. 73-87.

4 Soins néonataux

Conclusions :

1. **La mortalité des agneaux vient parfois avec des atteintes importantes au bien-être de l'animal avant sa mort : il est donc possible que les agneaux survivants aient été exposés à des conditions aversives, et la mortalité peut également avoir un impact sur le bien-être des brebis. Réduire le taux de mortalité des agneaux demeure un objectif important pour améliorer le bien-être des ovins. Il faudrait que les connaissances scientifiques actuelles se rendent aux exploitations afin d'améliorer la survie des agneaux.**
2. **Le lien entre la brebis et son agneau est vital pour garantir l'ingestion précoce de colostrum par l'agneau. Le colostrum est de la plus haute importance pour la survie de l'agneau.**
3. **Les facteurs fondamentaux du développement d'un bon lien sont connus : veiller à la nutrition adéquate de la brebis pendant la gestation et fournir un espace d'agnelage sûr et tranquille qui donne lieu à l'expression des comportements maternels appropriés.**
4. **Bien que le sevrage précoce et l'élevage artificiel des agneaux puissent être inévitables dans certains systèmes, les agneaux sevrés précocement présentent des déficits immunitaires, développementaux et de croissance qui ne se manifestent pas chez les agneaux sevrés à un âge plus avancé.**
5. **D'autres recherches sont nécessaires pour connaître les méthodes de sevrage ovines améliorées et savoir s'il est possible d'atténuer l'incidence de la séparation de la mère par une nutrition améliorée ou d'autres mesures d'élevage.**

4.1 Portée

Le précédent Rapport du Comité scientifique (Cockram et coll., 2012) sur les soins néonataux couvrait assez en détail la dystocie, la survie néonatale des agneaux et s'attardait au développement du complexe famine-comportement maternel inadéquat-exposition, et à l'incidence du sevrage précoce et de l'élevage artificiel sur le bien-être de l'agneau. La présente revue fait une mise au point des recherches menées sur le sujet depuis 2012 et dresse un portrait plus détaillé du développement du lien brebis-agneau et de son importance pour leur bien-être. Les méthodes d'adoption et leur efficacité pour garantir le bien-être des agneaux seront également abordées. Enfin, il sera aussi question de la dystocie et de son incidence sur la douleur de la brebis et de l'agneau (voir la section 2), laquelle sera considérée ici seulement comme un facteur contributif de la mortalité des agneaux ou du lien brebis-agneau.

4.2 Survie de l'agneau

Le taux de mortalité des agneaux a fait l'objet de nombreuses études, et on convient généralement que la mortalité moyenne des agneaux oscille autour de 15 % dans la plupart des pays producteurs de moutons (Dwyer et coll., 2016). Ce pourcentage est pratiquement resté inchangé depuis plusieurs dizaines d'années, dans la littérature scientifique à tout le moins, même si l'on comprend mieux les causes de mortalité, la formation du lien brebis-agneau et que des études génériques ont été menées sur la survie des agneaux (Dwyer, 2008a; Brien et coll., 2010; Hølmoy et coll., 2017; Shiels et coll., 2021; Nel et coll., 2021; Bunter et coll., 2023). On observe cependant une grande variabilité entre les fermes, la survie des agneaux atteignant un sommet de 100 % dans certaines fermes canadiennes et fléchissant à un creux de 70 % ailleurs (Ratanapob et coll., 2020). En outre, on observe des variations entre exploitations concernant la survie des agneaux au Royaume-Uni (Gascoigne et coll., 2017), en Nouvelle-Zélande (Forrest et coll., 2006), et en Australie (Refshauge et coll., 2015). Ainsi, même s'il est possible en pratique d'atteindre des sommets de survie, la plupart des fermes affichent une mortalité de 10 à 25 %. Une analyse de la mortalité des agneaux liée à la maladie a amené Fragkou et coll. (2010) à considérer que la mortalité des agneaux devrait se maintenir sous 3 %, avec une limite maximale acceptable de 5 %, bien que très peu d'élevages y parviennent actuellement. D'autres considèrent qu'un taux de mortalité des agneaux de moins de 14 % entre l'échographie et la vente est une cible atteignable (Gascoigne et Davies, 2019). Une réduction du pourcentage de mortalité des agneaux est un objectif important de bien-être. Selon la cause du décès, les agneaux mourants risquent de subir toute une série de désagréments, notamment la faim, la maladie et la douleur, avant leur décès. Certains souffriront aussi d'essoufflement et d'hypothermie (Mellor et Stafford, 2003; 2004).

Les agneaux nouveau-nés sont susceptibles à l'hypothermie lorsqu'ils sont exposés au froid, à l'humidité et au vent, ce qui épuise rapidement leurs réserves (Slee et coll., 1980); la présence d'un abri réduit ce risque (Gregory et coll., 1999). Dans les pays où les hivers sont très froids (ex. Scandinavie, Canada), les moutons passent pratiquement tout leur temps à l'intérieur en période d'agnelage. Ailleurs, certains moutons sont gardés à l'intérieur pour l'agnelage (par exemple, au Royaume-Uni, 50 % des troupeaux de moutons rentrent à l'intérieur pour l'agnelage), ou à de très rares occasions (c'est le cas de la Nouvelle-Zélande et de l'Australie). En climat tempéré où la mise bas se fait couramment à l'extérieur, même si rentrer les brebis en période d'agnelage est généralement considéré comme étant bénéfique pour améliorer le taux de survie des agneaux, les données disponibles ne montrent pas d'augmentation significative de ce taux chez les agneaux nés dans des systèmes d'agnelage intensifs en bâtiment par rapport à ceux nés dans des systèmes extensifs en plein air (des études menées sur des troupeaux d'agnelage en plein air révèlent notamment un taux de mortalité de 8 à 15 % au Royaume-Uni, en Australie et en Nouvelle-Zélande : Everett-Hincks et coll., 2005; Sawalha et coll., 2007; Brien et coll., 2010; Hay et coll., 2025a; des études menées sur des troupeaux d'agnelage intérieur au Royaume-Uni et en Irlande font état de taux de 9 à 19 % : Binns et coll., 2002; Keady et coll., 2009; Shiels et coll., 2025). Or, ces études ne sont pas directement comparables puisqu'elles portent sur des races différentes et que les animaux les plus vulnérables sont possiblement rentrés pour l'agnelage. Une comparaison entre des agneaux de la même race élevés à l'intérieur et à l'extérieur montre un taux de survie néonatale plus élevé dans les systèmes d'élevage intérieur par rapport aux systèmes extérieurs, mais cette différence s'estompe au moment du sevrage (Hay

et coll., 2026). Les agneaux nés à l'extérieur sont toutefois plus susceptibles de mourir de causes différentes qu'à l'intérieur. Dans une méta-analyse de 11 études réalisées en Australie et en Nouvelle-Zélande (Bruce et coll., 2021), c'est la dystocie qui cause la mort d'un nombre proportionnellement plus élevé d'agneaux (47 %, intervalle de confiance [IC] à 95 % : 38 à 55), qu'elle soit la cause principale ou secondaire de mortalité (y compris les mort-nés et les naissances postnatales présentant des signes d'hypoxie liés à la dystocie). Le taux de dystocie, principale cause de mortalité des agneaux, est de 53 % (IC à 95 % : 47 à 60) en Australie et de 35 % (IC à 95 % : 19 à 51) en Nouvelle-Zélande, ce qui pourrait être lié à la pression de sélection visant à réduire les difficultés d'agnelage dans ce dernier pays. Dans les études utilisant des données post-mortem pour déterminer la cause de la mort, les maladies infectieuses ressortent comme une cause importante dans les élevages d'agnelage intérieur (par exemple, 36 % dans les troupeaux norvégiens : Hølmoy et coll., 2017; de 22 à 34 % dans les troupeaux irlandais : Shiels et coll., 2025), la dystocie est attribuable à 12 à 50 % de la mortalité d'agneaux (Hølmoy et coll., 2017; Shiels et coll., 2025). Cependant, dans les élevages pratiquant l'agnelage en plein air, le complexe famine-comportement maternel inadéquat-exposition gagne en importance (représentant de 25 à 34 % des mortalités d'agneaux en Australie et au Royaume-Uni : Refshauge et coll., 2015; Clune et coll., 2021; Hay et coll., 2025a), la mortinatalité, les traumatismes à la naissance et la dystocie étant également considérés comme des causes majeures.

Bien des études ont cherché à déceler les composantes génétiques favorables à la survie des agneaux afin de réduire la mortalité des agneaux. Globalement, l'héritabilité de la survie des agneaux est plutôt faible; elle va de 0,01 à 0,18 dans les différentes études (Brien et coll., 2010; Sawalha et coll., 2007; Hay et coll., 2025a). Ce trait résulte possiblement d'un ensemble de facteurs qui peuvent être génétiquement incompatibles en termes de survie (ex. les agneaux lourds sont plus susceptibles de souffrir de dystocie, mais résistent mieux au froid; Bunter et coll., 2023). Les analyses portant sur les causes individuelles de mortalité des agneaux suggèrent qu'il serait possible de sélectionner des caractères apparentés (comme le poids optimal à la naissance : Bunter et coll., 2023; les décès dus à une dystocie ou à des difficultés lors de l'agnelage : MacFarlane et coll., 2010; Matheson et coll., 2012; Hay et coll., 2025a; la vigueur de l'agneau : MacFarlane et coll., 2010; Matheson et coll., 2012), mais les décès liés au complexe famine-comportement maternel inadéquat-exposition n'ont pas une héritabilité significativement au-dessus de 0 dans plusieurs études (Everett-Hincks et coll., 2014; Hay et coll., 2025b). Les décès découlant du complexe semblent avoir une grande composante environnementale, la météo le jour de la naissance et les réserves corporelles jouant un grand rôle (Pollard, 2006; Plush et coll., 2016; Horton et coll., 2018; Cloete et coll., 2023) de même que la qualité du lien brebis-agneau.

4.3 Lien brebis-agneau

L'agnelage et le début des soins maternels constituent une période cruciale dans la vie de l'agneau et ont une incidence considérable sur le bon déroulement de la période d'agnelage. Avant la naissance de leur petit, la plupart des brebis sont indifférentes aux autres agneaux, et certaines montrent même de l'agressivité à leur égard. Cependant, à la naissance, même les brebis primipares font preuve d'une expression complexe et complète de soins maternels, qui se manifeste après la mise bas. Les mécanismes comportementaux, physiologiques et neuroendocrinologiques qui sous-tendent le développement du lien entre la brebis et son agneau

ont bien été étudiés (voir notamment la revue de Dwyer 2008b; 2014), et on connaît désormais bien les facteurs importants qui contribuent à la réussite de la formation du lien. Après la mise bas, la brebis remplit deux fonctions essentielles qui contribuent à la survie de ses agneaux (Poindron et coll., 2007) : d'une part, elle adopte un comportement maternel envers l'agneau, ce qui donne lieu à une tétée réussie (Dwyer, 2008a); d'autre part, elle développe une mémoire olfactive spécifique à l'odeur et au goût du liquide amniotique présent sur le pelage de son agneau (Keller et coll., 2003). Avec le temps, la brebis développe ainsi la capacité à reconnaître son agneau grâce à toutes sortes de modalités sensorielles (odorat, vue, ouïe : Alexander et Shillito, 1977). Cette double fonction de soins maternels est d'une importance vitale à la survie de l'agneau, qui nécessite de téter pour éviter l'inanition, l'hypothermie, et pour développer le lien avec sa mère; la brebis a besoin de développer sa reconnaissance olfactive pour que son agneau ait accès aux soins maternels et qu'il s'évite un rejet. Puisque les brebis établissent un lien exclusif avec leurs petits, un défaut de création du lien brebis-agneau entraîne la mort de l'agneau par inanition et hypothermie, car aucune autre brebis ne s'en occupera. Les comportements associés à ces deux fonctions et sous-jacents aux facteurs physiologiques sont semblables, mais génèrent des signaux neuroendocrinologiques différents (Dwyer, 2008b). L'activation des soins maternels dépend indéniablement des changements dans les taux circulatoires de la progestérone et de l'œstradiol, des hormones stéroïdiennes, à la fin de la gestation, les signaux neurologiques transmis au cerveau de la brebis lors de la mise bas, et la présence de fluides amniotiques sur le pelage de l'agneau.

4.3.1 Hormones stéroïdiennes endogènes

Pendant la gestation, la brebis produit de la progestérone et de l'œstrogène, qui assurent conjointement la poursuite de la gestation. Dans la seconde moitié de la gestation, les concentrations circulantes d'œstradiol augmentent exponentiellement et stimulent l'expression de l'ARNm de l'ocytocine (Broad et coll., 1993) et de ses récepteurs (Broad et coll., 1999) dans les tissus périphériques clés (glandes mammaires, utérus) ainsi qu'au niveau central (neurones hypothalamiques, amygdale, etc.). Approximativement 48 heures avant la mise bas, en réaction aux signaux du fœtus (ex. augmentation des concentrations de glucocorticoïdes fœtaux qui interagissent avec la production de prostaglandine par le placenta : Schuler et coll., 2018), la concentration de progestérone circulante commence à diminuer (Dwyer et coll., 1999; Dwyer, 2008b). Cette diminution entraîne une régulation à la hausse de la production d'œstrogènes ainsi qu'une augmentation du nombre de récepteurs à l'ocytocine. Ces changements sont considérés comme une réaction d'« amorce », car ils créent des conditions favorables à l'expression du comportement maternel. À eux seuls, les changements du rapport entre les œstrogènes et la progestérone ne sont généralement pas suffisants pour donner lieu à l'expression rapide du comportement maternel chez la brebis (Keverne et coll., 1983; Kendrick et coll., 1991). Cependant, des études manipulant ces hormones montrent que le comportement maternel ne peut être induit chez des brebis non gestantes si celles-ci n'ont pas préalablement reçu de progestérone et d'œstrogènes (Kendrick et Keverne, 1991). On voit donc que ces modifications des concentrations hormonales endogènes en fin de gestation sont essentielles à l'expression du comportement maternel à la mise bas, mais qu'elles nécessitent des mécanismes physiologiques supplémentaires pour que ce comportement puisse être déclenché.

4.3.2 Signaux neurologiques

Quand la brebis entre en travail et que l'agneau progresse dans le canal pelvien, les parois du vagin et du col de l'utérus s'étirent et des signaux nerveux transmis par le nerf vague signalent ce processus au cerveau de la brebis (phénomène nommé « réflexe de Ferguson »). De l'ocytocine est libérée à partir des neurones à projections centrales du noyau paraventriculaire de l'hypothalamus (Da Costa et coll., 1996) et est acheminée à différentes structures du cerveau, en particulier à l'amygdale et au bulbe olfactif. La stimulation par l'ocytocine, via sa liaison aux récepteurs dont l'expression est induite par les modifications des concentrations d'hormones stéroïdiennes en fin de gestation, agit comme un « déclencheur » qui active le comportement maternel (Kendrick et coll., 1987; Lévy et coll., 1992). L'importance de cette étape de la séquence a été démontrée par des études ayant administré une anesthésie péridurale aux brebis, empêchant ainsi le signal d'atteindre le cerveau, ce qui a conduit à l'absence d'intérêt des brebis pour leurs agneaux (Krehbiel et coll., 1987; Lévy et coll., 1992). De plus, les brebis non gestantes, correctement préparées par une exposition à l'œstrogène et à la progestérone, peuvent manifester un comportement maternel lorsqu'elles reçoivent une stimulation artificielle du canal pelvien, laquelle imite l'étirement qui se produit lors de la mise bas (Kendrick et Keverne, 1991). Enfin, une perfusion intracérébroventriculaire d'ocytocine induit un comportement maternel chez les brebis non parturientes (Kendrick et coll., 1987).

4.3.3 Liquide amniotique

En temps normal, le liquide amniotique repousse les brebis qui évitent d'en consommer dans l'abreuvoir où il a été déposé (Lévy et coll., 1983), et de s'approcher des espaces de mise bas et des agneaux des autres brebis (Poindron et coll., 2010). Néanmoins, grâce aux mécanismes décrits plus haut, la brebis change tranquillement d'attitude face au liquide amniotique pendant le travail; elle devient attirée par l'odeur et le goût du sien lorsque la poche des eaux se rompt et que le liquide s'écoule et il arrive même qu'elle soit attirée par ceux d'autres brebis qui mettent bas à proximité. Le liquide amniotique contient de l'information olfactive sur l'agneau, et l'attraction de la brebis passe du liquide amniotique au sol à celui qui enduit le pelage de son petit (Dwyer, 2014). Ce comportement présente une spécificité puisqu'il est circonscrit à son propre agneau (Nowak et coll., 2007), mais le processus de création du lien affectif peut être altéré si la brebis est atteinte d'anosmie (incapable de sentir) ou si le signal olfactif émanant de son propre agneau est contaminé par celui d'autres agneaux (Poindron et coll., 2010). En ce sens, il importe de donner du temps à la brebis sur le lieu de naissance pour transférer son attraction des liquides produits lors de la mise bas à son agneau, et éviter de contaminer l'agneau avec le liquide amniotique des autres agneaux. Les brebis qui passent moins de temps au site de naissance ou qui quittent le site de naissance trop tôt affichent un lien brebis-agneau réduit et un plus grand risque de décès de leur petit, surtout chez les brebis portant des jumeaux (Nowak et Poindron, 2006).

4.3.4 Neuroendocrinologie

À la naissance de l'agneau, la brebis entre – à la suite de l'émission de signaux et de la libération d'ocytocine provoquées par l'étirement du canal pelvien – dans une phase d'apprentissage intensif au cours de laquelle des modifications des neurotransmetteurs dans le bulbe olfactif lui permettent de développer une mémoire olfactive exclusive pour son agneau (Lévy et coll., 1993;

1995; Keverne et coll., 1993). Il s'agit d'une période relativement courte, d'une durée de 20 à 60 minutes après la mise bas, et si la brebis n'est pas capable d'interagir avec son petit à ce moment-là, elle risque de ne pas être capable de le reconnaître (Poindron et coll., 2010). C'est ce qu'on appelle la « sélectivité » maternelle; concrètement, la brebis laisse son petit atteindre ses pis, mais rejette les tentatives des autres agneaux (Poindron et coll., 2007). Puisque la brebis développe un lien exclusif avec ses petits et rejette tous les autres agneaux en les empêchant de téter, c'est la cause majeure de confusion maternelle ou d'abandon des agneaux. Des études portant sur l'évolution dans le temps du lien maternel suggèrent que la plupart des brebis développent un attachement exclusif dans les 6 à 12 heures suivant l'agnelage et que tous les autres agneaux sont alors rejetés (Nowak et coll., 2011). Les brebis doivent développer un lien chacun de leurs petits; dans une même portée, il y a rarement de jumeaux identiques (Romeyer et coll., 1993), et la brebis doit apprendre à reconnaître la signature génétique et olfactive de chacun. Ainsi, toute intervention humaine ou toute ingérence par d'autres brebis entraînant la séparation des brebis de leurs agneaux peu après la naissance constitue un facteur de risque d'échec de la création du lien affectif. Ces réactions peuvent entraîner la mort des agneaux par inanition ou hypothermie, car la sélectivité de la brebis empêchera les autres brebis de s'occuper d'un agneau rejeté, ou nécessiteront des mesures de gestion pour prendre en charge l'agneau orphelin.

4.4 Comportement brebis-agneau

4.4.1 Comportement à la mise bas

Après la mise bas, la première réaction de la brebis à la présence de l'agneau consiste en une période intensive de léchage et de toilettage, laquelle peut durer de 2 à 4 heures après la naissance, accompagnée de bêlements graves et fréquents ou de « grognements » à l'intention de son petit (Dwyer, 2008a). Le léchage et le toilettage servent d'importantes fonctions : ils permettent de nettoyer et de sécher l'agneau, ce qui peut s'avérer très important lors de l'agnelage en plein air, où le refroidissement éolien peut faire chuter la température corporelle des agneaux nouveau-nés mouillés (Pollard, 2006; Plush et coll., 2016). Les brebis peuvent aussi retirer les membranes et liquides de la gueule et du museau de leur petit, ce qui stimule la respiration. De plus, le léchage et le toilettage sont les mécanismes principaux par lesquels la brebis apprend à reconnaître l'odeur de ses petits. La vocalisation de la brebis peut avoir un effet rassurant et renforcer le lien entre la brebis et son petit (Sèbe et coll., 2008; Dwyer et coll., 1998). La brebis facilite également les premiers réflexes de recherche du pis et de tétée chez son agneau, afin de lui permettre de trouver le pis et de téter le premier colostrum. Une perturbation du déclenchement normal du comportement maternel peut se traduire chez la brebis par une réticence à laisser l'agneau accéder au pis, par des mouvements circulaires ou de recul lorsque l'agneau entreprend d'y accéder, et par des réactions d'agressivité ou de rejet (coups de tête et menaces), souvent accompagnées de vocalisations aiguës indiquant une détresse (Dwyer et Lawrence, 1998; Dwyer et coll., 1998).

En outre, la survie de l'agneau nouveau-né dépend aussi de son comportement. Les agneaux sont précoces, mobiles et actifs dès la naissance; ils sont capables de réguler leur propre température corporelle et contribuent ainsi activement à leur propre survie. Ils possèdent des réserves de graisse brune situées autour des principaux organes et dans la région scapulaire, lesquelles contiennent une protéine de découplage unique leur permettant de générer rapidement de grandes

quantités de chaleur grâce à un processus appelé « thermogenèse sans tremblement » (Clarke et Symonds, 1998). L'agneau dispose ainsi de suffisamment de chaleur pour maintenir sa température corporelle immédiatement après la naissance, mais nécessite de l'énergie provenant des nutriments pour maintenir ce niveau de production de chaleur. L'agneau nouveau-né doit reconstituer ces réserves en tétant; ainsi, par temps froid (en particulier s'il y a du vent ou de l'humidité), lorsque les agneaux perdent rapidement de la chaleur vers l'environnement, le laps de temps pendant lequel ils peuvent maintenir leur température corporelle avant de téter est très court (Plush et coll., 2015; 2016). Sur le plan comportemental, l'agneau passe par une séquence comprenant le redressement, la tentative de se lever et le fait de se tenir debout, qui s'effectue généralement dans les 5 à 15 minutes suivant la naissance, bien que certains agneaux puissent mettre beaucoup plus de temps (Dwyer, 2003; Dwyer et Lawrence, 2000a; Dwyer et Morgan, 2006). Une fois debout, l'agneau doit être suffisamment agile pour rester sur ses quatre pattes, s'orienter vers la brebis, intégrer les informations sensorielles provenant de celle-ci (telles que les différences de texture entre le ventre laineux de la brebis et le toucher lisse du pis, ou encore l'odeur de la cire sécrétée par le pis), et s'attacher à un trayon (Nowak et coll., 1997).

L'ingestion de colostrum sert plusieurs fonctions vitales pour l'agneau. Elle lui offre une bonne source de nutriments, notamment pour générer de la chaleur et maintenir sa température corporelle (Clarke et Symonds, 1998). Le lait maternel offre en outre une immunité passive à l'agneau grâce aux immunoglobulines G (IgG) présentes dans le colostrum. Les macromolécules comme les immunoglobulines n'étant pas transmises à travers le placenta, l'agneau nouveau-né est naïf sur le plan immunologique (Nowak et Poindron, 2006). Ainsi, c'est le premier lait ou colostrum qui lui transmet les immunoglobulines nécessaires. Pendant une courte période après la naissance, l'intestin demeure perméable au passage des immunoglobulines (ainsi qu'à d'autres grosses molécules comme des bactéries), une tétée hâtive peut conférer une protection immunitaire. Le colostrum contient également des facteurs de croissance qui favorisent la fermeture de l'intestin et limitent ainsi le passage d'agents pathogènes tels qu'*E. coli* susceptibles de provoquer des maladies chez les agneaux nouveau-nés. Enfin, la tétée joue un rôle essentiel dans l'établissement du lien entre la brebis et son petit, aidant ce dernier à reconnaître sa mère (Nowak et coll., 2007). Tout comme la brebis doit apprendre à reconnaître ses petits, l'agneau doit lui aussi apprendre à reconnaître sa mère afin de rester à ses côtés et d'éviter de s'aventurer vers le pis d'une autre brebis, ce qui pourrait être périlleux compte tenu des réactions vigoureuses de rejet manifestées par les brebis envers les agneaux étrangers. Il a été démontré que les agneaux sont capables de distinguer leur mère à courte distance dès l'âge de 12 heures grâce à des indices visuels et olfactifs (Nowak et Lindsay, 1992) ou dès 48 heures grâce à des indices vocaux (Sèbe et coll., 2007). Les agneaux peuvent différencier leur mère d'une autre brebis à distance dès l'âge de trois jours, bien qu'ils mettent davantage de temps à distinguer les autres membres de la portée (Nowak, 1990). Chez les portées gémellaires, les agneaux qui passaient moins de temps auprès de leur mère lors des tests réalisés à 12 heures de vie présentaient un taux de survie plus faible jusqu'à 7 jours de vie (Nowak et Lindsay, 1992). Ainsi, la tétée et l'ingestion précoce de colostrum sont essentielles à la survie des agneaux. Les agneaux qui tardent à se redresser et à téter après la naissance sont davantage exposés au risque d'hypothermie et d'inanition, plus vulnérables aux maladies infectieuses, aux blessures et à la prédation.

4.4.2 Lien brebis-agneau pendant la lactation

Une fois que le lien entre la brebis et l'agneau est formé, il se maintient de manière relativement stable durant la lactation, où une séparation courte de la dyade n'affaiblit pas le lien. Des études menées sur l'évolution dans le temps du lien maternel indiquent qu'une séparation de quatre heures à la naissance se traduit par l'administration de soins maternels par seulement 50 % des brebis, et le pourcentage recule à 10 % avec une séparation de 24 heures (Poindron et coll., 2007). Cependant, les brebis ayant été en contact avec leur petit pendant 24 heures montrent tout de même une réactivité maternelle lorsqu'elles sont séparées de leur petit pendant 24 heures. Par rapport aux animaux qui ne sont pas en lactation, les brebis en lactation sont attentives à la présence de leurs petits et montrent une plus grande vigilance (notamment par la posture d'alerte la tête haute où elles se tiennent la tête rigidement au-dessus des épaules). La brebis et l'agneau se tiennent à proximité l'un de l'autre, les nombreuses tétées les encourageant à rester à proximité, et ils sont en difficulté lorsqu'ils sont séparés, et ce, même s'ils parviennent à maintenir un contact visuel (Dwyer et Lawrence, 2000a). Durant les premières semaines de lactation, la brebis laisse son petit téter à n'importe quelle occasion. Plus les jours passent, plus l'agneau s'éloigne de sa mère, lorsqu'il joue par exemple, mais il reste quand même proche d'elle pour brouter, se reposer, ou se déplacer. Lorsque l'agneau atteint 4 semaines environ, la brebis se met à restreindre l'accès aux pis aux moments qu'elle désigne à son petit (par vocalisation ou posture de tête haute) (Pickup et Dwyer, 2011). Chez les brebis ayant des jumeaux, celles-ci laissent typiquement les agneaux téter seulement quand les deux sont présents. Elles continuent ensuite à gérer les dynamiques de la relation même si la responsabilité du maintien des contacts passe à l'agneau pour le reste de la période de lactation.

Chez les ovins, la période naturelle de lactation est plutôt longue – jusqu'à 12 mois –, ce qui offre à l'agneau une période prolongée d'apprentissage auprès de sa mère. Dans un contexte naturel, l'agneau resterait dans son troupeau natal pour la vie, avec sa mère et ses grands-mères. Les agneaux se familiarisent avec les signaux sociaux utilisés dans le troupeau (posture la tête haute qui signale les menaces potentielles aux autres membres du troupeau), les distances sociales (Dwyer et Lawrence, 2000a), les préférences alimentaires (Mirza et Provenza, 1990; Saint-Dizier et coll., 2006), et la réactivité à la nouveauté (Coulon et coll., 2015). Dans certains systèmes d'exploitation, ce transfert de connaissances s'inscrit dans un système appelé « hefting », où les brebis sont élevées dans des pâturages non clôturés au Royaume-Uni et où il y a une transmission de mère en fille des informations sur la nourriture, l'eau et le « domaine vital ».

4.5 Facteurs influençant l'expression du comportement maternel

Comme nous venons de l'évoquer, le lien brebis-agneau relève de la gestion physiologique maternelle; la brebis envoie une cascade de réponses en réaction à différents signaux qui lui permettent d'exprimer le bon comportement au bon moment pour renforcer le lien avec son petit. En plus d'adopter des comportements qui permettent à l'agneau de téter, il est aussi crucial que la brebis apprenne à reconnaître sa progéniture. Cependant, ces réponses peuvent être affectées à la fois par des facteurs internes et externes qui peuvent perturber le lien et ainsi augmenter la probabilité de mortalité des agneaux.

4.5.1 Parité de la brebis

Il est bien connu qu'à leur premier agnelage, les brebis sont plus vulnérables à la perte de leurs petits et peuvent montrer des troubles de comportement (Dwyer, 2008a; Dwyer et Lawrence, 2000b). Ces troubles se manifestent par une apparition tardive du léchage et du toilettage maternels, une fréquence élevée de mise à l'écart quand l'agneau tente de téter, ce qui prolonge le délai entre la naissance et la première ingestion de colostrum, ainsi qu'une forte propension à manifester de l'agressivité maternelle et des comportements de rejet, du moins dans les premiers temps. Les brebis primipares sont aussi moins efficaces sur le plan reproductif : elles donnent généralement naissance à des agneaux petits et légers, associés à des placentas moins efficaces; elles produisent des portées moins nombreuses et de plus faibles quantités de lait et de colostrum (Dwyer et coll., 2005). Sur le plan neurobiologique, les brebis primipares présentent une densité plus faible de récepteurs α aux œstrogènes dans les régions hypothalamiques et limbiques du cerveau (Meurisse et coll., 2005), les concentrations circulantes d'œstrogènes ne sont pourtant pas affectées (Dwyer et Smith, 2008), de sorte que ces animaux sont moins sensibles aux effets d'amorçage induits par les œstrogènes et la progestérone. Les brebis inexpérimentées doivent vivre l'expérience de l'interaction avec un agneau lors de leur première gestation pour que leurs réponses neurochimiques atteignent leur pleine maturité. Associée aux différences comportementales observées, cette situation se traduit par une mortalité plus élevée et une croissance plus lente de la progéniture des mères primipares. Elles dépendent davantage que les brebis expérimentées de la séquence précise des événements hormonaux et des stimuli émis par l'agneau pour entraîner un comportement maternel. Ainsi, elles sont également plus sensibles aux perturbations environnementales susceptibles d'interférer avec ces mécanismes (voir ci-dessous). En outre, puisque la plupart des systèmes d'élevage ovin sont organisés par groupe d'âge, les brebis inexpérimentées n'ont généralement jamais été en contact avec de jeunes agneaux auparavant. Corollairement, la peur de la nouveauté pourrait aussi contribuer à leur perturbation. Chez les brebis primipares, on observe souvent des réponses semblables de toilettage et de bêlage aux brebis multipares, mais elles risquent davantage de s'éloigner de leur petit lorsqu'il tente de téter après la naissance, jusqu'à ce qu'elles se familiarisent avec sa présence.

4.5.2 Génétique maternelle

Bien des études montrent les différences entre les races dans la quantité et la qualité des soins maternels exprimés par les brebis après la mise bas, qui, dans certains cas, se traduisent dans la mortalité des agneaux. Globalement, on s'entend généralement pour dire que les brebis qui sont plus « rustiques » ou moins sélectionnées pour leurs caractéristiques de production sont plus maternelles que les autres et font preuve d'une attention maternelle plus soutenue et ciblée que celles sélectionnées pour la production (Dwyer et Lawrence, 2005). Ces études soutiennent clairement la variation génétique dans la capacité d'une brebis à fournir des soins de qualité à sa progéniture. Les tentatives visant à établir des indices d'héritabilité des soins maternels ont été entravées par le manque de données fiables reflétant avec précision le comportement des brebis et, dans de nombreux cas, se sont appuyées sur des mesures indirectes telles que l'indice de comportement maternel (O'Connor et coll., 1985), l'indice d'assistance maternelle (Hay et coll., 2025b) ou la capacité de la brebis à élever ses agneaux jusqu'au sevrage (Cloete et Scholtz, 1998). Certaines mesures indirectes ne permettent pas de distinguer les différentes motivations de la brebis; par exemple, l'indice de comportement maternel évalue la disposition d'une brebis à

s'approcher d'un humain tenant son agneau (O'Connor et coll., 1985). Toutefois, cette méthode fait intervenir simultanément la crainte de l'humain et la motivation maternelle à demeurer auprès de l'agneau. Par conséquent, une brebis très maternelle, mais fortement craintive peut obtenir un score inférieur à celui d'une brebis moins maternelle, mais plus brave. Les études indiquent par ailleurs que ce paramètre est faiblement corrélé à la survie des agneaux (Lambe et coll., 2001; Everett-Hincks et Cullen, 2009). D'autres indices ne permettent pas de distinguer clairement les comportements de l'agneau de ceux de la brebis (ex. l'indice d'assistance maternelle). Cette difficulté peut contribuer aux niveaux souvent faibles d'héritabilité rapportés pour le comportement maternel (ex. 0,05 pour l'indice d'assistance maternelle : Hay et coll., 2025b; de 0,09 à 0,20 pour l'indice de comportement maternel : Brien et coll., 2010; Everett-Hincks et Cullen, 2009; Everett-Hincks et coll., 2005; Lambe et coll., 2001). Cependant, malgré ces limites, la sélection génétique favorisant l'aptitude maternelle à l'élevage des agneaux a été associée à des modifications des réponses comportementales maternelles (Cloete et coll., 2002), ce qui témoigne d'un certain contrôle génétique de ce trait.

4.5.3 Nutrition pendant la gestation

En raison de son impact sur la sécrétion de progestérone et le développement du placenta, la dénutrition en début de gestation influe sur l'implantation du fœtus et la reconnaissance de la gestation par la mère (Abecia et coll., 2006; Toschi et Baratta, 2021). Le comportement maternel est toutefois principalement influencé par une réduction de l'apport nutritionnel en fin de gestation et ne semble pas être touché par une sous-alimentation modérée survenant plus tôt au cours de la gestation. La sous-alimentation des brebis en fin de gestation est associée à un développement mammaire insuffisant ainsi qu'à une faible production de lait et de colostrum (Mellor et Murray, 1985; Mellor et coll., 1987; Charismiadou et coll., 2000; Bizelis et coll., 2000). La sous-alimentation est aussi reconnue pour altérer le comportement maternel : les brebis mettent plus de temps à interagir avec leur progéniture que les brebis correctement nourries, elles consacrent moins de temps au léchage, au toilettage, et aux vocalisations à l'égard de leurs agneaux après la naissance, et semblent établir un lien maternel moins fort avec ceux-ci (Dwyer et coll., 2003). Elles passent aussi moins de temps sur le site de mise bas (Putu et coll., 1988) et reprennent plus rapidement leur alimentation après la mise bas (Dwyer et coll., 2003).

4.5.4 Environnement

Dans des conditions naturelles, les brebis s'éloignent généralement du troupeau en fin de gestation et se dirigent vers un endroit isolé et retiré de leur territoire afin de mettre bas (Dwyer et Lawrence, 2005). Même dans un pâturage délimité ou dans un système d'élevage en bâtiment, les brebis choisissent de se déplacer vers des zones plus élevées pour agneler, le long des clôtures ou dans des cases individuelles lorsqu'elles en ont la possibilité (Gonyou et Stookey, 1985). Elles préfèrent manifestement mettre bas dans un endroit calme et isolé où elles ne seront pas dérangées, et certaines données indiquent qu'elles choisissent de mettre bas en l'absence des humains lorsque la surveillance des agnelages est intermittente. Si elles sont dérangées pendant la mise bas, les brebis peuvent retarder la parturition, ce qui peut prolonger le travail et augmenter les risques de dystocie et de mortinaissance (Fisher et Mellor, 2002). Comme indiqué précédemment, dans les systèmes d'élevage en intérieur, une fois que la brebis a commencé à agneler, elle risque d'être déplacée trop tôt de son site de mise bas (par d'autres brebis ou à la suite d'interventions de gestion), ce qui peut perturber le processus normal d'attachement et de

reconnaissance de l'agneau. Lorsque plusieurs brebis mettent bas à proximité les unes des autres, il existe également un risque de confusion maternelle, car les brebis sont attirées par tout agneau nouveau-né et peuvent développer une mémoire olfactive envers un agneau qui n'est pas le leur.

Chez les rongeurs, le stress psychologique de la gestation réduit ou supprime complètement l'expression de l'attention maternelle, la diminution du toilettage maternel venant avec des réponses d'anxiété accrues (Patin et coll., 2002; Champagne et Meaney, 2006). Chez les ovins, à peine quelques études se sont penchées sur ces effets, et les données sont plutôt non concluantes. Dans une étude où des brebis ont été soit manipulées de manière douce ou rude pendant la gestation, une augmentation du léchage maternel de l'agneau a été observée dans le groupe manipulé de manière rude (Hild et coll., 2011). Cependant, d'autres études portant sur le transport, l'isolement social, la mise en parc, la tonte en milieu de gestation ou une série d'agents de stress chroniques légers et imprévisibles ont montré une augmentation des comportements d'anxiété dans certaines situations (Roussel et coll., 2006), mais peu ou pas d'effet sur l'apparition du comportement maternel chez la brebis (Coulon et coll., 2014; Corner et coll., 2006) ainsi qu'un léger effet négatif sur les réponses d'attachement maternel (Coulon et coll., 2014). Le stress social induit par une restriction d'espace ou une forte densité d'élevage chez les brebis allaitantes est associé à une augmentation de la libération de cortisol maternel ainsi qu'à une diminution des comportements de léchage maternel et de la durée des tétées (Lv et coll., 2015). Ainsi, globalement, dans la plupart des situations, le stress pendant la gestation, aux niveaux observés dans ces études chez les brebis, n'a qu'un impact direct négatif limité sur l'apparition de l'expression du comportement maternel.

4.5.5 Dystocie

Chez la brebis, une mise bas difficile entraîne un délai plus long avant de se lever et de lécher son agneau (Dwyer et Lawrence, 2000a), ce qui est lié à l'épuisement et potentiellement à la douleur associée aux mises bas assistées ou à un travail prolongé. Les brebis qui restent couchées longtemps après la mise bas risquent de ne pas lécher leurs agneaux pendant la période critique de formation de leur mémoire olfactive, et sont donc plus susceptibles d'échouer à établir un lien maternel avec leur petit (Dwyer et Lawrence, 1998). Une césarienne entraîne un risque de perturbation du réflexe de Ferguson (Flint et coll., 1978) et d'altération de l'apparition du comportement maternel (Krehbiel et coll., 1987). Cependant, c'est peu probable lorsque la césarienne fait suite à une période de travail durant laquelle l'agneau a déjà progressé dans le canal pelvien.

4.5.6 Santé de la brebis

Les pathologies douloureuses ou les mauvais états de santé peuvent avoir un effet significatif sur le comportement de la brebis (Gougoulis et coll., 2010); cela peut notamment modifier sa position dans l'ordre de déplacement du troupeau (Doughty et coll., 2018). Peu d'études se sont attardées à l'incidence d'une piètre santé maternelle sur l'expression du comportement maternel chez les ovins, la majorité des travaux portant plutôt sur l'effet des soins maternels sur les réponses à la douleur de la progéniture. Cependant, les tendances de comportements brebis-agneau sont modifiées par des cas de mammites subcliniques (Gougoulis et coll., 2010) et de boiterie. Des capteurs de proximité ont décelé que les agneaux restent plus proches des brebis boiteuses (Reeves, 2024). Il existe toutefois des éléments qui portent à croire que ces

observations reflètent des modifications du comportement de l'agneau plutôt que celui de la brebis, ce qui peut témoigner d'une inanition chez l'agneau (Peckler et Adcock, 2025).

4.6 Facteurs qui influencent l'expression du comportement de l'agneau

L'expression coordonnée et active des comportements de redressement, de recherche du pis et de succion chez l'agneau est essentielle à sa survie. L'agneau doit ingérer une quantité suffisante de colostrum afin de maintenir sa température corporelle, en plus des autres bénéfices associés au colostrum, et une tétée précoce est associée à une meilleure survie. Même une brebis qui présente une attention maternelle assidue ne peut garantir la survie d'un agneau de faible vitalité, et le comportement maternel tend à s'atténuer si l'agneau ne la stimule pas suffisamment par la succion. Les réponses de succion et les contacts entre la brebis et l'agneau entraînent une libération d'ocytocine, ce qui contribue au maintien de l'expression des comportements d'attachement. Le comportement de l'agneau peut être influencé par des facteurs intrinsèques, ainsi que par des événements survenant pendant la gestation (période prénatale) et à la naissance.

4.6.1 Génétique de l'agneau

À l'instar des études sur les différences entre les races dans l'attention maternelle, des différences liées à la race, à la lignée et au bélier ont également été mises en évidence dans le comportement des agneaux (Dwyer et Lawrence, 2000a; Dwyer, 2003). Ces résultats montrent également que les races d'agneaux plus rustiques, moins soumises à la sélection, sont généralement plus rapides à se lever et à trouver la mamelle que les races d'agneaux davantage sélectionnées pour des caractères de production. Une étude utilisant le transfert d'embryons entre races a montré que ce phénomène était indépendant du comportement maternel et reflétait le comportement des agneaux immédiatement après la naissance (Dwyer et Lawrence, 1998). Les estimations d'héritabilité des comportements des agneaux ont montré que le redressement et la succion relèvent d'un contrôle génétique significatif propre aux agneaux (MacFarlane et coll., 2010; Matheson et coll., 2012), ce qui indique que la vigueur accrue de l'agneau pourrait être une cible pour les programmes de sélection génétique.

4.6.2 Taille de la portée

Le taux de mortalité est plus élevé dans les grosses portées (trois agneaux ou plus) que dans les portées simples ou doubles (Hinch et coll., 1985; Dwyer, 2003), et les causes de mortalité sont différentes (les agneaux issus de portées simples sont plus susceptibles de mourir de dystocie et de mortinaissance, les jumeaux, de blessures et du complexe famine-comportement maternel inadéquat-exposition, et les triplets, du complexe ou d'un développement fœtal incomplet : Refshauge et coll., 2015). Le faible poids à la naissance des agneaux de portées multiples contribue sans aucun doute à leur mortalité accrue, car ils présentent un rapport surface/volume plus important et perdent donc leur chaleur corporelle plus rapidement que les agneaux lourds, tout en disposant de réserves de graisse brune plus faibles (Stott et Slee, 1987; Dwyer et Morgan, 2006). Cependant, les triplets sont aussi menacés par leur insuffisance placentaire (Dwyer et coll., 2005) et présentent également des réponses comportementales et physiologiques altérées par rapport aux agneaux issus de portées simples ou gémellaires, en plus des effets liés au poids de naissance. De plus, la brebis ne possède généralement que deux trayons fonctionnels et doit donc répartir ses soins maternels entre trois agneaux ou plus. Bien que la brebis augmente le

léchage maternel avec chaque agneau supplémentaire, les agneaux nés en dernier reçoivent moins de léchage et de toilettage que les premiers-nés (Dwyer et Lawrence, 1998). Dans des études portant sur la reconnaissance mutuelle, les brebis portant des triplets sont capables de distinguer chacun de leurs petits (Chniter et coll., 2017), tandis que les agneaux issus d'une portée triple présentent des déficits dans leurs capacités de reconnaissance maternelle.

4.6.3 Sexe de l'agneau

De manière générale, les agneaux mâles sont plus grands, plus susceptibles de présenter des difficultés de mise bas et plus lents à se lever et à téter que les agnelles (Dwyer, 2003). Lors de tests de séparation et réunification avec la mère, les agnelles vocalisaient davantage à la séparation et quittaient plus rapidement le parc d'attente pour rejoindre leur mère que les agneaux mâles (Hernandez et coll., 2009). Ces différences comportementales se traduisent par un taux de mortalité plus élevé chez les agneaux mâles que chez les agnelles (Huffman et coll., 1985; Southey et coll., 2004; McHugh et coll., 2015).

4.6.4 Facilité de l'agnelage

Une mise bas rapide et sans complications favorise un redressement rapide et une tétée hâtive (Dwyer, 2003). La naissance difficile est un important facteur de risque de la mortalité accrue des agneaux (ex. McHugh et coll., 2015), et l'incidence d'une mise bas prolongée sur les traits comportementaux y contribue certainement. Les agneaux peuvent subir diverses atteintes lors d'une mise bas difficile, notamment des hémorragies au niveau du cerveau et de la moelle épinière, des œdèmes sous-cutanés ou encore une rupture hépatique. De plus, une mise bas difficile peut entraîner chez les agneaux diverses lésions, notamment des hémorragies cérébrales et médullaires, des œdèmes sous-cutanés ainsi qu'une rupture du foie. L'assistance apportée lors de la mise bas d'agneaux présentant une dystocie peut également entraîner des fractures des membres, des côtes cassées et d'autres traumatismes. En outre, un travail prolongé et une mise bas difficile peuvent causer de l'hypoxie et des lésions traumatiques à l'agneau, 80 % de la mortalité durant la mise bas présentait une forme de blessure liée à la naissance, jusqu'à 57 % des animaux mouraient du complexe famine-comportement maternel inadéquat-exposition (Haughey et coll., 1993). Une étude menée en Uruguay sur le système nerveux central de 96 agneaux corriedale issus de portées simples ou gémellaires et morts au cours des six premiers jours de vie a montré que les hémorragies méningées, la congestion et l'œdème cérébraux, la nécrose ischémique neuronale, les hémorragies intraparenchymateuses de la moelle allongée (bulbe rachidien) et de la moelle épinière cervicale, la nécrose cérébrale para-sagittale ainsi que la leucomalacie périventriculaire sont associées à la mortalité précoce (Dutra et coll., 2007). Aucune lésion significative n'a été observée chez les agneaux morts avant la mise bas ni chez ceux décédés entre 7 et 16 jours de vie. Les auteurs concluent que les lésions du système nerveux central peuvent expliquer la majorité des décès survenant au cours des six premiers jours de vie et qu'elles sont très probablement associées à des blessures liées à la naissance. Cependant, les études menées en Nouvelle-Zélande (Lashley et coll., 2014; n = 65 agneaux gémellaires) et en Australie (Robertson et coll., 2020; n = 64) ont détecté des hémorragies du système nerveux central chez des agneaux morts de diverses causes, y compris chez des agneaux ne présentant aucun autre signe de dystocie ainsi que chez des agneaux euthanasiés, ce qui suggère que cette pathologie pourrait être fréquente chez de nombreux agneaux après la naissance. En extrapolant à partir des études menées chez l'être humain, ce type de lésions est associé à une douleur

intense (Moussouttas et coll., 2006; Schwedt et coll., 2006). Chez les veaux laitiers nouveau-nés, les traitements par les AINS accentuent le jeu (soit un indicateur d'une amélioration du bien-être : Gladden et coll., 2019) et la capacité à se tenir debout chez les veaux ayant un faible score de vigueur à la naissance (Kovács et coll., 2022) comparativement aux veaux ayant seulement reçu un sérum physiologique. Une étude de veaux de boucherie témoigne d'une amélioration du gain moyen quotidien grâce au traitement par les AINS par rapport au sérum physiologique, même si aucune incidence sur le comportement n'a été observée (Pearson et coll., 2019). Aucune étude semblable n'a été menée chez les agneaux.

4.6.5 Effets environnementaux

La période de naissance des agneaux est souvent caractérisée par des températures froides et humides, alors qu'ils ont une faible couverture adipeuse et un rapport surface corporelle/poids vif élevé, ce qui exacerbe la perte de chaleur (Alexander et coll., 1973; Labeur et coll., 2017). Le maintien de la température corporelle exige une dépense énergétique importante, qui doit être assurée par un métabolisme efficace du tissu adipeux brun ainsi que l'expression rapide des comportements de redressement et de tétée menant à l'obtention de lait. Les agneaux affichant un faible poids corporel, des réserves de gras bruns réduites et un redressement et une tétée tardifs sont plus vulnérables aux pertes de chaleur irréversibles (Slee et Springbett, 1986). La période de déperdition thermique, notamment par évaporation, est réduite lorsque la température ambiante est faible et que l'exposition au refroidissement éolien ou aux précipitations est importante. Bien qu'une étude australienne ait montré que la mortalité le jour de la naissance était peu affectée par un indice de refroidissement élevé (Horton et coll., 2018), la mortalité ultérieure était significativement associée à l'exposition au froid.

Des différences entre les races dans la capacité de l'agneau à conserver sa température ont été décelées (Dwyer et Morgan, 2006; Slee et Springbett, 1986), lesquelles sont liées à une vigueur accrue de l'agneau ainsi qu'un redressement et une tétée hâtifs (Dwyer et Morgan, 2006) et des différences physiologiques entre les races (Dwyer et Morgan, 2006; Plush et coll., 2015). La vigueur de l'agneau et son délai avant le redressement ne semblaient pas être affectés par des facteurs météorologiques (température de l'air et vitesse du vent). Cependant, ces facteurs influaient sur le succès de la recherche du pis des agneaux (Slee et Springbett, 1986), ce qui tend à indiquer que les agneaux peuvent vite avoir du mal à téter par temps froid. Des différences dans le pelage à la naissance (long et poilu ou court et laineux) montrent que les agneaux présentent une meilleure survie lorsqu'ils portent un pelage long et poilu (Allain et coll., 2014), ce qui entraîne une déperdition thermique moindre et une croissance supérieure par rapport aux agneaux présentant un pelage de naissance court et laineux. Le pelage à la naissance présentait une héritabilité élevée ($h^2 = 0,60-0,88$) dans diverses études (Slee et coll., 1991; Allain et coll., 2014), montrant le potentiel d'améliorer la résistance de l'agneau au froid. Chez les moutons mérinos, le polymorphisme des récepteurs β_3 -adrénergiques semble être associé à une survie accrue de l'agneau (Forrest et coll., 2006) et peut favoriser une sélection pour une tolérance améliorée au froid (Forrest et coll., 2007). Dans les études ayant mis en œuvre une sélection à long terme visant à améliorer les aptitudes maternelles des brebis à élever leurs petits, les agneaux issus de la lignée à forte survie présentaient des températures rectales plus élevées et une meilleure capacité de survie dans des conditions de fort indice de refroidissement (calculé à partir des précipitations, de la vitesse du vent et de la température ambiante) que les agneaux issus de la lignée à faible survie (Nel et coll., 2021).

4.6.6 Effets prénataux et épigénétiques

Le comportement de l'agneau peut être influencé par son développement prénatal *in utero*, que ce soit parce que l'interaction a un effet sur le poids à la naissance, qui affecte le comportement de l'agneau (Dwyer, 2003), ou par des mécanismes épigénétiques ou de programmation développementale. Il s'agit de modifications permanentes de l'expression de l'ADN, résultant notamment de changements dans les profils de méthylation, qui entraînent des altérations durables des réponses au cours de la vie postnatale, sans modification du génome lui-même (révision de Sinclair et coll., 2016). Les études menées chez les rongeurs, au moyen de manipulations des soins maternels ou de protocoles de stress gestationnel, ont fourni des preuves convaincantes de modifications permanentes et importantes des réponses de la progéniture à l'âge adulte (notamment Darnaudéry et Maccari, 2008; Brunton et Russell, 2010; McGowan et Matthews, 2018). On a observé un effet sur plusieurs tissus et organes, y compris le développement musculaire, le développement reproductif, l'appétit et la susceptibilité aux maladies, ainsi que la réactivité au stress (Sinclair et coll., 2016). Les rats exposés à un stress au cours du développement prénatal présentent, à l'âge adulte, une réactivité accrue de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (HHS), accompagnée d'un niveau d'anxiété plus élevé, de comportements de type dépressif ainsi que d'altérations d'autres fonctions comportementales, notamment de la mémoire dans certaines épreuves (McGowan et Matthews, 2018). Il convient de noter que les manipulations expérimentales chez les rongeurs impliquent souvent des facteurs de stress plus intenses que ceux habituellement appliqués chez les ovins (par exemple, une contention physique répétée pouvant durer jusqu'à une heure à chaque épisode). En théorie, toutefois, ces effets pourraient également être observés chez d'autres espèces de mammifères, y compris les ovins.

De nombreuses études ont révélé un effet néfaste de la dénutrition maternelle, surtout en fin de gestation, sur le poids à la naissance des agneaux, ce qui se répercute sur la survie de ces derniers (Rooke et coll., 2017). Chez l'agneau, un faible poids à la naissance concorde avec un redressement et une tétée tardifs (Dwyer, 2003), une difficulté à maintenir sa température corporelle (Dwyer et Morgan, 2006), et un retard apparent dans leur capacité à discerner et suivre sa mère après la naissance (Dwyer et coll., 2016), lesquels concourent tous à augmenter le risque de mortalité. La question de savoir si un faible poids de naissance entraîne des conséquences à plus long terme sur le développement de la progéniture, comme c'est le cas chez les nourrissons humains, reste relativement incertaine, probablement parce que la majorité des études portant sur l'impact de la nutrition prénatale n'incluent pas de critères d'évaluation s'étendant jusqu'au sevrage. Certaines données tendent à montrer une augmentation de la mortalité et une susceptibilité aux maladies des agneaux présevrés issus de brebis sous-alimentées en début ou milieu de gestation, et ce indépendamment du poids de naissance (Rooke et coll., 2010), ce qui pourrait être lié à des effets à plus long terme de la sous-alimentation prénatale. La majorité des études incluant un critère d'évaluation à plus long terme rapportent des modifications comportementales post-sevrage associées à la sous-alimentation pendant la gestation, bien que la direction de ces effets ne soit pas constante. Par exemple, Erhard et coll. (2004) ont observé une augmentation de la réactivité comportementale à la suite d'une sous-alimentation, tandis que d'autres études (Corner et coll., 2006; Hernandez et coll., 2010) rapportent une diminution. Sur le plan physiologique, des éléments de preuve indiquent une augmentation des concentrations basales des hormones impliquées dans la cascade de l'axe

hypothalamo–hypophyso–surrénalien (HHS), notamment l’hormone adrénocorticotrope (ACTH), chez les adultes exposés à une sous-alimentation fœtale (Gardner et coll., 2006; Oliver et coll., 2012), bien que d’autres études, généralement limitées à des points d’évaluation plus précoces, ne retrouvent pas ces effets.

Seules quelques études se sont penchées sur les conséquences de l’exposition au stress prénatal sur le développement ultérieur, à l’aide de différents facteurs de stress et variables de résultats. Dans l’ensemble, il existe peu de preuves concrètes d’une modification durable du comportement chez les agneaux exposés à divers types de stress pendant la gestation, bien que certaines données pointent vers une augmentation de la sécrétion basale de cortisol (d’après la revue de Rooke et coll., 2017). Il y a, cependant, certains résultats qui portent à croire que la réactivité maternelle peut influencer la réponse de la progéniture (Coulon et coll., 2015), les brebis hautement réactives présentant des réponses de leur progéniture différentes à une situation de stress par rapport aux brebis faiblement réactives. En général, il existe moins de preuves d’un effet de programmation sur le comportement des agneaux que dans les études menées chez les rongeurs. Cela pourrait s’expliquer par le fait que les études ovines ont généralement recours à des facteurs de stress moins intenses que les études chez les rongeurs, en privilégiant des facteurs de stress pertinents pour les systèmes de production ovine, et que seules des intensités de stress élevées permettent d’induire des réponses mesurables chez la progéniture. Il est également plausible que les brebis aient une capacité supérieure à celle des femelles rats à amortir les conséquences à long terme du stress chez leur progéniture, et que l’absence d’effet observé puisse constituer une réponse adaptative à l’environnement variable dans lequel l’espèce ovine a évolué. Cependant, en raison du nombre limité d’études disposant de critères d’évaluation pertinents (la majorité s’arrêtant à des stades présevrage, voire fœtaux), ainsi que de l’hétérogénéité des types et de l’intensité des stress appliqués et des paramètres mesurés, il n’est pas encore possible de formuler des conclusions définitives.

L’exposition à des températures ambiantes élevées est une préoccupation croissante avec les changements climatiques, et des augmentations soutenues de la température peuvent entraîner une inhibition de la croissance du fœtus chez les ovins (van Wettere et coll., 2021). Le poids du fœtus et de l’agneau nouveau-né sont réduits (parfois jusqu’au tiers) lorsque les brebis subissent des températures élevées, surtout lors d’une exposition du milieu à la fin de la gestation. Chez l’humain, l’exposition à la chaleur a aussi augmenté le risque de travail et d’accouchement prématurés (Yüzen et coll., 2023), même si cela n’a pas été démontré chez les ovins. En plus des effets sur le poids à la naissance, on note une réduction de la croissance placentaire, une diminution de la diffusion des gaz sanguins vers le fœtus, et une augmentation de la mortalité néonatale des agneaux nouveau-nés. Même si le stress thermique réduit typiquement la prise alimentaire des brebis, et que la dénutrition contribue au faible poids à la naissance comme il a été question ci-dessus, les effets délétères du stress thermique sur la croissance fœtale sont considérés comme étant largement indépendants de la prise alimentaire de la brebis.

4.7 Mise en adoption et élevage artificiel

Plusieurs raisons peuvent justifier le sevrage prématuré de l’agneau : rejet de sa mère (comme décrit ci-dessus), forte prolificité du troupeau, agneaux excédentaires (provenant de portées de trois agneaux ou plus) ne pouvant être pris en charge adéquatement par leur mère biologique, et systèmes laitiers où les agneaux sont séparés de leur mère très tôt pour la traite. Dans les deux

premières situations, les agneaux sont confiés de préférence à une autre brebis (ou, dans le premier cas, des tentatives peuvent être faites pour les faire réaccepter par leur propre mère). Ils sont souvent placés auprès de brebis n'élevant qu'un seul agneau ou auprès de brebis dont les propres agneaux sont morts. Une enquête comparant les pratiques d'élevage des agneaux de triplets au Royaume-Uni, en Irlande et en Nouvelle-Zélande a montré que l'adoption par une autre brebis constituait une pratique largement répandue au Royaume-Uni et en Irlande, tandis que cette approche était peu utilisée dans les élevages néo-zélandais pour la prise en charge des agneaux issus de portées multiples (Erichsen et coll., 2024), ce qui donne à penser qu'il pourrait être possible, dans certains contextes d'élevage, d'augmenter la capacité des brebis à élever des portées multiples. En revanche, dans les systèmes laitiers ou intensifs où les tailles de portée sont élevées, le recours à l'élevage artificiel des agneaux est généralement plus répandu.

En raison de la réponse sélective des brebis maternelles, amener une brebis à accepter un agneau qui n'est pas le sien n'est pas un processus simple. Diverses méthodes ont donc été proposées afin de surmonter la tendance biologique de la brebis à rejeter un agneau étranger. Ces méthodes comprennent la contention de la brebis pendant plusieurs jours (par exemple dans des stalles d'adoption) afin de permettre à l'agneau de téter, l'application d'odeurs ou d'un manteau sur l'agneau adopté, le recouvrement de l'agneau adopté avec la peau de l'agneau mort de la brebis, le frottement de l'agneau adopté avec les liquides de mise bas de la brebis adoptive (ce qu'on appelle généralement l'« adoption humide ») pendant qu'elle met bas, ainsi que la stimulation artificielle du col de l'utérus et du vagin peu après la naissance afin de provoquer une libération centrale d'ocytocine et de reproduire le processus de mise bas (Price et coll., 1984; Alexander et coll., 1985; 1987; Basiouni et Gonyou, 1988; Kendrick et coll., 1991). L'adoption est généralement plus réussie lorsqu'elle est faite le plus près possible de la parturition de la mère adoptive et lorsqu'elle reproduit les processus biologiques naturels impliqués dans la formation du lien maternel chez la brebis parturiente. Ainsi, l'adoption tout près de la parturition, la stimulation cervicale artificielle, et l'application du pelage de l'agneau décédé (pour lequel la mère adoptive a déjà développé une mémoire olfactive) ont tendance à être mieux réussies que les autres méthodes. La contention maternelle, bien que couramment utilisée (Shiels et coll., 2021; Whatford et coll., 2023), peut provoquer de la détresse et de la frustration chez la brebis, puisque celle-ci est limitée dans ses mouvements; elle ne peut pas se retourner et peut uniquement être en position coucher ou debout. De plus, la brebis ne peut pas interagir avec l'agneau, et puisque les liens maternels se développent d'abord par l'odorat, la contention entrave la reconnaissance de l'agneau adopté. Dans ces situations, la brebis peut sembler tolérer l'agneau adoptif, mais le lien développé reste faible, et une fois que la brebis est libérée des dispositifs de contention, elle risque de rejeter l'agneau. La mortalité des agneaux adoptés est bien plus élevée que les agneaux élevés par leur mère (Binns et coll., 2002; Dwyer, 2008a), ce qui peut refléter le lien maternel de moindre qualité, mais cela peut aussi être lié aux types d'agneaux candidats pour l'adoption (ex. membre d'une grosse portée). Un sondage mené au Royaume-Uni sur les pratiques agricoles de gestion des agneaux orphelins a démontré une grande utilisation des méthodes d'attache et de contention dans les grandes fermes et une mortalité des agneaux bien plus élevée (Whatford et coll., 2023) comparativement aux petites fermes.

Comme solution de rechange à l'adoption, les agneaux peuvent être sevrés artificiellement, généralement dans un enclos collectif, où le lait de substitution est distribué au biberon, au seau

ou grâce à un abreuvoir automatique. Les agneaux présentent une réaction au stress plus marquée lorsqu'ils sont séparés de leur mère à un stade précoce par rapport à un âge plus avancé ainsi qu'une réponse immunitaire réduite face à une exposition à des antigènes et un taux de mortalité plus élevé que chez les agneaux élevés par leur mère (Napolitano et coll., 2008). Cela donne à croire que des soins considérables sont requis pour sevrer ces agneaux dans un environnement qui ne sollicite pas trop un système immunitaire affaibli. À l'instar d'autres animaux laitiers sevrés artificiellement, les agneaux présentent des taux plus élevés de succion ou d'autres comportements oraux dirigés vers leurs congénères ou vers des objets présents dans l'environnement (Stephens et Baldwin, 1971), ce qui pourrait être lié à une incapacité à satisfaire leur motivation de succion dans le contexte de l'élevage artificiel. Ils manifestant aussi des altérations comportementales lors des tests de champ ouvert ou d'exposition à un nouvel objet, ce qui se traduit par un niveau d'activité plus faible et une latence accrue avant l'approche et l'interaction avec les stimuli (Napolitano et coll., 2003; 2008; Mialon et coll., 2021). Il a également été montré que les agneaux privés de leur mère et nourris avec un lait de remplacement présentent un retard de croissance et de développement cérébral (Love et coll., 2022), ce qui, bien qu'on ne puisse pas dissocier les effets respectifs des soins maternels et du lait de remplacement, suggère que l'élevage artificiel exerce une influence majeure sur le développement de l'agneau. De plus, les agneaux sevrés artificiellement présenteraient des taux de croissance inférieurs (Ward et coll., 2017; Belanche et coll., 2019) ainsi qu'une conformation de la carcasse de moindre qualité à l'abattage comparativement aux agneaux élevés par la mère (Lanza et coll., 2006; Ward et coll., 2017), même si cet effet peut être partiellement ou totalement atténué lorsque les agneaux ont un accès *ad libitum* au lait plutôt qu'une alimentation restreinte distribuée au biberon ou au seau.

Les tentatives d'améliorer le bien-être des agneaux sevrés artificiellement se sont concentrées sur l'amélioration de la nutrition, notamment par l'offre d'un accès à volonté au lait (ex. Danso et coll., 2018) ou par l'ajustement de la composition du substitut de lait (ex. McCoard et coll., 2021) et par l'offre d'un accès précoce à la nourriture solide pour favoriser le développement de leur rumen (Herath et coll., 2021). Les agneaux ne manifestent pas de réponses sociales à la nouvelle nourriture, et s'ils n'ont pas l'occasion d'observer d'autres animaux manger, la transition à la nourriture solide est ralentie (Freitas-de-Melo et coll., 2022). Comme les agneaux élevés par leur mère, les agneaux élevés artificiellement qui présentent une faible vigueur, un comportement de tétée déficient et un faible poids corporel affichent également une croissance plus lente jusqu'au sevrage que les agneaux plus vigoureux (Mialon et coll., 2023). D'autres études indiquent également que les agneaux peuvent développer un attachement envers les humains qui prennent soin d'eux (Boivin et coll., 2000), et que les caresses ou les manipulations douces peuvent améliorer le bien-être des agneaux, offrant un réconfort émotionnel normalement procuré par la mère (Coulon et coll., 2015). Néanmoins, certaines données laissent entrevoir qu'un faible taux de croissance jusqu'au sevrage chez les agneaux élevés artificiellement est associé à une forte affinité envers les humains (Mialon et coll., 2023), ce qui pourrait s'expliquer par le fait que ces animaux nécessitent davantage d'interventions humaines à un stade précoce de leur développement et qu'ils ont établi une association positive entre la nourriture et les humains (Tallet et coll., 2005). Les agneaux qui sont à la fois élevés artificiellement et maintenus en isolement présentent les perturbations comportementales et physiologiques les plus marquées (Napolitano et coll., 2008). En conséquence, l'élevage en groupes de pairs est préconisé, car il

permet aux agneaux de recevoir un soutien émotionnel partiel par l'intermédiaire des liens d'attachement établis avec leurs compagnons d'enclos.

4.8 Sevrage des agneaux

Dans une situation non gérée, le sevrage de l'agneau ne se produit pas avant que celui-ci ait 6 à 12 mois (Geist, 1971), lors de la reprise du cycle œstral de la brebis et des comportements de cour et d'accouplement. Dans ce contexte, c'est la brebis qui décide du sevrage, limitant progressivement l'accès de l'agneau à la mamelle, et le moment du sevrage semble dépendre au moins en partie de la diminution de la production laitière. Les brebis en œstrus paraissent également plus attirées par les béliers que par les soins à leurs agneaux (Freitas-de-Melo et coll., 2022), ce qui pointe vers une diminution de l'attention portée à la progéniture à ce moment du cycle reproductif. Toutefois, comme dans d'autres espèces d'élevage, le sevrage est, en conditions commerciales, réalisé à un âge nettement plus précoce. Contrairement à la situation naturelle, cela implique fréquemment une substitution brutale et totale de la tétée par l'ingestion d'aliments solides ou, en cas de sevrage précoce, par un lait de remplacement. Le sevrage est parfois précoce, voire très précoce comme dans l'industrie laitière (souvent à 24 heures, bien qu'une période de tétée de 6 à 8 semaines avant la séparation de l'agneau est admise dans certains systèmes), traditionnel (entre 2 et 3 mois d'âge dans les systèmes plus intensifs), ou tardif (au-delà de 3 mois dans certains systèmes de conduite extensive).

Outre son rôle nutritionnel, la brebis constitue, avant le sevrage, le principal partenaire social de l'agneau, en lui fournissant du réconfort et des occasions d'apprentissage social (Mepham et Kuhn, 1994; Dwyer et Lawrence, 2000a). Ainsi, même si l'agneau peut couvrir ses besoins nutritionnels par d'autres sources, le sevrage demeure un facteur de stress majeur et affecte de manière notable son bien-être (Freitas-de-Melo et coll., 2013; 2015; 2022). Habituellement, la séparation de la dyade brebis-agneau est brutale et souvent associée à d'autres facteurs de stress, notamment le transport, le changement d'environnement, la mise en parc, le mélange avec des animaux non familiers et l'exposition à de nouveaux aliments, ce qui peut exacerber le stress lié à la séparation maternelle. Le sevrage brutal est associé à une élévation des concentrations plasmatiques de cortisol durant les 24 premières heures suivant la séparation (Mears et Brown, 1997) et des réactions comportementales d'agitation et de vocalisations aiguës au cours des deux premiers jours (Orgeur et coll., 1998; Freitas-de-Melo et Ungerfeld, 2016). Chez les agneaux plus âgés, le sevrage ne semble pas avoir d'impact sur la fonction immunitaire ni sur la résistance aux parasites (Rhind et coll., 1998; Shaw et coll., 1995); cependant, le sevrage précoce a un effet délétère sur la réactivité immunitaire (Napolitano et coll., 2008). Un sevrage brusque peut aussi augmenter la susceptibilité des agneaux à la maladie et diminuer les gains de poids, du moins initialement (Freitas-de-Melo et Ungerfeld, 2016). Les brebis présentent aussi une phase de perturbation comportementale après la séparation de leurs agneaux, quoiqu'elle est moins documentée (Freitas-de-Melo et coll., 2013), et affichent aussi des indicateurs physiologiques d'une réponse au stress (Cockram et coll., 1993; Pérez-Léon et coll., 2006).

Puisque le sevrage brutal est associé à une réponse de stress chez les brebis et les agneaux, des méthodes alternatives ont été proposées (Freitas-de-Melo et coll., 2022), telles que le sevrage par clôture (où brebis et agneaux sont d'abord séparés par une clôture permettant encore un contact physique limité), le sevrage en deux étapes (où l'on empêche d'abord l'agneau de téter pendant une période donnée avant la séparation, par exemple à l'aide de protège-mamelles ou de

dispositifs nasaux), ou encore le sevrage progressif (où brebis et agneaux sont séparés par périodes sur plusieurs jours ou semaines avant une séparation complète). Le sevrage progressif, ou séparation temporaire, reproduit également certaines pratiques de gestion utilisées chez les animaux laitiers, où les agneaux n'ont qu'un accès limité à la mamelle afin de permettre la traite des brebis. Le sevrage progressif ou étalé implique toutefois une charge de travail substantielle pour les éleveurs et éleveuses, et les réponses des agneaux dépendent de l'âge auquel ce processus est initié. Chez les très jeunes agneaux, des réactions comportementales, physiologiques et immunologiques sont observées lors de la séparation (Sevi et coll., 2003; Napolitano et coll., 2008), mais les concentrations de cortisol et le poids vif sont moins touchés chez les agneaux sevrés progressivement entre 39 et 45 jours que chez ceux sevrés brutalement à 45 jours (Henrique et coll., 2017; Freitas-de-Melo et coll., 2023). Toutefois, les agneaux sevrés progressivement présentent une réaction comportementale plus intense à l'isolement social un mois après le sevrage final que les agneaux sevrés brutalement (Freitas-de-Melo et coll., 2023), malgré des concentrations de cortisol plus faibles, ce qui pointe vers une induction, par le sevrage progressif, d'un stress chronique chez les agneaux.

Le sevrage en deux étapes et le sevrage par clôture présentent l'avantage de permettre à la brebis et à l'agneau de maintenir un contact visuel, olfactif et auditif, tout en séparant la composante psychologique du sevrage de sa composante nutritionnelle. Les agneaux séparés par clôture font davantage de vocalisations aiguës et s'alimentent moins, mais leurs concentrations de cortisol et de comptages d'œufs fécaux sont plus faibles que les agneaux sevrés brutalement (Orgeur et coll., 1998). Il a été signalé que les agneaux ayant eu une relation spatiale plus étroite avec leur mère avant le sevrage s'approchent plus souvent de la clôture (Galeana et coll., 2007), et ces réponses comportementales ont été interprétées comme des signes de frustration chez ces animaux (Freitas-de-Melo et coll., 2022). L'utilisation de protège-mamelles est associée à une réduction des signes comportementaux de détresse lors de la séparation complète, comparativement au sevrage brutal (Schichowski et coll., 2008; Norouzzian, 2015). Quant aux dispositifs nasaux pour agneaux, ils sont peu employés, bien qu'ils soient disponibles sur le marché (Freitas-de-Melo et coll., 2022), et aucune donnée publiée n'évalue l'impact chez cette espèce. Chez les veaux, en revanche, certaines études indiquent que les dispositifs nasaux réduisent la détresse par rapport au sevrage par clôture, mais qu'ils n'apportent que peu d'avantages en termes de croissance par rapport au sevrage abrupt et qu'ils sont associés à des comportements compatibles avec un état de frustration (Enríquez et coll., 2010).

Les méthodes alternatives visant à réduire le stress du sevrage semblent n'avoir qu'un succès partiel dans l'atténuation du stress lié à la séparation, bien que l'utilisation de protège-mamelles puisse constituer l'approche la plus efficace. Toutefois, le maintien des agneaux sevrés dans un environnement familial et le fait que la séparation maternelle ne soit pas combinée avec d'autres facteurs de stress peuvent faciliter la transition vers la vie post-sevrage. Fait intéressant, l'apport d'un enrichissement social au moment du sevrage, sous la forme d'interactions positives et douces avec l'humain (caresses et contacts calmes), a réduit les réponses au stress lors d'interactions ultérieures avec l'humain et amélioré les taux de croissance post-sevrage par rapport à des agneaux témoins n'ayant pas reçu de contact humain supplémentaire (Pascual-Alonso et coll., 2015). L'enrichissement de l'environnement, tel que des rampes d'alimentation et de la paille, a aussi permis d'obtenir des taux de croissance plus élevés, des carcasses plus lourdes et une amélioration des réponses immunitaires chez les agneaux en parc d'engraissement

comparativement aux témoins (Aguayo-Ulloa et coll., 2014). Ces données donnent à penser que le stress associé au sevrage peut être réduit, même s'il ne peut pas être totalement éliminé.

4.9 Recherches futures

- **Malgré l'existence d'un corpus substantiel de données sur les causes de la mortalité des agneaux et les facteurs associés, la mise en œuvre des mesures de prévention en exploitation demeure très hétérogène, tout comme les taux de survie des agneaux. Il serait particulièrement pertinent que les recherches à venir cherchent à cerner les obstacles et les leviers à l'adoption des connaissances scientifiques en milieu agricole.**
- **Une bonne partie des recherches actuelles sur le comportement maternel des brebis et la survie des agneaux ont été menées dans des pays caractérisés par des hivers relativement cléments, où l'agnelage en plein air est couramment pratiqué. En revanche, dans les régions soumises à des conditions hivernales plus rudes, l'agnelage en intérieur peut s'avérer indispensable à la survie des nouveau-nés. Il serait particulièrement pertinent que les recherches à venir visent à optimiser les conditions d'élevage et l'environnement périnatal afin de favoriser les mécanismes physiologiques impliqués dans l'expression du comportement maternel.**
- **L'âge au sevrage des agneaux varie considérablement selon les systèmes de production, allant de la période néonatale dans les élevages laitiers à plus de trois mois dans d'autres contextes d'élevage. Le développement de stratégies efficaces visant à atténuer le stress du sevrage, notamment chez les jeunes agneaux, constitue un enjeu important pour le bien-être animal.**
- **La mise en adoption d'agneaux orphelins ou rejetés vers des brebis appropriées peut réduire la nécessité de recourir à l'élevage artificiel des agneaux. Néanmoins, les méthodes d'adoption sont variées et les agneaux adoptés affichent généralement des rendements de croissance et des taux de survie inférieurs à ceux des agneaux élevés par leur mère biologique. Le développement et l'évaluation de pratiques d'adoption plus efficaces permettraient d'améliorer davantage le bien-être et la survie des agneaux.**

4.10 Références

Abecia J.-A., Sosa C., Forcada F. et Meike A. (2006) The effect of undernutrition on the establishment of pregnancy in the ewe. *Reproduction, Nutrition, Development*, vol. 46, p. 367-378.

Aguayo-Ulloa L.A., Villaroel M., Pascual-Alonso M., Miranda-de la lama G.C. et Maria G.A. (2014) Finishing feedlot lambs in enriched pens using feeder ramps and straw and its influence on behavior and physiological welfare indicators. *Journal of Veterinary Behavior*, vol. 9, p. 347-356.

Alexander G. et Shillito E.E. (1977) The importance of odour appearance and voice in maternal recognition of the young in Merino sheep (*Ovis aries*). *Applied Animal Ethology*, vol. 3, p. 127-135.

Alexander G., Bell A.W. et Hales J.R.S. (1973) Effects of cold exposure on tissue blood flow in the new-born lamb. *Journal of Physiology*, vol. 234, p. 65-77.

Alexander G., Stevens D. et Bradley L.R. (1985) Fostering in sheep. I. Facilitation by use of textile lamb coats. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 14, p. 315-334.

Alexander G., Stevens D. et Bradley L.R. (1987) Fostering in sheep. V. Use of unguents to foster an additional lamb onto a ewe with a single lamb. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 17, p. 95-108.

Allain D., Foulquié D., Autran P., Francois D. et Bouix J. (2014) Importance of birth coat for lamb survival and growth in Romane sheep breed extensively managed on rangelands. *Journal of Animal Science*, vol. 92, p. 54-63.

Basiouni G.F. et Gonyou H.W. (1988) Use of birth fluids and cervical stimulation in lamb fostering. *Journal of Animal Science*, vol. 66, p. 872-879.

Belanche A., Cooke J., Jones E., Worgan H.J. et Newbold C.J. (2019) Short- and long-term effects of conventional and artificial rearing strategies on the health and performance of growing lambs. *Animal*, vol. 13, p. 740-749.

Binns S.H., Cox I.J., Rizvi S. et Green L.E. (2002) Risk factors for lamb mortality on UK sheep farms. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 52, p. 287-303.

Bizelis J.A., Charismiadou M.A. et Rodkai E. (2000) Metabolic changes during the perinatal period in dairy sheep in relation to nutrition and breed. II. Early lactation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, vol. 84, p. 73-84.

Boivin X., Tournadre H. et Le Neindre P. (2000) Hand-feeding and gentling influence early-weaned lambs' attachment responses to their stockperson. *Journal of Animal Science*, vol. 78, p. 879-884.

Brien F.D., Hebart M.L., Smith D.H., Hocking Edwards J.E., Greef J.C., Hart K.W., Refshauge G., Bird-Gardiner T.L., Gaunt G., Behrendt R., Robertson M.W., Hinch G.N., Geenty K.G. et van der Werf J.H.J. (2010) Opportunities for genetic improvement of lamb survival. *Animal Production*, vol. 50, p. 1017-1025.

Broad K.D., Kendrick K.M., Sirinathsingji D.J.S. et Keverne E.B. (1993) Changes in oxytocin immunoreactivity and mRNA expression in the sheep brain during pregnancy, parturition and lactation, and in response to oestrogen and progesterone. *Journal of Neuroendocrinology*, vol. 5, p. 435-444.

Broad K.D., Lévy F., Evans G., Kimura T., Keverne E.B. et Kendrick K.M. (1999) Previous maternal experience potentiates the effect of parturition on oxytocin receptor mRNA expression in the paraventricular nucleus. *European Journal of Neuroscience*, vol. 11, p. 3725-3737.

Bruce M., Young J.M., Masters D.G., Refshauge G., Thompson A.N., Kenyon P.R., Behrendt R., Lockwood A., Miller D.W. et Jacobson C. (2021) The impact of lamb and ewe mortality

associated with dystocia on Australian and New Zealand sheep farms. A systematic review, meta-analysis and bio-economic model. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 196. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105478>.

Brunton P.J. et Russel J.A. (2010) Prenatal social stress in the rat programmes neuroendocrine and behavioural responses to stress in the adult offspring: Sex-specific effects. *Journal of Neuroendocrinology*, vol. 22, p. 258-271.

Bunter K.L., Brown D.J., Gurman P.M., Li L. et Swan A.A. (2023) The genetic and phenotypic associations between lamb survival outcomes and other traits recorded at lambing. *Animal Production Science*, vol. 63, p. 1148-1159.

Champagne F.A. et Meaney M.J. (2006) Stress during gestation alters postpartum maternal care and the development of the offspring in a rodent model. *Biological Psychiatry*, vol. 59, p. 1227-1235.

Charismiadou M.A., Bizelis J.A. et Rogdakis E. (2000) Metabolic changes during the perinatal period in dairy sheep in relation to level of nutrition and breed. I. Late pregnancy. *Animal Physiology and Animal Nutrition*, vol. 84, p. 61-72.

Chniter M., Dhaoui A., Hammadi M., Khorchani T., Ben Hamouda M., Poindron P., Cornilleau F., Lévy F. et Nowak R. (2017) Mother-young bonding in prolific D'man and Romanov sheep. *Journal of Ethology*, vol. 35, p. 297-305.

Clarke L. et Symonds M.E. (1998) Thermoregulation in newborn lambs: Influence of feeding and ambient temperature on brown adipose tissue. *Experimental Physiology*, vol. 83, p. 651-657.

Cloete S.W.P. et Scholtz A.J. (1998) Lamb survival in relation to lambing and neonatal behaviour in medium wool Merino lines divergently selected for multiple rearing ability. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 38, p. 801-811.

Cloete S.W.P., Scholtz A.J., Gilmour A.R. et Olivier J.J. (2002) Genetic and environmental effects on lambing and neonatal behaviour of Dormer and SA Mutton Merino lambs. *Livestock Production Science*, vol. 78, p. 183-193.

Cloete S.W.P., Greeff J.C., Nel C.L. et Scholtz A.J. (2023) Breeds and lines of sheep suitable for production in challenging environments. *Animal Frontiers*, vol. 13, p. 33-42.

Clune T., Lockwood A., Hancock S., Thompson A.N., Beetson S., Campbell A.J.D., Glanville E., Brookes D., Trengove C., O'Handley R., Kearney G. et Jacobson C. (2021) Abortion and lamb mortality between pregnancy scanning and lamb marking for maiden ewes in Southern Australia. *Animals*, vol. 12, p. 10. <https://doi.org/10.3390/ani12010010>.

Cockram M.S., Imlah P., Goddard P.J., Harkiss G.D. et Waran N.J. (1993) The behavioural, endocrine and leucocyte response of ewes to repeated removal of lambs before the age of natural weaning. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 38, p. 127-142.

Cockram M.S., Menzies P., Barrett D. et Hemsted J. (2012) *Code de pratiques applicable aux soins et à la manipulation des moutons : Revue des études scientifiques relatives aux questions prioritaires*. Conseil national pour les soins aux animaux d'élevage (CNSAE). Disponible à

l'adresse : https://www.nfacc.ca/resources/codes-of-practice/sheep/moutons_rapport_cs_oct_2012.pdf.

Corner R.A., Kenyon P.R., Stafford J.K., West D.M. et Oliver M.H. (2006) The effect of mid-pregnancy shearing or yarding stress on ewe post-natal behaviour and the birth weight and post-natal behaviour of their lambs. *Livestock Science*, vol. 102, p. 121-129.

Coulon M., Lévy F., Ravel C., Nowak R. et Boissy A. (2014) Mild effects of gestational stress and social reactivity on the onset of mother-young interactions and bonding in sheep. *Stress*, vol. 17, p. 460-470.

Coulon M., Nowak R., Andanson S., Petit B., Lévy F. et Boissy A. (2015) Effects of prenatal stress and emotional reactivity of the mother on emotional and cognitive abilities in lambs. *Developmental Psychobiology*, vol. 57, p. 626-636.

Da Costa A.P.C., Guevara-Guzman R.G., Ohkura S., Goode J.A. et Kendrick K.M. (1996) The role of oxytocin release in the paraventricular nucleus in the control of maternal behaviour in sheep. *Journal of Neuroendocrinology*, vol. 8, p. 163-177.

Danso A.S., Morel P.C.H., Kenyon P.R. et Blair H.T. (2018) Effects of dietary protein and energy intake on growth, body composition and nutrient utilisation in lambs reared artificially with milk replacers and pellet feeds. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 237, p. 35-45.

Darnaudéry M. et Maccari S. (2008) Epigenetic programming of the stress response in male and female rats by prenatal restraint stress. *Brain Research Reviews*, vol. 57, p. 571-585.

Doughty A.K., Horton B.J., Huyen N.T.D., Ballagh C.R., Corkery R. et Hinch G.N. (2018) The influence of lameness and individuality on movement patterns in sheep. *Behavioural Processes*, vol. 151, p. 34-38.

Dutra F., Quintans G. et Banchero G. (2007) Lesions in the central nervous system associated with perinatal lamb mortality. *Australian Veterinary Journal*, vol. 85, p. 405-413.

Dwyer C.M. (2003) Behavioural development in the neonatal lamb: Effect of maternal and birth-related factors. *Theriogenology*, vol. 59, p. 1027-1050.

Dwyer C.M. (2008a) Symposium: Genetic and physiological effects on maternal behavior and lamb survival. *Journal of Animal Science*, vol. 86, p. E246-258.

Dwyer C.M. (2008b) Individual variation in the expression of maternal behaviour: A review of the neuroendocrine mechanisms in the sheep (*Ovis aries*). *Journal of Neuroendocrinology*, vol. 20, p. 526-535.

Dwyer C.M. (2014) Maternal behaviour and lamb survival: From neuroendocrinology to practical application. *Animal*, vol. 8, p. 102-112.

Dwyer C.M. et Lawrence A.B. (1998) Variability in the expression of maternal behaviour in primiparous sheep: Effects of genotype and litter size. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 58, p. 311-330.

Dwyer C.M. et Lawrence A.B. (2000a) Effects of maternal genotype and behaviour on the behavioural development of their offspring in sheep. *Behaviour*, vol. 137, p. 1629-1654.

- Dwyer C.M. et Lawrence A.B. (2000b) Maternal behaviour in domestic sheep (*Ovis aries*): constancy and change with maternal experience. *Behaviour*, vol. 137, p. 1391-1413.
- Dwyer C.M. et Lawrence A.B. (2005) A review of the behavioural and physiological adaptations of extensively managed breeds of sheep that favour lamb survival. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 92, p. 235-260.
- Dwyer C.M. et Morgan C.A. (2006) Maintenance of body temperature in the neonatal lamb: Effects of breed, birth weight and litter size. *Journal of Animal Science*, vol. 84, p. 1093-1101.
- Dwyer C.M. et Smith L.A. (2008) Parity effects on maternal behaviour are not related to circulating oestradiol concentrations in two breeds of sheep. *Physiology & Behavior*, vol. 93, p. 148-154.
- Dwyer C.M., McLean K.A., Deans L.A., Chirnside J., Calvert S.K. et Lawrence A.B. (1998) Vocalisations between mother and young in the sheep: Effects of breed and maternal experience. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 58, p. 105-119.
- Dwyer C.M., Dingwall W.A. et Lawrence A.B. (1999) Physiological correlates of maternal-offspring behaviour in sheep: A factor analysis. *Physiology & Behavior*, vol. 67, p. 443-454.
- Dwyer C.M., Lawrence A.B., Bishop S.C. et Lewis M. (2003) Ewe-lamb bonding behaviours at birth are affected by maternal undernutrition in pregnancy. *British Journal of Nutrition*, vol. 89, p. 123-136.
- Dwyer C.M., Calvert S.K., Farish M., Donbavand J. et Pickup H.E. (2005) Breed, litter and parity differences in the morphology of the ovine placenta and developmental consequences for the lamb. *Theriogenology*, vol. 63, p. 1092-1110.
- Dwyer C.M., Conington J., Corbière F., Holmøy I.H., Muri K., Rooke J., Vipond J. et Gauthier J.-M. (2016) Invited Review: Improving neonatal survival in small ruminants: Science into practice. *Animal*, vol. 10, n° 3, p. 449-459.
- Enríquez D.H., Ungerfeld R., Quintans G., Guidoni A.L. et Hötzel M.J. (2010) The effects of alternative weaning methods on behaviour of beef calves. *Livestock Science*, vol. 128, p. 20-27.
- Erhard H.W., Boissy A., Rae M.T. et Rhind S.M. (2004) Effects of prenatal undernutrition on emotional reactivity and cognitive flexibility in adult sheep. *Behavioural Brain Research*, vol. 151, p. 25-35.
- Erichsen C., Coombs T., Sargison N., McCoard S., Rowland M. et Dwyer C.M. (2024) Improving triplet lamb survival: A survey of management practices used by commercial farmers. *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 11, p. 1394484.
- Everett-Hincks J.M. et Cullen N.G. (2009) Genetic parameters for ewe rearing performance. *Journal of Animal Science*, vol. 87, p. 2753-2758.
- Everett-Hincks J.M., Lopez-Villalobos N., Blair H.T. et Stafford K.J. (2005) The effect of ewe maternal behaviour score on lamb and litter survival. *Livestock Production Science*, vol. 93, p. 51-61.

- Everett-Hincks J.M., Mathias-Davis H.C., Greer G.J., Auvray B.A. et Dodds K.G. (2014) Genetic parameters for lamb birth weight, survival and death risks. *Journal of Animal Science*, vol. 92, p. 2885-2895.
- Fisher M.W. et Mellor D.J. (2002) The welfare implications of shepherding during lambing in extensive New Zealand farming systems. *Animal Welfare*, vol. 11, p. 157-170.
- Flint A.P.F., Forsling M.L. et Mitchell M.D. (1978) Blockade of the Ferguson reflex by lumbar epidural anaesthesia in the parturient sheep: Effects on oxytocin secretion and uterine venous prostaglandin F levels. *Hormones and Metabolism Research*, vol. 10, p. 545-547.
- Forrest R.H., Hickford J.G.H., Wynyard J., Merrick N., Hogan A. et Frampton C.M. (2006) Polymorphism at the β_3 -adrenergic receptor locus (ADRB3) of Merino sheep and its association with lamb mortality. *Animal Genetics*, vol. 37, p. 465-468.
- Forrest R.H., Hickford J.G.H. et Frampton C.M. (2007) Polymorphism at the ovine β_3 -adrenergic receptor locus (ADRB3) and its association with lamb mortality. *Journal of Animal Science*, vol. 85, p. 2801-2806.
- Fragkou I.A., Mavrogianni V.S. et Fthenakis G.C. (2010) Diagnostic investigation of cases of deaths in newborn lambs. *Small Ruminant Research*, vol. 92, p. 41-44.
- Freitas-de-Melo A., Banchero G., Hötzel M.J., Damián J.P. et Ungerfeld R. (2013) Progesterone administration reduces the behavioural and physiological responses of ewes to abrupt weaning of lambs. *Animal*, vol. 7, p. 1367-1373.
- Freitas-de-Melo A., Ungerfeld R., Hötzel M.J., Abud M.J., Alvarez-Oxiley A., Orihuela A., Damián J.P. et Pérez-Clariget R. (2015) Mother-young behaviours at lambing in grazing ewes: Effects of lamb sex and food restriction in pregnancy. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 168, p. 31-36.
- Freitas-de-Melo A., Pérez-Clariget R., Terrazas A. et Ungerfeld, R. (2021) Ewe–lamb bond of experienced and inexperienced mothers undernourished during gestation. *Scientific Reports*, vol. 11, p. 4634.
- Freitas-de-Melo A., Orihuela A., Hötzel M.J. et Ungerfeld R. (2022) What do we know and what do we need to know about weaning in sheep? An overview of weaning practices, stress and welfare. *Frontiers in Animal Science*, vol. 3. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.823188>.
- Freitas-de-Melo A., Sánchez-Dávila F. et Ungerfeld R. (2023) Progressive weaning alters behaviour and biomarkers of stress in weaned lambs subjected to social isolation. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 265, p. 106001.
- Galeana L., Orihuela A., Aguirre V. et Vázquez R. (2007) Mother-young spatial association and its relation with proximity to a fence separating ewes and lambs during enforce weaning in hair sheep (*Ovis aries*). *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 108, p. 81. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.10.016>.
- Gardner D.S., Van Bon B.W.M., Dandrea J., Goddard P.J., May S.F., Wilson V., Stephenson T. et Symonds M.E. (2006) Effects of periconceptional undernutrition and gender on hypothalamic-

pituitary-adrenal axis function in young adult sheep. *Journal of Endocrinology*, vol. 190, p. 203-212.

Gascoigne E. et Davies P. (2019) An approach to neonatal lamb post-mortem examinations. *Livestock*, vol. 24. <https://doi.org/10.12968/live.2019.24.4.193>.

Gascoigne E., Bazeley K. et Lovatt F. (2017) Can farmers reliably perform neonatal lamb postmortems and what are the perceived obstacles to influencing lamb mortality? *Small Ruminant Research*, vol. 151, p. 36-44.

Geist V. (1971) *Mountain Sheep: A Study of Behavior and Evolution*. Chicago: University of Chicago Press.

Gladden N., Ellis K., Martin J., Viora L. et McKeegan D. (2019) A single dose of ketoprofen in the immediate postpartum period has the potential to improve dairy calf welfare in the first 48h of life. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 212, p. 19-29.

Gonyou H.W. et Stookey J.M. (1985) Behaviour of parturient ewes in group lambing pens with and without cubicles. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 14, p. 163-171.

Gougoulis D.A., Kyriazakis I. et Fthenakis G.C. (2010) Diagnostic significance of behaviour changes in sheep: A review. *Small Ruminant Research*, vol. 92, p. 52-56.

Gregory N.G., Haslett S.J. et Pedley J.C. (1999) Studies on lamb hypothermia using a model lamb. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, vol. 42, p. 179-185.

Haughey K.G. (1993) Perinatal lamb mortality—Its investigation, causes and control. *Irish Veterinary Journal*, vol. 46, p. 9-28.

Hay K., Lambe N., Roden J., Jarvis S. et Dwyer C.M. (2024) Genetic analysis of a maternal assistance score in sheep. *Animal*, vol. 18, p. 101265.

Hay K., Lambe N., Roden J., Jarvis S. et Dwyer C.M. (2025a) A genetic analysis of lamb survival. *Animal – Open Space* (soumis pour publication).

Hay K., Lambe N., Roden J., Jarvis S. et Dwyer C.M. (2025b) A genetic analysis of the causes of lamb mortality determined by a simple postmortem procedure. *Preventive Veterinary Medicine* (soumis pour publication).

Hay K., Lambe N., Rode J., Jarvis S. et Dwyer C.M. (2026) Genotype × environment analysis of lamb survival in indoor and outdoor lambing flocks. *Proceedings of World Congress of Genetics Applied to Livestock Production*.

Henrique F.L., Titto E.A.L., Zanella A.J., Hooper H.B., Pulido-Rodriguez L.F., Longo A.L.S., Leme-dos-Santos T.M.C., Pereira A.M.F. et Titto C.G. (2017) Simulated disease process during late pregnancy compromises developmental outcomes of lambs independently of the weaning method applied. *Small Ruminant Research*, vol. 155, p. 39-44.

Herath H.M.G.P., Pain S.J., Kenyon P.R., Blair H.T. et Morel P.H. (2021) Growth and body composition of artificially reared lambs exposed to three different rearing regimens. *Animals*, vol. 11, p. 3370. <https://doi.org/10.3390/ani11123370>.

Hernandez C.E., Matthews L.R., Oliver M.H., Bloomfield F.H. et Harding J.E. (2009) Effects of sex, litter size, and periconceptional ewe nutrition on the ewe-lamb bond. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 120, p. 76-83.

Hernandez C.E., Matthews L.R., Oliver M.H., Bloomfield F.H. et Harding J.E. (2010) Effects of sex, litter size, and periconceptional ewe nutrition on offspring behavioural and physiological response to isolation. *Physiology & Behavior*, vol. 101, p. 588-594.

Hild S., Clark C.C.A., Dwyer C.M., Murrell J.C., Mendl M. et Zanella A.J. (2011) Ewes are more attentive to their offspring experiencing pain but not stress. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 132, p. 114-120.

Hinch G.N., Crosbie S.F., Kelly R.W., Owens J.L. et Davis G.H. (1985) Influence of birth weight and litter size on lamb survival in high fecundity Booroola-Merino crossbred flocks. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, vol. 28, p. 31-38.

Hølmoy I.H., Waage S., Grandquist E.G., L'Abée-Lund T.M., Ersdal C., Hektoen L. et Sørby R. (2017) Early neonatal lamb mortality: Postmortem findings. *Animal*, vol. 11, p. 295-305.

Horton B.J., Corkrey R., Doughty A.K. et Hinch G.N. (2018) Estimation of lamb deaths within 5 days of birth associated with cold weather. *Animal Production Science*, vol. 59, p. 1720-1726. <https://doi.org/10.1071/AN18494>.

Huffman E.M., Kirk J.H. et Pappaioanou M. (1985) Factors associated with neonatal lamb mortality. *Theriogenology*, vol. 24, p. 163-171.

Keady T.W.J., Hanrahan J.P. et Flanagan S. (2009) An evaluation of two grassland-based systems of mid-season prime lamb production using prolific ewes of two genotypes. *Irish Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 48, p. 87-101.

Keller M., Meurisse M., Poindron P., Nowak R., Ferriera G., Shayit M. et Lévy F. (2003) Maternal experience influences the establishment of visual/auditory, but not olfactory recognition of the newborn lamb by ewes at parturition. *Developmental Psychobiology*, vol. 43, p. 167-176.

Kendrick K.M. et Keverne E.B. (1991) Importance of progesterone and oestrogen priming for the induction of maternal behaviour by vaginocervical stimulation in sheep: Effects of maternal experience. *Physiology & Behavior*, vol. 49, p. 745-750.

Kendrick K.M., Keverne E.B. et Baldwin B.A. (1987) Intracerebroventricular oxytocin stimulates maternal behaviour in sheep. *Neuroendocrinology*, vol. 46, p. 56-61.

Kendrick K.M., Lévy F. et Keverne E.B. (1991) Importance of vaginocervical stimulation for the formation of maternal bonding in primiparous and multiparous parturient ewes. *Physiology & Behavior*, vol. 50, p. 595-600.

Keverne E.B., Lévy F., Poindron P. et Lindsay D.R. (1983) Vaginal stimulation: An important determinant of maternal bonding in sheep. *Science*, vol. 219, p. 81-83.

Keverne E.B., Lévy F., Guevara-Guzman R. et Kendrick K.M. (1993) Influence of birth and maternal experience on olfactory bulb neurotransmitter release. *Neuroscience*, vol. 56, p. 557-565.

- Kovács L., Kézér F.L., Ruff F., Samardzija M. et Szenci O. (2022) Single-dose meloxicam treatment improves standing ability of low vitality dairy calves. *Journal of Dairy Science*, vol. 105, p. 1618-1624.
- Krehbiel D., Poindron P., Lévy F. et Prud'Homme M.J. (1987) Peridural anaesthesia disturbs maternal behaviour in primiparous and multiparous parturient ewes. *Physiology & Behavior*, vol. 40, p. 463-472.
- Labeur L., Villiers G., Small A.H., Hinch G.N. et Schmoelzl S. (2017) Infrared thermal imaging as a method to evaluate heat loss in newborn lambs. *Research in Veterinary Science*, vol. 115, p. 517-522.
- Lambe N.R., Conington J., Bishop S.C., Waterhouse A. et Simm G. (2001) A genetic analysis of maternal behaviour score in Scottish Blackface sheep. *Animal Science*, vol. 72, p. 415-425.
- Lanza M., Bella M., Priolo A., Barbagallo D., Galofaro V., Land, C. et Pennisi P. (2006) Lamb meat quality as affected by a natural or artificial milk feeding regime. *Meat Science*, vol. 73, p. 313-318.
- Lashley V.D., Roe W.D., Kenyon P.R. et Thompson K.G. (2014) Perinatal lamb mortality: An assessment of gross, histological and immunohistochemical changes in the central nervous system. *New Zealand Veterinary Journal*, vol. 62, p. 160-166.
- Lévy F., Poindron P. et Le Neindre P. (1983) Attraction and repulsion by amniotic fluids and their olfactory control in ewes around parturition. *Physiology & Behavior*, vol. 31, p. 687-692.
- Lévy F., Kendrick K.M., Keverne E.B., Piketty V. et Poindron P. (1992) Intracerebral oxytocin is important for the onset of maternal behaviour in inexperienced ewes delivered under peridural anaesthesia. *Behavioral Neuroscience*, vol. 106, p. 427-432. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.106.2.427>.
- Lévy F., Guevara-Guzman R., Hinton M.R., Kendrick K.M. et Keverne E.B. (1993) Effects of parturition and maternal experience on Noradrenaline and Acetylcholine release in the olfactory bulb of sheep. *Behavioural Neuroscience*, vol. 107, p. 662-668.
- Love S.A., Haslin E., Bellardie M., Andersson F., Barantin L., Filipak I., Adriaensen H., Fazekas C., Leroy L., Zelena D., Morisse M., Elleboudt F., Moussu C., Lévy F., Nowak R. et Chaillou E. (2022) Maternal deprivation and milk replacement affect the integrity of gray and white matter in the developing lamb brain. *Developmental Neurobiology*, vol. 82, p. 214-232.
- Lv S.J., Yang Y., Dwyer C.M. et Li F-K (2015) Pen size and parity effects on maternal behaviour of Small Tail Han sheep in China. *Animal*, vol. 9, p. 1195-1202.
- MacFarlane J.M., Matheson S.M. et Dwyer C.M. (2010) Genetic parameters for birth difficulty, lamb vigour and lamb sucking ability in Suffolk sheep. *Animal Welfare*, vol. 19, p. 99-105.
- Matheson S.M., Bünger L. et Dwyer C.M. (2012) Genetic parameters for fitness and neonatal behavior traits in sheep. *Behavior Genetics*, vol. 42, p. 899-911.
- McCoard, S.A., Hea S.-Y., Karatiana D., Triggs J. et Macdonald T. (2021) Comparison of milk replacer composition and effects on growth and health of preruminant lambs and health-associated costs of artificial rearing. *Applied Animal Science*, vol. 37, p. 176-185.

- McGowan P.O. et Matthews S.G. (2018) Prenatal stress, glucocorticoids, and developmental programming of the stress response. *Endocrinology*, vol. 159, p. 69-82.
- McHugh N., Berry D.P. et Pabiou T. (2015) Risk factors associated with lambing traits. *Animal*, vol. 10, p. 89-95.
- Mears G.J. et Brown F.A. (1997) Cortisol and β -endorphin responses to physical and psychological stressors in lambs. *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 77, p. 689-694.
- Mellor D.J. et Murray L. (1985) Effects of maternal nutrition on udder development during late pregnancy and on colostrum production in Scottish Blackface ewes with twin lambs. *Research in Veterinary Science*, vol. 39, p. 230-234.
- Mellor D.J. et Stafford K.J. (2003) Assessing the welfare status of newborn farm animals. *Animal Welfare*, vol. 12, p. 695-698.
- Mellor D.J. et Stafford K.J. (2004) Animal welfare implications of neonatal mortality and morbidity in farm animals. *The Veterinary Journal*, vol. 168, p. 118-133.
- Mellor D.J., Flint D.J., Vernon R.G. et Forsyth I.A. (1987) Relationships between plasma hormone concentrations, udder development and the production of early mammary secretions in twin-bearing ewes on different planes of nutrition. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, vol. 72, p. 345-356.
- Mepham T.B. et Kuhn N.J. (1994) « Physiology and biochemistry of lactation » dans *Marshall's Physiology of Reproduction: Pregnancy and Lactation. Part One: Ovulation and Early Pregnancy*. Lamming G.E. (dir.). New York: Springer, p. 1102-1186.
- Meurisse M., Gonzalez A., Delsol G., Caba M., Lévy F. et Poindron P. (2005) Estradiol receptor- α expression in the hypothalamic and limbic regions of ewes is influenced by physiological state and maternal experience. *Hormones and Behavior*, vol. 48, p. 34-43.
- Mialon M.M., Boivin X., Durand D., Boissy A., Delval E., Bage A.S., Clanet C., Cornilleau F., Parias C., Foury A., Moisan M.P., Fassier T., Marcon D., Guilloteau L.A. et Nowak R. (2021) Short- and long-term effects on performance, health and qualitative behavioural assessment of Romane lambs in different milk feeding conditions. *Animal*, vol. 15, p. 100157.
- Mialon M.M., Nowak R., Falourd P., Marcon D., Lardy R. et Boivin X. (2023) Are early-life lambs' characteristics and behavioural reactivity related to later survival and growth performance during artificial feeding? *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 262, p. 105918.
- Mirza S.N. et Provenza F.D. (1990) Preference of the mother affects selection and avoidance of foods by lambs differing in ages. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 28, p. 255-263.
- Moussouttas M., Abubakr A., Grewal R.P. et Papamitsakis N. (2006) Eclamptic subarachnoid haemorrhage without hypertension. *Journal of Clinical Neuroscience*, vol. 13, p. 474-476.
- Napolitano F., Annicchiarico G., Caroprese M., De Rosa G., Taibi L. et Sevi A. (2003) Lambs prevented from suckling their mothers display behavioral, immune and endocrine disturbances. *Physiology & Behavior*, vol. 78, p. 81-89.

- Napolitano F., De Rosa G. et Sevi A. (2008) Welfare implications of artificial rearing and early weaning in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 110, p. 58-72.
- Nel C.L., Cloete S.W.P., Kruger A.C.M. et Dzama K. (2021) Long term genetic selection for reproductive success affects neonatal lamb vitality across cold stress conditions. *Journal of Thermal Biology*, vol. 98, p. 102908.
- Norouzzian M.A. (2015) Effect of weaning method on lamb behaviour and weight gain. *Small Ruminant Research*, vol. 133, p. 17-20.
- Nowak R. (1990) Mother and sibling discrimination at a distance by three- to seven-day old lambs. *Developmental Psychobiology*, vol. 23, p. 285-295.
- Nowak R.F. et Lindsay D.R. (1992) Discrimination of Merino ewes by their newborn lambs: Important for survival? *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 34, p. 61-74.
- Nowak R. et Poindron P. (2006) From birth to colostrum: Early steps leading to lamb survival. *Reproduction, Nutrition, Development*, vol. 46, p. 431-446.
- Nowak R., Murphy T.M., Lindsay D.R., Alster P., Andersson R. et Ulvnäs-Moberg K. (1997) Development of a preferential relationship with the mother by the newborn lamb: Importance of the sucking activity. *Physiology & Behavior*, vol. 62, p. 681-688.
- Nowak R., Keller M., Val-Laillet D. et Lévy F. (2007) Perinatal visceral events and brain mechanisms involved in the development of mother-young bonding in sheep. *Hormones and Behavior*, vol. 52, p. 92-98.
- Nowak R., Keller M. et Lévy F. (2011) Mother-young relationships in sheep: A model for a multidisciplinary approach of the study of attachment in mammals. *Journal of Neuroendocrinology*, vol. 23, p. 1042-1053.
- O'Connor C.E., Jay N.P., Nicol A.M. et Beatson P.R. (1985) Ewe maternal behaviour score and lamb survival. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, vol. 45, p. 159-162.
- Oliver M.H., Bloomfield F.H., Jaquiery A.L., Todd S.E., Thorstensen E.B. et Harding J.E. (2012) Periconceptual undernutrition suppresses cortisol response to arginine vasopressin and corticotrophin-releasing hormone challenge in adult sheep offspring. *Journal of Developmental Origins of Health and Disease*, vol. 3, p. 52-58.
- Orgeur P., Mavric N., Yvore P., Bernard S., Nowak R., Schaal B. et Lévy F. (1998) Artificial weaning in sheep: Consequences on behavioural, hormonal and immune-pathological indicators of welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 58, p. 87-103.
- Pascual-Alonso M., Miranda-de la Lama G., Aguayo-Ulloa L., Ezquerro L., Villarroel M., Marin R.H. et Maria G.A. (2015) Effect of postweaning handling strategies on welfare and production traits in lambs. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, vol. 18, p. 42-56.
- Patin V., Lordi B., Vincent A., Thoumas J.L., Vaudry H. et Caston J. (2002) Effects of prenatal stress on maternal behavior in the rat. *Developmental Brain Research*, vol. 139, p. 1-8.

Peckler G.L. et Adcock S.J.J. (2025) Evaluating somatic cell count, the California milk test, and infrared thermography for subclinical mastitis detection in meat ewes. *Research in Veterinary Science*, vol. 193, p. 105791.

Pearson J.M., Pajor E.A., Campbell J.R., Caulkett N.A., Levy M., Dorin C., et Windeyer M.C. (2019) Clinical impacts of administering a nonsteroidal anti-inflammatory drug to beef calves after an assisted calving on pain and inflammation, passive immunity, health and growth. *Journal of Animal Science*, vol. 97, p. 1996-2008.

Pérez-Léon I., Orihuela A., Lidfors L. et Aguirre V. (2006) Reducing mother-offspring separation distress by inducing ewes into oestrus at the day of weaning. *Animal Welfare*, vol. 15, p. 383-389.

Pickup H.E. et Dwyer C.M. (2011) Breed differences in the expression of maternal care at parturition persist throughout the lactation period in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 132, p. 33-41.

Plush K.J., Hebart M.L., Brien F.D. et Hynd P.I. (2015) Variation in physiological profiles may explain breed differences in neonatal lamb thermoregulation. *Animal Production Science*, vol. 56, p. 746-756.

Plush K.J., Hebart M.L., Brien F.D. et Hynd P.I. (2016) Thermogenesis and physiological maturity in neonatal lambs: A unifying concept in lamb survival. *Animal Production Science*, vol. 56, p. 736-745.

Poindron P., Lévy F. et Keller M. (2007) Maternal responsiveness and maternal selectivity in domestic sheep and goats: The two facets of maternal attachment. *Developmental Psychobiology*, vol. 49, p. 54-70.

Poindron P., Otal J., Ferreira G., Keller M., Guesdon V., Nowak R. et Lévy F. (2010) Amniotic fluid is important for the maintenance of maternal responsiveness and the establishment of maternal selectivity in sheep. *Animal*, vol. 4, p. 2057-2064.

Pollard J.C. (2006) Shelter for lambing sheep in New Zealand: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, vol. 49, p. 395-404.

Price E.O., Dunbar M. et Dally M.R. (1984) Behavior of ewes and lambs subjected to restraint fostering. *Journal of Animal Science*, vol. 58, p. 1084-1089.

Putu I.G., Poindron P. et Lindsay D.R. (1988) Early disturbance of merino ewes from the birth site increases lamb separations and mortality. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production*, vol. 17, p. 298-301.

Ratanapob N., Van Leeuwen J., McKenna S., Wichtel M., Stryhn H., Rodriguez-Lecompte J.C., Menzies P. et Wichtel J. (2020) Management factors associated with perinatal lamb mortality in Prince Edward Island flocks. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 180, p. 105035.

Reeves M.C. (2024) *Development and validation of animal-based indicators for a Precision Livestock Farming (PLF) approach to small ruminant welfare management*. Thèse de doctorat, University of Edinburgh.

- Refshauge G., Brien F.D., Hinch G.N. et van de Ven R. (2015) Neonatal lamb mortality: Factors associated with the deaths of Australian lambs. *Animal Production Science*, vol. 56, p. 726-735.
- Rhind S.M., Reid H.W., McMillen S.R. et Palmarini G. (1998) The role of cortisol and β -endorphin in the response of the immune system to weaning in lambs. *Animal Science*, vol. 66, p. 397-402.
- Robertson S.M., Boulton J., Xie G., Neef A. et Friend M.A. (2020) Usefulness of pathological examinations of the central nervous system for monitoring and controlling perinatal lamb mortality. *Animal*, vol. 14, p. 2372-2377.
- Romeyer A., Porter R.H., Poindron P., Orgeur P., Chesné P. et Poulin N. (1993) Recognition of dizygotic and monozygotic twin lambs by ewes. *Behaviour*, vol. 127, p. 119-139.
- Rooke J.A., Houdijk J.G.M., McIlvaney K.M., Ashworth C.J. et Dwyer C.M. (2010) Differential effects of maternal nutrient restriction between days one and ninety of pregnancy on ewe and lamb performance and lamb parasitism of ewes in hill and lowland breeds. *Journal of Animal Science*, vol. 88, p. 3833-3842.
- Rooke J.A., Arnott G.A., Dwyer C.M. et Rutherford K.M.D (2017) Impact of maternal stress and nutrition on behavioral and physiological outcomes in young lambs. *Animal Welfare*, vol. 26, p. 403-415.
- Roussel S., Hemsworth P.H., Leruste H., White C., Duvaux-Ponter C., Nowak R. et Boissy A. (2006) Repeated transport and social isolation during pregnancy in ewes: Effects on reactivity to humans and to their offspring after lambing. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 97, p. 172-189.
- Saint-Dizier H., Lévy F. et Ferreira G. (2006) Influence of the mother in the development of flavored-food preference in lambs. *Developmental Psychobiology*, vol. 49, p. 98-106.
- Sawalha R.M., Conington J., Brotherstone S. et Villaneuva B. (2007) Analyses of lamb survival of Scottish Blackface sheep. *Animal*, vol. 1, p. 151-157.
- Schichowski C., Moors E. et Gauly M. (2008) Effects of weaning lambs in two stages or by abrupt separation on their behavior and growth rate. *Journal of Animal Science*, vol. 86, p. 220-225.
- Schuler G., Fürbass R. et Klisch K. (2018) Placental contribution to the endocrinology of gestation and parturition. *Animal Reproduction*, vol. 15, p. 822-842.
- Schwedt T.J., Matharu M.S. et Dodick D.W. (2006) Thunderclap headache. *The Lancet Neurology*, vol. 5, p. 621-631.
- Sèbe F., Nowak R., Poindron P. et Aubin T. (2007) Establishment of vocal communication and discrimination between ewes and their lamb in the first two days after parturition. *Developmental Psychobiology*, vol. 49, p. 375-386.
- Sèbe F., Aubin T., Boué A. et Poindron P. (2008) Mother-young vocal communication and acoustic recognition promote preferential nursing in sheep. *Journal of Experimental Biology*, vol. 211, p. 3554-3562.

Sevi A., Caroprese M., Annicchiarico G., Albenzio M., Taibi L. et Muscio A. (2003) The effect of a gradual separation from the mother on later behavioral, immune and endocrine alterations in artificially reared lambs. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 83, p. 41-53.

Shaw K.L., Nolan J.V., Lynch J.J., Coverdale O.R. et Gill H.S. (1995) Effects of weaning, supplementation and gender on acquired immunity to *Haemonchus contortus* in lambs. *International Journal of Parasitology*, vol. 25, p. 381-387.

Shiels D., Loughrey J., Dwyer C.M., Hanrahan K., Mee J.F. et Keady T.W.J. (2021) A survey of farm management practices relating to the risk factors, prevalence and causes of lamb mortality in Ireland. *Animals*, vol. 12, p. 30.

Shiels D., Mee J.F., Hanrahan J.P., Dwyer C.M., Fagan S. et Keady T. (2025) Timing, risk factors and causes of foetal and preweaning lamb mortality in a lowland production system. *Animal*, vol. 19, p. 101401.

Sinclair K.D., Rutherford K.M.D., Wallace J.M., Brameld J., Stöger R., Alberio R., Sweetman D., Gardner D.S., Perry V., Adam C., Ashworth C.J., Robinson J. et Dwyer C.M. (2016) Epigenetics and developmental programming of welfare and production traits in farm animals. *Reproduction, Fertility and Development*, vol. 28, p. 1443-1478.

Slee J. et Springbett A. (1986) Early post-natal behaviour in lambs of ten breeds. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 15, p. 229-240.

Slee J., Griffiths R.G. et Samson D.E. (1980) Hypothermia in newborn lambs induced by experimental immersion in a water bath and by natural exposure outdoors. *Research in Veterinary Science*, vol. 28, p. 275-280.

Slee J., Alexander G., Bradley L.R., Jackson N. et Stevens D. (1991) Genetic aspects of cold resistance and related characters in newborn Merino lambs. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 31, p. 175-182.

Southey B.R., Rodriguez-Zas S.L. et Leymaster K.A. (2004) Survival analysis of lamb mortality in a terminal sire composite population. *Journal of Animal Science*, vol. 79, p. 2298-2306.

Stephens D.B. et Baldwin B.A. (1971) Observations on the behaviour of groups of artificially reared lambs. *Research in Veterinary Science*, vol. 12, p. 219-225.

Stott A.W. et Slee J. (1987) The effects of litter size, sex, age, body weight, dam age and genetic selection for cold resistance on the physiological responses to cold exposure of Scottish Blackface lambs in a progressively cooled water bath. *Animal Production*, vol. 45, p. 477-491.

Tallet C., Veissier I. et Boivin X. (2005) Human contact and feeding as rewards for the lamb's affinity to their stockperson. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 94, p. 59-73.

Toschi P. et Baratta M. (2021) Ruminant placental adaptation in early maternal undernutrition: An overview. *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.755034>.

van Wettere W.H.E.J., Kind K.L., Gatford K.L., Swinborne A.M., Leu S.T., Hayman P.T., Kelly J.M., Weaver A.C., Kleeman D.O. et Walker S.K. (2021) A review of the impact of heat stress on reproductive performance in sheep. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, vol. 12, n° 26. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00537-z>.

Ward S.J., Campo M. et Liste G. (2017) The effects of artificial rearing and fostering on the growth, carcass and meat quality of lambs. *Small Ruminant Research*, vol. 149, p. 16-22.

Whatford L., Chivers B.D., Rowe M. et Blackie N. (2023) A survey of current farming practices and perceptions on adopting orphan lambs in the United Kingdom: How do ‘ewe’ do it? *Ruminants*, vol. 3, p. 468-482.

Yüzen D., Graf I., Tallarek A-C., Hollwitz B., Wiessner C., Schleussener E., Stammer D., Padula A., Hecher K., Arck P.C. et Diemert A. (2023) Increased late preterm birth risk and altered uterine blood flow upon exposure to heat stress. *Lancet*, vol. 93, p. 104651.

5 Logement et environnement

Conclusions :

1. **Les répercussions sur le bien-être des moutons qu’a le fait de les loger, d’enrichir leur logement pour améliorer leurs conditions de vie et de restreindre leurs mouvements sont rarement évaluées; il serait judicieux d’approfondir la recherche sur ces thèmes.**
2. **D’après les recherches actuelles, en cas de grande densité d’élevage (<1 m²/brebis), on observe l’augmentation des perturbations du comportement de couchage, des déplacements à la mangeoire et des comportements agonistiques. C’est pourquoi il faut l’éviter.**
3. **Pour les moutons, l’isolement social est extrêmement stressant, tout comme la séparation d’individus importants, ce qu’il faut éviter dès que possible.**
4. **Les moutons sont sensibles aux maladies respiratoires et leur productivité baisse quand la qualité de l’air est mauvaise; le logement des moutons doit toujours être adéquatement ventilé.**
5. **Au pâturage, les moutons expriment leurs préférences alimentaires et leurs interactions sociales par la façon dont ils utilisent le fourrage disponible. Les pâturages mixtes ou le pâturage en rotation peuvent accroître le comportement exploratoire du mouton et son intérêt, et ils sont par conséquent susceptibles d’augmenter la productivité globale.**
6. **Comme pour toutes les espèces, de plus en plus de capteurs et de méthodes permettent de surveiller les moutons à distance. Cela pourrait considérablement améliorer la surveillance et la gestion du bien-être. Toutefois, la plupart des applications en sont encore à un stade préliminaire de recherche et n’ont pas encore été validées par des tiers.**

5.1 Principaux aspects du logement en bâtiment clos à considérer

Par rapport à d’autres espèces d’élevage, les moutons restent plus souvent au pâturage pendant une partie ou la totalité de leur cycle de production. Notons toutefois que la variété des élevages ovins est importante : dans certains, les animaux ne sont jamais logés (par exemple en Australie, en Nouvelle-Zélande et dans certaines parties du Royaume-Uni) tandis que dans d’autres, ils sont hébergés en permanence (ovins laitiers dans certains pays), et dans d’autres fermes encore, les moutons peuvent passer d’un système de logement très intensif à un logement très extensif chaque jour ou selon la saison. De plus, les agneaux de finition peuvent être élevés dans des parcs d’engraissement intérieurs ou extérieurs pour leur faire atteindre leur poids du marché. Le

déplacement des moutons entre systèmes de logement peut les stresser et nécessiter des périodes d'adaptation (Fordham et coll., 1991).

Bien que les moutons puissent gagner à être abrités du vent et des précipitations (Gregory, 1995) et à se trouver à l'ombre plutôt qu'au soleil (Schütz et coll., 2024), les moutons adultes sont hébergés principalement pour des raisons de gestion, notamment pour le confort des préposés·es. Loger les brebis pour l'agnelage permet de cibler plus facilement la nutrition dans la dernière période de gestation et facilite les interventions humaines pendant et après la parturition, ainsi que le soin des agneaux nouveau-nés. Normalement, les brebis laitières sont logées pendant la période de lactation pour faciliter leur alimentation et la traite. Les moutons placés dans un parc d'engraissement auxquels est distribuée une ration à densité énergétique élevée pour encourager le gain de poids avant l'abattage peuvent être logés (Zervas et coll., 1999). Loger dans des bergeries les jeunes agneaux en cas de froid peut avantager leur croissance. Loger de jeunes agneaux (16 kg) à une température intérieure de -4°C augmente les taux de croissance, comparativement à s'ils restaient à l'extérieur à -14°C (Xiao et coll., 2024). Le confinement sert aussi quand la superficie extérieure n'est pas suffisamment grande pour le troupeau.

5.1.1 Privations sociales et comportementales

Les moutons sont très grégaires et l'expression de relations sociales proches constitue une part prédominante de leur comportement. Les moutons développent des relations sociales stables avec les membres de leur troupeau (Fisher et Matthews, 2001), reconnaissent des individus faisant partie de leur groupe social (Kendrick et coll., 2001) et, mis en liberté, ils évitent les animaux qu'ils ne connaissent pas (Lawrence et Wood Gush, 1988). Ils synchronisent aussi leur comportement avec celui du troupeau, ce qui est considéré comme une expression de cohésion sociale et de bien-être positif (Richmond et coll., 2017). La plupart des études sur le comportement social des moutons ont toutefois été réalisées sur des animaux au pâturage (voir ci-dessous) et seul un petit nombre d'études ont examiné le comportement social des moutons logés dans des bergeries.

Une étude portant sur la reconnaissance entre la brebis et son agneau montre des capacités de reconnaissance sociale déficientes chez les brebis et les agneaux logés en permanence à l'intérieur comparativement aux animaux logés à l'extérieur (Poindron et Schmidt, 1985). Les auteurs indiquent que les brebis et les agneaux auraient besoin d'une certaine distance pour apprendre à se reconnaître l'un l'autre et qu'ils ne peuvent pas le faire si la distance est courte, ce qui est le cas en bergerie. La taille de l'enclos des brebis hébergées affecte aussi la qualité de la relation entre la brebis et son agneau : quand les brebis sont logées dans de petits enclos ($1,5\text{ m}^2$ par brebis), les comportements de suivi, de nettoyage de l'agneau et d'allaitement diminuent et le nombre de refus d'allaitement augmente par rapport aux brebis logées dans des enclos plus grands (3 m^2 par brebis, Lv et coll., 2015). Chez les brebis vivant dans de petits enclos, le niveau de métabolites glucocorticoïdes dans les fèces est plus élevé que chez les brebis des grands enclos, ce qui indiquerait que la taille de l'enclos influe sur l'activité de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien.

L'isolement social ou le logement individuel peuvent être de puissants facteurs de stress pour le mouton, qui causent des modifications comportementales, physiologiques, immunologiques et neurobiologiques. À titre d'exemple, les moutons socialement isolés font fréquemment des

vocalisations aiguës, marchent de long en large avec agitation et tentent de s'enfuir (Barnard et coll., 2015), et ils peuvent cesser de boire et de s'alimenter, du moins dans un premier temps. Ces altérations s'accompagnent de l'augmentation de la fréquence cardiaque et de la sécrétion de cortisol, du dérèglement de la sécrétion de la dopamine et de la prolactine (Guesdon et coll., 2015) et de la suppression de la concentration d'IgA à l'antigène CarLA (*carbohydrate larval surface*) mesurée dans la salive (Sutherland et coll., 2019). La concentration d'IgA à CarLA est élevée chez les moutons hôtes de nématodes gastro-intestinaux, ce qui indiquerait des réponses immunitaires déficientes aux parasites chez les moutons isolés socialement. De plus, la séparation des individus de leur partenaire social préféré, particulièrement des brebis et leur petit, entraîne un comportement agité marqué et une fréquence élevée de vocalisations, des comportements qui sont fortement corrélés l'un à l'autre (Barnard et coll., 2015). Une étude portant sur des moutons en logement individuel constate que les moutons passent 62 % de leur temps au repos et que 71 % des moutons expriment des comportements anormaux (ils marchent de long en large, mordillent ou poussent du nez les éléments des enclos) pendant plus de 10 % de la journée (Lauber et coll., 2012). Quand un stimulus soudain leur est proposé, les moutons isolés présentent un nombre bien plus élevé de réactions de peur que les moutons vivant en groupes de cinq à dix animaux (González et coll., 2013), ce qui indiquerait que le groupe social contribuerait à atténuer les réactions de peur chez le mouton.

Bien que la taille du groupe et les relations sociales soient des éléments importants de l'environnement du mouton, le groupe social peut aussi agir comme source de stress et nuire au bien-être, particulièrement en cas de ressources limitées. Une étude portant sur la taille des groupes de moutons en logement constate une synchronie moindre des comportements de repos et d'alimentation dans les grands groupes (36 brebis) que dans les petits (9 brebis), mais aussi moins d'attente à la mangeoire pour les grands groupes (Jørgensen et coll., 2009). Ne constatant pas de différence en ce qui concerne les interactions agressives, les auteurs supposent qu'en la matière, la densité d'élevage est plus importante que la taille du groupe. Des recherches sur les effets de la superficie disponible sans changement de la taille du groupe indiquent que la quantité d'espace social fourni aux moutons est plus importante pour ce qui concerne le stress et les interactions sociales agonistiques que le nombre d'individus dans le groupe (Averós et coll., 2014a; 2014b; 2015).

En plus de réduire l'espace social fourni aux moutons, le logement implique souvent de mélanger des animaux, parfois à plusieurs occasions quand les animaux sont déplacés dans d'autres groupes à des fins de gestion, ce qui peut les séparer de leurs partenaires sociaux préférés. Une étude comparant les effets de l'espace restreint et du mélange de moutons montre que les agressions de brebis augmentent en cas de mélange et que les jeunes brebis sont plus touchées par le logement que les brebis plus âgées et plus expérimentées (Yusof et coll., 2023).

Chez le mouton, de nombreuses expressions de la dominance ne sont pas nécessairement associées à des comportements manifestement agressifs. Les moutons préservent une hiérarchie sociale au moyen de comportements subtils associés à des mouvements de la tête et des contacts visuels. Les moutons dominants peuvent écarter les individus subordonnés des mangeoires (Neave et coll., 2018) et de leur position allongée préférée en posant leur menton sur le dos du subordonné ou en le tapotant de la patte (Done-Currie et coll., 1984). Les conséquences sont multiples pour le mouton subordonné. Quand l'espace à la mangeoire est limité, le nombre de fois où il est écarté de la mangeoire ou perturbé à la mangeoire augmente (Arnold et Maller,

1974) et une proportion progressivement plus grande de moutons ne participe plus à la compétition pour l'accès à la nourriture et cesse de s'alimenter. Généralement, les animaux subordonnés sont très jeunes ou très âgés (McBride et coll., 1967).

5.1.2 Comportement alimentaire

Le comportement alimentaire du mouton dépend de facteurs individuels, comme l'exposition à un jeune âge à différents types d'aliments, l'heure et la fréquence de la distribution d'aliments dans les systèmes confinés, les structures du lieu d'alimentation ou l'accès à ce dernier et la superficie fournie à chaque individu (Neave et coll., 2018). Souvent, le comportement alimentaire des moutons logés dans des bergeries est très synchronisé, car le groupe préfère se nourrir simultanément. C'est pourquoi les moutons peuvent se trouver dans une situation de compétition pour l'accès à la mangeoire quand l'espace est limité, ou certains animaux peuvent être amenés à s'alimenter à un moment qui leur convient moins, à ne pas manger toute leur ration, ou à la consommer en plusieurs fois par petites parts s'ils sont souvent déplacés (Yusof et coll., 2023). Cela peut aussi nuire à l'efficacité, car les moutons utilisant le plus efficacement leur alimentation ont des prises alimentaires moins nombreuses et plus copieuses que les individus moins efficaces (Muir et coll., 2018).

On observe chez le mouton une néophobie alimentaire, c'est-à-dire de la réticence à consommer des aliments inconnus (Provenza et Balph, 1987), comme c'est le cas pour de nombreux ruminants. Cette phobie peut être exacerbée si l'environnement est nouveau. Ainsi, les agneaux introduits dans un parc d'engraissement peuvent développer une inappétence en raison de ce phénomène; une étude réalisée en Australie indique que les agneaux, dans une proportion allant jusqu'à 20 %, peuvent refuser de s'alimenter (on parle de « mangeurs timides ») et perdre du poids dans la semaine suivant leur arrivée au parc d'engraissement (Rice et coll., 2016). Les mangeurs timides sont aussi plus susceptibles de se rendre à la mangeoire quand aucun autre agneau ne s'y trouve, comparativement aux agneaux s'alimentant correctement. Les agneaux ayant une néophobie alimentaire sont aussi plus craintifs dans les environnements nouveaux (Villalba et coll., 2009), mais Rice et coll. (2016) n'observe pas de différence de tempérament entre les individus s'alimentant et ceux ne s'alimentant pas à leur arrivée au parc d'engraissement. Si un nouvel arôme (huile d'origan) est ajouté à de nouveaux aliments au moment du sevrage, les agneaux amenés à choisir entre plusieurs aliments continuent de préférer ceux contenant de l'huile d'origan jusqu'à 11 mois plus tard (Simitzis et coll., 2008), ce qui montre la persistance de la familiarité de l'arôme.

Le comportement animal consistant à tirer la laine pour l'arracher s'observe presque exclusivement chez les moutons logés dans des bergeries (Parés et coll., 2023) se nourrissant de niveaux élevés d'aliments concentrés ou privés d'accès à des fourrages; il se caractérise par le fait de tirer, mordiller et mastiquer la laine d'autres animaux. On pense qu'il s'agit d'une réaction stéréotypée, non liée à un comportement agressif, qui a été associée à un accès inadéquat aux fibres (Vasseur et coll., 2006); le fait de fournir de la paille d'orge réduisant l'incidence du comportement et les dommages à la laine.

5.1.3 Effets sur la santé

Le niveau de contamination environnementale par des pathogènes est probablement plus élevé chez les moutons logés dans des installations que chez ceux en système d'élevage extensif. Il peut être avantageux de placer les moutons dans un grand espace aéré naturellement. Sevi et coll. (2001) montrent que les brebis en période de lactation (56 kg) logées par groupes de 12 dans des enclos ventilés naturellement ($22 \text{ m}^3/\text{h}/\text{animal}$), sur une litière de paille avec 4 m^3 d'espace aéré naturellement/animal, sont exposées à une humidité relative plus élevée et à des concentrations plus grandes de bactéries en suspension dans l'air et qu'elles présentent une numération des cellules somatiques dans le lait plus élevée que les brebis disposant de 7 m^3 d'espace aéré naturellement/animal.

Les moutons montrent de l'aversion à $31 \text{ mg}/\text{m}^3$ d'ammoniac (Phillips et coll., 2012a). L'exposition à des concentrations d'ammoniac allant de 11 à $34 \text{ mg}/\text{m}^3$ pendant 12 jours diminue la prise alimentaire et augmente les éternuements, comparativement aux moutons du groupe témoin (Phillips et coll., 2012b). L'exposition à une concentration d'ammoniac de $21 \text{ mg}/\text{m}^3$ pendant sept à huit jours réduit la prise alimentaire, l'alimentation et le comportement de rumination et elle augmente la fréquence respiratoire, comparativement aux moutons du groupe témoin (Zhang et coll., 2018).

L'augmentation du taux de ventilation, qui passe de $23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{animal}$ à $47 \text{ m}^3/\text{h}/\text{animal}$, peut réduire la concentration d'ammoniac (Sevi et coll., 2003b). La concentration aérienne de poussière dans les logements de moutons avec litière en paille peut être réduite par le renouvellement régulier de la paille (Sevi et coll., 2003a).

D'après des analogies entre espèces et des données probantes indirectes, l'exposition des sabots de mouton à l'humidité quand la litière est humide est un facteur de risque de boiterie liée à une infection du pied (Angell et coll., 2015; Gelasakis et coll., 2019). Une étude réalisée en Norvège (Stubsj en et coll., 2022) sur des moutons logées en hiver, la plupart du temps dans des b atiments isolées équipées de planchers m etalliques, observe la formation de cals sur les articulations carpiennes de 27,5 % des moutons, ainsi que des abdomens sales (18,8 %), des onglons trop longs (18,1 %), et des pertes de laine (16 %). Cette étude indique une diminution de la probabilité de formation de cals quand les brebis disposent d'une litière plus profonde et une amélioration de l'humeur quand les moutons ont accès à un espace extérieur.

Quand les moutons sont logées dans des  tables à ventilation naturelle, la température interne peut dépasser la température extérieure, ce qui accroît le risque de stress thermique quand il fait chaud (Papanastasiou et coll., 2011). Les brebis logées à l'intérieur aux fins d'agnelage doivent être tondues pour éviter qu'elles souffrent de stress thermique et d'une humidité excessive sur leur toison. La tonte peut toutefois causer un stress (Hargreaves et Hutson, 1990a) parfois supérieur à celui d'autres procédures de manipulation (Hargreaves et Hutson, 1990b). C'est pourquoi il faut évaluer le risque de détresse thermique des brebis à laine mature logées dans des bergeries par rapport au risque de stress susceptible d'être causé par la tonte.

5.1.4 Possibilités d'exercice physique

Les moutons au pâturage marchent entre 0,2 et 5,5 km par jour (Zanon et coll., 2022). Cependant, des études moins récentes sur des pâturages semi-arides indiquent que les moutons peuvent marcher entre 8 et 14 km par jour entre les sources d'eau et les aires de pâturage (Squires, 1976). L'exercice physique augmente les besoins énergétiques métabolisables du mouton (Pethick et coll., 1991). On ne sait pas précisément si les occasions restreintes d'exercice nuisent au bien-être des moutons logés à l'intérieur. D'après une étude portant sur deux élevages pratiquant respectivement une gestion à l'intérieur et à l'extérieur, où l'activité est surveillée par accéléromètres, les brebis gestantes logées dans des bergeries sont couchées pendant 13,1 heures/jour tandis que celles vivant à l'extérieur sont couchées pendant 11,7 heures/jour (Williams et coll., 2021). Chez les animaux hébergés à l'intérieur, la durée médiane des périodes passées en position couchée est de 29,5 minutes et elles ont 26,8 périodes de repos par jour, tandis que chez les brebis vivant à l'extérieur, la durée moyenne est de 35,9 minutes par période et elles ont 19 périodes de repos par jour. Parce que la variable de la gestion du logement est confondue avec celle de la ferme, l'étude ne permet pas de comparaison directe, mais elle indiquerait qu'il n'existe pas de grande différence entre les positions debout et couchée des moutons logés à l'extérieur et à l'intérieur. Selon les auteurs, l'âge de la brebis et le poids de la litière seraient des déterminants plus importants de la mise en position allongée.

5.1.5 Espace nécessaire à l'alimentation restreint

Un espace d'alimentation restreint peut accroître la compétition pour l'accès à la nourriture et réduire la prise alimentaire. Des groupes de 100 béliers castrés (mâles châtrés), d'un poids moyen de 45 kg (fourchette allant de 25 à 75 kg), ont une croissance diminuée quand les aliments leur sont proposés dans une mangeoire fournissant 0,02 m/animal comparativement à ceux disposant de 0,05 à 0,15 m/animal. Quand l'eau se trouve dans un abreuvoir fournissant 0,06 m/animal, la croissance est inférieure à celles des animaux dont l'abreuvoir fournit 0,15 m/animal (Dundon et Mayer, 2015). Dans des groupes de 40 béliers castrés (d'environ 28 kg), on constate une réduction de la croissance, de la prise alimentaire, du temps passé à s'alimenter et du nombre de périodes d'alimentation quand la mangeoire fournit 0,04 m/animal comparativement à ceux disposant de 0,1 m/animal (Jongman et coll., 2017).

Dans une étude de da Silveira et coll. (2018), où la taille de groupe est confondue avec la longueur de mangeoire disponible, un groupe de trois brebis (35 kg) disposant de 0,33 m de longueur de mangeoire/animal peut s'alimenter simultanément 54 % du temps. Des groupes de quatre et cinq brebis disposent de 0,25 et 0,20 m de longueur de mangeoire/animal, respectivement. Comparativement aux brebis ayant 0,33 m de longueur de mangeoire/animal, celles pour lesquelles la longueur de mangeoire/animal est plus petite, consomment une quantité de matière sèche par animal inférieure, et celles disposant de 0,20 m de longueur de mangeoire/animal prennent moins de poids et peuvent s'alimenter simultanément seulement 30 % du temps.

5.1.6 Espace au sol

Les exigences de surface utile sont envisagées en fonction de la superficie physique nécessaire pour contenir les dimensions corporelles de l'animal en lui permettant d'exprimer son

comportement normal et d'interagir avec d'autres animaux (Petherick, 2007). On parle d'entassement quand les animaux sont si nombreux que leur capacité à s'alimenter, à se reposer et à réaliser d'autres comportements élémentaires pour maintenir leur état est limitée. On observe alors que la compétition pour l'obtention de ressources – comme l'accès aux mangeoires, aux abreuvoirs et aux aires de repos – augmente, tout comme le risque d'agression, de blessure et de stress.

Une surface utile insuffisante peut réduire le temps de repos et augmenter les perturbations quand les moutons sont allongés. On constate que des brebis gestantes (80 à 85 kg) logées à une espace alloué de 0,5 m²/animal passent moins de temps allongées et plus de temps à marcher, elles sont plus souvent déplacées de leur position allongée et elles sont moins souvent couchées simultanément, comparativement à celles logées à une densité de soit 0,75 m²/animal, soit 1 m²/animal (Bøe et coll., 2006).

Des brebis gestantes (89 kg) élevées à une densité de 0,75 m²/animal passent moins de temps en position allongée, sont plus souvent déplacées de leur position allongée, passent moins de temps allongées simultanément et ont plus d'interactions agressives que celles élevées à une densité de soit 1,5 m²/animal, soit 2,25 m²/animal (Vik et coll., 2017).

D'après les observations d'une étude d'Averós et coll. (2014a; 2014b), chez des brebis gestantes disposant de 1 m²/animal, la distance totale des déplacements est plus courte, le temps passé à se déplacer est inférieur et le taux de perturbations est supérieur (fréquence des vérifications où l'emplacement a changé) que celles élevées à une densité de 2 ou 3 m²/animal. En revanche, elles passent plus de temps à s'alimenter et la fréquence de leurs périodes d'alimentation et de leurs interactions sociales est plus grande, comparativement à celles disposant d'une surface supérieure.

Des brebis non gestantes (55 kg et 72 kg) élevées à une densité de 4 m²/animal parcourent une distance plus grande et marchent plus que celles élevées à une densité de 2 m²/animal. Ces dernières (2 m²/animal) se couchent plus et changent moins souvent d'emplacement que les brebis disposant de 4 m²/animal (Orihuela et coll., 2016).

Des brebis en période de lactation élevées à une densité de 1 m²/animal présentent une réponse immunitaire à médiation humorale plus faible, une production de lait inférieure et une numération des cellules somatiques dans le lait plus haute que celles élevées à une densité de 3 m²/animal (Caroprese et coll., 2009).

Des brebis en période de lactation (51 kg) élevées par groupes de 12, dans des enclos à litière de paille et à ventilation naturelle (30 m³/h/animal) qui fournissent 1, 1,5, ou 2 m²/animal, sont exposées à des concentrations de microorganismes dans l'air plus élevées quand la surface disponible est la plus petite (1 m²/animal) et les brebis de ce groupe avaient un rendement laitier inférieur (Sevi et coll., 1999).

Des agneaux (28 kg) élevés à une densité de 0,48 m²/animal ont une croissance supérieure à ceux élevés à une densité de 0,32 m²/animal (Gonyou et coll., 1985). Chez des agneaux (7 kg) disposant de 0,34 m²/animal, on observe une diminution du comportement d'alimentation et de marche, comparativement à d'autres élevés à une densité de soit 0,48 m²/animal, soit

0,63 m²/animal. Chez ces derniers (0,63 m²/animal), la consommation de matière sèche, la rumination et le temps passé en position couchée sont supérieurs à ceux des agneaux à une densité de 0,48 m²/animal (Norouzian, 2017).

D'après des recherches portant sur les moutons et les bovins, Petherick et Phillips (2009) concluent qu'il serait possible d'estimer la surface utile appropriée dans les logements pour moutons au moyen de l'équation allométrique suivante : surface de plancher en m² = 0,033 × poids vif^{0,66} (en kg).

5.1.7 Enrichissement du milieu

Généralement, quand les moutons sont logés dans des installations intérieures, ils restent dans des enclos où leur sont fournies nourritures et eau et parfois, pas systématiquement, une litière. C'est à peu près tout : ces milieux sont relativement nus. La littérature sur l'amélioration des conditions de vie du mouton est rare mais, selon certaines données probantes, le fait d'avoir le choix influe positivement sur le mouton (par exemple, certaines études ont démontré que l'humeur des moutons s'améliore quand ils ont la possibilité d'aller dehors s'ils sont logés dans des installations, Stubbsjœen et coll., 2022) et que les moutons utilisent les brosses, la litière profonde et les éléments complexes de l'environnement quand ils leur sont proposés. Des brebis adultes dont les conditions de vie ont été améliorées (surface plus grande, balles de paille, miroirs et mangeoires casse-tête pour jouer) montrent un comportement plus optimiste dans une tâche de biais cognitif suivant le paradigme « go/go » (partant/partant) et ont moins peur quand elles sont mises en contact avec un nouvel objet, comparativement à des brebis logées dans des enclos comprenant seulement une litière de paille (Stephenson et Haskell, 2022). Bien qu'elle ne porte pas précisément sur l'amélioration des conditions de vie, une étude montre que les moutons logés dans un environnement prévisible et riche en stimulus et ayant des interactions humain-animal calmes réagissent moins aux stimulus négatifs que les moutons logés dans des bergeries vides et imprévisibles et ayant des interactions humain-animal rudes (Reefmann et coll., 2012), mais les animaux du premier groupe étaient également moins intéressés par les stimulus positifs. Aucune différence de crainte n'est observée entre des agneaux élevés avec leur mère dans des conditions de vie améliorées (planches colorées en suspension, mannequin à l'apparence humaine) et des agneaux élevés dans un environnement nu (Vandenheede et Bouissou, 1998), que ce soit au sevrage ou à l'âge de huit mois. En revanche, chez leurs mères, le comportement craintif est réduit à long terme après l'amélioration des conditions de vie (Vandenheede et Bouissou, 1998). Ces études montrent quelques améliorations de l'humeur et de la peur chez les moutons logés dans des enclos équipés d'éléments supplémentaires, mais certains d'entre eux auraient une importance éthologique ou une pertinence moindres pour les moutons et nécessiteraient d'être développés pour apporter des résultats convenables (Taylor et coll., 2023).

Si les moutons ont le choix pour s'allonger entre des lattes métalliques, des planchers en bois solide, des tapis en caoutchouc ou de la paille, les moutons non tondus ne montrent pas de préférence marquée pour un type de plancher en particulier (Faerevik et coll., 2005). Toutefois, quand ils sont tondus, les moutons préfèrent se coucher sur des surfaces recouvertes d'une litière en paille plutôt que tout autre type de plancher, et sur des planchers en bois ou des matelas en caoutchouc plutôt que des sols métalliques. Par ailleurs, les brebis tondues s'allongent moins qu'avant la tonte, sauf si elles ont accès à des sols recouverts d'une litière en paille (Faerevik et coll., 2005).

Une série d'études portant sur les agneaux de parcs d'engraissement espagnols montre que la fourniture d'une litière en paille et d'un substrat d'alimentation, de rampes de jeu et de rampes d'alimentation réduit les agressions et les comportements stéréotypés et qu'elle augmente les indicateurs d'immunité, par rapport aux agneaux élevés dans un environnement nu (Teixeira et coll., 2014; Aguayo-Ulloa et coll., 2014). De plus, les agneaux vivant dans un parc d'engraissement aux conditions améliorées présentent un gain de poids quotidien plus élevé, une carcasse plus lourde et de meilleurs indicateurs de qualité de la viande (Aguayo-Ulloa et coll., 2014).

5.2 Principaux aspects des systèmes extensifs à considérer

La notion de système extensif se définit de plusieurs manières. En général, les définitions se fondent sur le nombre d'animaux par unité de main-d'œuvre, la densité d'élevage et, parfois, le degré de confinement ou de restriction imposé aux déplacements des animaux. La gestion des moutons à l'extérieur peut signifier de grands pâturages non clôturés avec des densités d'élevage extrêmement basses (par exemple inférieures à un animal par hectare), souvent dans un pâturage de qualité médiocre, ou des enclos de pâturage réensemencé ou amélioré, susceptible de contenir plusieurs animaux par hectare. Les moutons peuvent être en pâturage continu sur le terrain, gérés par pâturage rationné avec rotation pour les brebis gestantes, ou brouter le pâturage tournant par parcellement, dans le but d'accroître la production par unité de surface de terre. Souvent, les pratiques de gestion et leurs effets sur le bien-être sont déterminés par les installations disponibles sur la terre et les possibilités sur le terrain.

Les moutons élevés dans des systèmes extensifs se nourrissent principalement de graminées et de cultures fourragères et ils peuvent boire dans des cours d'eau naturels ou des abreuvoirs. Selon les saisons, l'eau et les aliments disponibles peuvent varier, et l'accès adéquat à ces derniers peut parfois poser problème. Pour certains moutons, il peut être avantageux de proposer des suppléments alimentaires, notamment des minéraux, en plus du pâturage à certaines périodes de l'année. Bien que les animaux soient normalement considérés comme des animaux de pacage, ils peuvent aussi, en plus du pâturage, brouter des herbes, des feuilles, des branches d'arbre, des fruits, des arbustes et d'autres plantes, s'ils en trouvent. On a montré que les moutons broutent de manière nettement plus sélective que d'autres espèces, notamment les bovins, et que la composition de l'herbage a peu d'influence sur leurs préférences de consommation (Cuchillo-Hilario et coll., 2017). Des données probantes solides montrent que le mouton a des préférences alimentaires (c'est-à-dire qu'il « veut » manger certains aliments). C'est pourquoi il serait possible d'améliorer leur bien-être en leur apportant leurs aliments préférés (Rutter, 2010). Des données montrent que les moutons préfèrent être dehors s'ils ont le choix, mais aucune étude n'a cherché à savoir si les moutons préfèrent les pâturages mixtes aux monocultures ni si le fait de ne pas pouvoir paître a des répercussions sur leur bien-être.

5.2.1 Cycle de pâturage

Habituellement, les moutons des systèmes extensifs ont un accès presque continu au pâturage, mais la quantité et la qualité des aliments disponibles varient selon la saison. Quand la croissance de l'herbe est limitée en hiver ou à la saison sèche, une supplémentation est parfois nécessaire.

La croissance de l'herbe suit un cycle saisonnier, qui dépend de la température et des précipitations ou de l'irrigation. Selon le moment de l'année, la quantité et la qualité des pâturages diffèrent, ce qui entraîne des variations du poids vif et de l'état corporel des moutons en fonction du pâturage disponible. La taille du groupe, la densité d'élevage, la période de pâturage, la taille du champ, l'utilisation de fertilisants et les pratiques d'irrigation peuvent modifier l'herbe disponible.

La qualité des fourrages se détériore pendant la période végétative et en cas de conditions météorologiques défavorables (température trop basse ou trop élevée et sécheresse). La valeur nutritive la plus élevée est obtenue pendant le développement actif des feuilles. C'est à ce moment-là que la teneur en protéines brutes et en hydrates de carbone solubles est élevée et que les composantes structurales (hémicellulose, cellulose et lignine) sont faibles. À mesure que la saison progresse et que les plantes arrivent à maturité, la proportion de feuille, tige et matière morte change et les composantes structurales de la plante augmentent; la proportion de protéines et d'hydrates de carbone solubles du poids sec de la plante diminue alors (Waghorn et Clark, 2004).

Pendant la période végétative de l'herbe, l'état corporel des moutons peut augmenter et ils peuvent emmagasiner des réserves énergétiques excédentaires, qu'ils utiliseront quand les aliments disponibles seront pauvres et en quantité limitée, à savoir en hiver ou en cas de sécheresse. Pour combler les besoins nutritifs supplémentaires des derniers stades de la gestation et de la lactation, on peut planifier ces événements pour qu'ils se produisent quand les aliments sont le plus accessibles et abondants.

Une croissance compensatoire peut se produire après une période d'alimentation restreinte. Dans certaines circonstances, après une période de sous-nutrition, le mouton voit augmenter le taux de gain de poids corporel ainsi que l'efficacité d'absorption de l'apport énergétique (Hornick et coll., 2000). Cette croissance compensatoire suivant une période de restrictions alimentaires sert à réduire les coûts de l'alimentation dans les élevages de moutons extensifs.

5.2.2 Qualité et disponibilité de la nourriture

De nombreux pâturages présentent un nombre limité d'espèces de graminées dans le but d'accroître la productivité et d'éviter le comportement sélectif des moutons. À titre d'exemple, le pâturage peut se composer d'un mélange de ray-grass et de trèfle, qui peut avoir une valeur nutritive élevée à certaines périodes de l'année. Devant un champ de trèfle et ray-grass, les moutons montrent une préférence partielle pour le trèfle, en consommant 70 % de trèfle et 30 % de ray-grass (Rutter, 2010). À certaines périodes de l'année, la teneur en nutriments de ces plantes est pauvre, comme le décrit la section sur le cycle de pâturage (section 5.2.2) et on constate un intérêt croissant pour d'autres espèces fourragères et pour les pâturages mixtes (Cranston et coll., 2015). À titre d'exemple, les mélanges de chicorée, de plantain et de trèfle rouge et blanc servent à apporter la valeur nutritive recherchée à certaines périodes de l'année, ce qui peut accroître les taux de croissance des agneaux, comparativement à ceux nourris dans des champs de ray-grass et trèfle (Somasiri et coll., 2015). L'augmentation des taux de croissance peut être liée à une plus grande consommation, car la chicorée a un goût agréable et elle est consommée plus rapidement par les moutons que le ray-grass (Niderkorn et coll., 2019). Selon une étude portant sur la sélection alimentaire par les agnelles, la préférence et la sélection

d'espèces végétales varieraient selon les saisons dans les pâturages mixtes : au début du printemps, les agneaux préfèrent le plantain et la chicorée au trèfle rouge et blanc, puis ils augmentent leur consommation de trèfle rouge quand cette espèce devient plus abondante et que la qualité nutritive du pâturage diminue (Cave et coll., 2015). Les espèces de plantes bioactives, comme la chicorée et le plantain, possèdent des propriétés anthelminthiques naturelles dues à des tanins condensés, ce qui peut réduire la charge parasitaire et la nécessité de traitements anthelminthiques (Peña-Espinoza et coll., 2018).

Chez les agneaux en croissance, les taux de croissance (gain de poids moyen quotidien) sont similaires, que les agneaux broutent uniquement des céréales (blé) ou qu'ils broutent un mélange de céréales et d'autres espèces fourragères, qui comprennent de la vesce et d'autres légumineuses; ce n'est toutefois pas le cas quand le fourrage contient des espèces du genre *Brassica* (Clayton et coll., 2025). Un pâturage plus diversifié permettrait aux moutons d'exprimer leurs préférences de sélection alimentaire, selon la palatabilité et la qualité des aliments tout en maintenant une croissance adéquate.

Le comportement de pâturage des moutons est un élément important aux fins de l'efficacité de l'utilisation du pâturage et de sa gestion, et cela peut aussi interagir avec le comportement social. Le processus de pâturage implique des comportements de recherche et de quête de nourriture pour optimiser l'apport en nutriments, influencés par les indicateurs de palatabilité avant et après l'ingestion. Si les coûts de recherche sont bas, c'est-à-dire que les espèces fourragères préférées sont abondantes, les moutons peuvent consommer une plus grande proportion de leurs fourrages préférés (Chapman et coll., 2007) et la hauteur des herbes peut faciliter la masse optimale par coup de mâchoire (Mezzalana et coll., 2014). Dans les pâturages tournants traditionnels de moutons, le processus consiste essentiellement à viser certaines hauteurs d'herbe et des périodes de repos données, sans tenir compte du comportement des animaux, tandis que les stratégies de pâturage continu en rotation prennent aussi en compte le comportement des moutons et visent un apport quotidien plus élevé d'aliments de grande qualité (Savian et coll., 2020). Cette stratégie applique une fourchette de hauteurs d'herbe plus petite, pour qu'elle reste à une hauteur encourageant le taux de coups de mâchoire le plus élevé du mouton (Carvalho, 2013).

La cohésion sociale et le comportement d'agrégation peuvent influencer sur l'utilisation du pâturage. Dumont et Boissy (2000) montrent qu'un mouton va vers les endroits où il préfère paître, seul ou en groupe, si cet endroit est près du groupe social, mais qu'il ne se rend pas vers une parcelle isolée s'il est seul. De même, Sibbald et coll. (2008) constatent que la quête de nourriture dans les parcelles préférées dépend de la préférence à demeurer à une distance sociale donnée des autres moutons. De plus, les moutons sont plus susceptibles de paître avec des animaux qu'ils connaissent en s'éloignant du groupe social, qu'avec des moutons inconnus (Boissy et Dumont, 2002). Selon une étude plus récente, l'analyse des réseaux sociaux observe des interactions entre le comportement social des moutons et les types d'aliments qu'ils consomment, notamment une cohésion plus grande du réseau quand ils paissent des graminées et des herbes non graminéennes, et un réseau moins organisé quand les moutons paissent des arbustes et des arbres (Yiakoulaki et coll., 2019).

Une innovation récente du secteur ovin consiste à mettre en place un pâturage ciblé au moyen de panneaux solaires. Une étude sur le comportement de pâturage du mouton indique que des moutons mis au pâturage par rotations d'un jour ou de quatre jours sous les panneaux solaires

passent plus de temps à brouter (durée mesurée par capteur) que des moutons mis dans des parcours naturels d'espèces indigènes, et que les moutons suivant des rotations intensives d'un jour passent moins de temps à brouter que ceux suivant des rotations de quatre jours (Kampherbeek et coll., 2023). Les auteurs supposent que les panneaux solaires protègent les moutons de la chaleur, du vent ou de la pluie, ce qui leur permettrait de brouter plus facilement et plus longtemps.

5.2.3 Taux de chargement

On peut modifier les densités d'élevage et la rotation du pâturage pour trouver un équilibre entre les fourrages consommés et piétinés et la croissance du fourrage. Les densités d'élevage – définies généralement comme étant le rapport entre le nombre d'animaux et la superficie totale utilisée dans le temps – sont un élément important de la rentabilité d'une exploitation (Young et coll., 2022). Elle est souvent considérée dans une perspective économique, qui tient compte de la quantité et de la qualité des aliments à différents moments de l'année, des variations saisonnières et des objectifs de productivité du bétail, entre autres facteurs. Cependant, la densité d'élevage a des effets sur les moutons, notamment sur leur capacité de consommer des quantités suffisantes de leur fourrage préféré. Les densités élevées entraînent parfois une compétition entre animaux pour accéder aux fourrages, plus particulièrement aux fourrages de grande qualité. En cas de pâturage tournant ou de pâturage par bandes, la densité d'élevage est bien supérieure à celle des pâturages continus, mais les animaux peuvent se déplacer vers de nouveaux fourrages selon un cycle d'un jour (intensif) ou de trois à cinq jours (tournant traditionnel), qui permet la consommation de fourrages frais à chaque déplacement des moutons. La qualité et la quantité du pâturage peuvent être épuisées par le surpâturage quand la densité est trop élevée. On parle de surpâturage quand la capacité de récupération des plantes est dépassée par l'utilisation du champ par les animaux.

5.2.4 Malnutrition

La malnutrition est le manque, le déséquilibre ou l'excès de nutriments qui nuit à la fonction physiologique, la santé et la productivité normales (Hogan et Phillips, 2008). Des carences sont observées quand les aliments fournis sont inadéquats ou quand les moutons ne parviennent pas à tirer suffisamment de nutriments d'aliments de faible qualité. Toute évaluation nutritionnelle visant à estimer les problèmes possibles pour le bien-être doit évaluer l'animal, les aliments proposés et consommés, l'environnement et les méthodes d'alimentation en relation avec la gestion des moutons (Swecker et Thatcher, 1988).

Les moutons tirent leur apport en minéraux des fourrages, d'aliments concentrés et de suppléments minéraux. La teneur en minéraux des plantes varie selon l'espèce, le stade de végétation, la composition du sol et le climat. La sensibilité aux déficiences en minéraux varie selon le lieu (Reid et Horvath, 1980). La teneur en vitamines et en minéraux de l'herbe et des autres plantes varie et certains pâturages peuvent ne pas satisfaire les besoins nutritionnels. Quand les animaux se nourrissent à l'extérieur, le fait d'avoir accès à une diversité de plantes, une supplémentation en aliments concentrés et des blocs à lécher peut apporter des suppléments nutritionnels bénéfiques, comme des vitamines et des minéraux essentiels.

Des déséquilibres minéraux dans l'alimentation, notamment pour ce qui est de l'iode, du cobalt, du manganèse ou du sélénium (revue de la littérature par Rooke et coll., 2008) peuvent se produire en raison du type de sol du pâturage (Suttle, 1991). Les répercussions des déficiences en minéraux et en vitamines sur les fonctions physiologiques peuvent être importantes et entraîner une faiblesse et des signes non spécifiques de mauvaise santé et de sensations négatives. Plusieurs vitamines et minéraux participent au métabolisme énergétique cellulaire. Les minéraux sont indispensables à plusieurs fonctions du corps, notamment des réactions biochimiques, des cofacteurs de réaction enzymatique et la composition des protéines. Ils peuvent être importants chez les brebis en gestation, car ils influent sur le développement du fœtus et ils ont des conséquences sur sa santé et son bien-être. À titre d'exemple, une déficience en cobalt nuit au développement comportemental des agneaux, une déficience en cuivre cause un ensellement de la ligne dorsale des agneaux, et une déficience en sélénium entraîne une myopathie nutritionnelle. L'apport d'oligoéléments et de minéraux dans l'alimentation, par bolus ou par injection, aux brebis ayant des carences en oligoéléments peut avoir des effets positifs sur le bien-être de leurs agneaux. Il faut toutefois souligner que peu de données probantes indiquent que des supplémentations adéquates en oligoéléments pour brebis apportent d'autres avantages et qu'à haute dose, certains de ces éléments sont toxiques.

5.2.4.1 Sous-nutrition

Dans un élevage au pâturage, la qualité et la disponibilité des fourrages sont parfois limitées, ce qui empêche les animaux de tirer suffisamment de nutriments du pâturage. On parle de sous-nutrition quand la consommation de nutriments ne satisfait pas les besoins de l'animal pour une fonction physiologique optimale. L'apport énergétique alimentaire est inadéquat quand il ne comble pas les besoins caloriques, cela peut être dû à un manque d'aliments, à la faible digestibilité des aliments ou à une augmentation de demande métabolique (Webster, 2009). D'autres facteurs peuvent contribuer à la sous-nutrition, comme ceux réduisant la consommation d'aliments, notamment une qualité de fourrage insuffisante, un accès restreint à de l'eau potable et un stress thermique. La sous-nutrition s'accompagne de la mobilisation de réserves lipidiques de l'organisme pour combler les besoins énergétiques, ce qui peut conduire au catabolisme de tissus de l'organisme, comme le tissu musculaire, si la non-satisfaction des besoins se poursuit. Généralement, cela se traduit par la diminution de la profondeur du gras dorsal, évaluée dans la cote d'état de chair. On observe qu'elle s'accompagne d'une motivation accrue d'accéder à des aliments; à titre d'exemple, des moutons à l'état corporel bas marcheront davantage pour obtenir des récompenses alimentaires que les moutons en meilleur état (Verbeek et coll., 2012a). Cette réponse comportementale s'accompagne d'indicateurs de musculature inférieurs, d'une réduction des niveaux de glucose, de leptine, d'insuline et de cortisol plasmatiques, et de concentrations d'acides gras libres plus élevées, comparativement à des brebis ayant une meilleure cote d'état de chair. Les auteurs indiquent que les concentrations de leptine et de glucose seraient des biomarqueurs utiles de la faim chez le mouton (Verbeek et coll., 2012a).

Quand les animaux sont élevés en permanence dans des pâturages ou des parcours naturels, ils risquent de ne pas recevoir de protéines, de calories, de vitamines et de minéraux en quantité adéquate à certaines périodes de l'année. De plus, il leur est parfois nécessaire de parcourir de plus grandes distances et de passer plus de temps à chercher de la nourriture en raison de la pauvreté du pâturage. L'état corporel de certains moutons baisse à certaines périodes de l'année, quand la quantité et la qualité du pâturage diminuent (particulièrement en cas de besoins

énergétiques élevés, par exemple pendant la lactation); ils retrouvent ensuite leur état corporel quand la croissance de l'herbe s'améliore. Chez les ovins, la période où la qualité et la quantité des pâturages sont les plus basses coïncide généralement avec la gestation. Ainsi, on observe une réduction de l'état corporel des brebis gestantes qui restent en hiver dans des pâturages pauvres et cela augmente les risques de mortalité pour les brebis et les agneaux (Cunningham et Russel, 1979; Morgan-Davies et coll., 2008). L'inadéquation de la nutrition pendant la gestation a plusieurs effets, comme la diminution du développement placentaire, de la croissance fœtale et du développement des glandes mammaires et, par conséquent, de la quantité et la qualité du colostrum, et elle influe aussi sur l'expression du comportement maternel et le développement de l'agneau (Dwyer, 2003; Dwyer et coll., 2003).

Des phénomènes météorologiques, comme une sécheresse, une inondation ou une neige abondante, peuvent supprimer ou recouvrir l'herbage et éliminer la possibilité de brouter (Kenyon et Cranston, 2017). La sous-nutrition est aussi causée par des modifications des aliments disponibles ou de leur quantité (par exemple au cours d'une saison), si le besoin de supplémentation alimentaire n'est pas connu ou si cette dernière ne peut pas être fournie pour des raisons pratiques, ou encore si elle est évitée en raison de contraintes budgétaires. En cas de besoins énergétiques accrus dus à des facteurs comme la lactation, la gestation et la perte de chaleur dans l'environnement, l'animal ne peut pas toujours satisfaire ses besoins par l'augmentation de sa consommation alimentaire.

Les conséquences d'une période de restriction alimentaire sont plus grandes en période de gestation ou de lactation et en cas de faibles niveaux de réserves dans l'organisme. Quand les brebis gestantes en élevage extensif sont exposées à des températures basses et qu'elles ne reçoivent pas de suppléments adéquats, elles doivent mobiliser leurs réserves lipidiques et protéiques. Les moutons exposés au froid qui ont un accès à volonté à de la nourriture en consomment plus pour augmenter leur taux métabolique. Cependant, les brebis à l'état corporel bas sont déjà fragilisées quand elles sont exposées au froid et elles possèdent une capacité réduite de réponse et d'adaptation aux difficultés du froid (Verbeek et coll., 2012b). En cas d'apport protéique et énergétique limité pendant une période prolongée, l'animal redistribue les ressources réduites en donnant la priorité aux besoins de maintien. Les signes possibles d'une sous-nutrition sont une perte de poids corporel et de cote de chair chez les animaux adultes et une mauvaise croissance chez les jeunes.

La toxémie de gestation ovine peut se produire vers la fin de la gestation, quand l'apport en nutriments ne fournit pas suffisamment d'énergie pour répondre aux besoins de plusieurs fœtus. Les raisons sont multiples : période de consommation alimentaire réduite ou de consommation d'aliments de qualité faible et diminution de la capacité ruminale causée par l'excès de graisse intra-abdominale ou par la taille de l'utérus. Cela entraîne la mobilisation des réserves lipidiques de l'organisme; la production de corps cétoniques devient alors trop rapide pour qu'ils soient métabolisables. On peut aussi observer le développement d'une acidose métabolique, d'une hypoglycémie et d'une urémie. Par ailleurs, un mauvais état corporel peut réduire les réserves énergétiques du corps et augmente le risque de maladie. Les signes cliniques sont notamment l'anorexie, une réactivité diminuée, des signes nerveux, une faiblesse, un décubitus et la mort (Mongini et Van Saun, 2023).

Tout apport de suppléments en complément du pâturage nécessite de la main-d'œuvre pour que la supplémentation soit distribuée à tous les animaux. À certaines périodes de l'année, après une neige abondante, par exemple, la supplémentation peut être retardée. Les aliments suppléments sont distribuables sous forme de blocs, de pierres à lécher, par remorques distributrices, par distributeurs de foin ou dans les mangeoires.

5.2.4.2 Inanition

Le terme « inanition » sert généralement à décrire une situation normalement involontaire, où l'animal n'a pas accès aux nutriments essentiels pendant plus d'un jour (ou moins pour les agneaux nouveau-nés), ce qui entraîne une perte d'état corporel.

Plusieurs situations peuvent mener à l'inanition, notamment :

- la non-croissance des plantes causée par la saison ou des conditions météorologiques défavorables;
- des conditions météorologiques défavorables et des catastrophes naturelles;
- la négligence;
- le manque de connaissances nutritionnelles de la part de l'éleveur ou l'éleveuse;
- des ressources financières insuffisantes pour l'acquisition d'aliments;
- la détérioration de l'état du sol limitant la capacité des animaux à marcher pour accéder à la nourriture;
- des problèmes de santé réduisant l'appétit, la capacité à ingérer les aliments ou à marcher pour y accéder;
- l'absence d'eau potable ou un accès restreint à l'eau potable.

Les réponses des ovins en cas de limitation grave de la nourriture disponible sont multiples. Ils réagissent notamment :

- en augmentant la quête de nourriture et, si possible, en se déplaçant vers des environnements où l'alimentation n'est pas limitée;
- en stockant des lipides dans leurs tissus pendant les périodes d'abondance, qu'ils utiliseront quand les aliments disponibles sont réduits;
- en adaptant leur métabolisme pour redistribuer l'utilisation des calories aux fins de croissance et de reproduction;
- en réduisant les dépenses énergétiques totales, par exemple en diminuant leur activité ou leur taux métabolique basal;
- en mobilisant de façon différentielle les réserves énergétiques de leur organisme;
- en adaptant des points de référence physiologiques pour permettre des perturbations de l'homéostasie, par exemple en permettant à la température corporelle de baisser (McCue, 2012).

La capacité de réponse à une période d'inanition dépend de la capacité de l'animal à stocker de l'énergie quand la nourriture est disponible et à utiliser efficacement l'énergie pour maintenir les

fonctions essentielles en cas de restriction alimentaire (Wang et coll., 2006). La capacité du mouton à répondre à l'inanition (c'est-à-dire sa durée de survie) augmente quand (a) la masse corporelle et l'état d'engraissement sont élevés au début de la période de jeûne, (b) qu'il dispose d'eau, (c) que les demandes énergétiques n'augmentent pas aux fins de la gestation, de la lactation et de l'homéostasie thermique, (d) et qu'il est en bonne santé au début de la restriction alimentaire.

5.2.5 Plantes toxiques

Certaines plantes sont toxiques ou vénéneuses pour les moutons, car elles contiennent ou produisent des substances susceptibles de provoquer des maladies, la mort ou des états malades. Certaines sont appétentes, mais même dans le cas contraire, elles peuvent être abondantes et, si l'espèce préférée par le mouton a été broutée, elles posent un risque accru. Pendant les périodes de croissance restreinte de l'herbe (par exemple en cas de sécheresse), les moutons sont plus susceptibles de manger des plantes toxiques qu'ils évitent en temps normal. Une des causes les plus courantes d'intoxication du bétail par une plante est la consommation de végétaux contenant des alcaloïdes pyrrolizidiniques, qui peuvent causer un dépérissement et la mort (Molin et coll., 2021). Généralement, ces plantes ne sont pas appétentes pour le mouton, mais il peut en consommer si les autres sources alimentaires sont rares ou si elles contaminent le foin ou les fourrages conservés. Les moutons sont assez résistants à cette forme d'intoxication, car le rumen peut détoxifier les composantes, mais une intoxication est possible si la quantité ingérée est importante (Molin et coll., 2021).

La toxicopathie est parfois aiguë et elle peut mener à la mort. Elle est généralement facile à identifier. En revanche, la toxicité chronique subclinique, qui peut nuire au bien-être et à la production, se détecte plus difficilement. Les moutons apprennent à éviter les plantes toxiques par des moyens comportementaux quand ils broutent avec leur mère (Provenza et coll., 2003) ou après avoir subi les conséquences de l'ingestion de plantes toxiques (Catanese et coll., 2016). Par ailleurs, les ruminants peuvent apprendre les vertus médicinales de certaines plantes (comme celles aux propriétés antiparasitaires), même si ces plantes peuvent contenir des toxines (Distel et Villalba, 2018). Quand les animaux ont la possibilité de sélectionner les plantes et d'éviter les plantes toxiques, leur exposition à une toxicopathie peut être limitée par ces mécanismes comportementaux à long terme. Les animaux courent le risque le plus grand quand les autres aliments sont limités et que leurs choix alimentaires sont contraints.

5.2.6 Approvisionnement en eau d'abreuvement

Parfois, la disponibilité d'eau potable constitue un problème dans les systèmes extensifs. Les moutons peuvent avoir accès à des sources d'eau naturelles, comme des cours d'eau, des lacs et des sources. Dans le cas contraire, l'eau doit être fournie à partir de citernes, de puits, de canalisations ou d'autres dispositifs d'approvisionnement en eau. Il arrive que les moutons doivent parcourir une distance considérable pour atteindre une source d'eau potable. On suppose parfois que les moutons peuvent s'hydrater suffisamment à partir de la consommation de plantes, mais cette hypothèse n'est pas étayée par des données probantes, selon lesquelles les moutons boivent quotidiennement si de l'eau potable est fournie, même s'ils sont au pâturage. Dans un pâturage sec en été, des moutons mérinos boivent 1,37 litre d'eau par jour, avec une consommation maximale les jours les plus chauds (McGregor, 1986). La quantité d'eau absorbée

diminue par temps froid et dans des pâturages verts. D'après une étude réalisée en Afrique du Sud, les moutons logés en bergerie boivent entre 2,2 (moutons adaptés au désert, Persans à tête noire) et 5,4 (moutons mérinos) litres d'eau par jour (Schoeman et Visser, 1995), les agnelles mérinos buvant 3,05 litres par kilogramme d'aliment consommé. De même, au Brésil, des agneaux âgés de trois mois boivent en moyenne 3,15 litres d'eau par jour (de Freitas et coll., 2021). Ainsi, bien que les moutons au pâturage puissent substituer une partie de leur apport en eau par la consommation de fourrages verts, cela ne remplace pas complètement le fait de s'abreuver librement à une source d'eau.

Dans les parcours semi-arides et arides, la fréquence à laquelle les moutons s'abreuvent peut baisser quand la qualité du pâturage diminue en raison de la sécheresse. C'est souvent le moment où les moutons ont des besoins hydriques plus grands en raison des températures plus élevées. La nécessité de s'éloigner des points d'eau pour brouter augmente la distance quotidienne que les moutons doivent parcourir, ce qui réduit la fréquence de l'abreuvement. Quand la fréquence d'abreuvement diminue, la prise alimentaire et le poids corporel baissent aussi. Les besoins hydriques des animaux des élevages extensifs peuvent aussi dépendre de la teneur en eau et en sel du fourrage et de leur état physiologique; en effet, les brebis en période de lactation ont des besoins en eau plus élevés que les autres moutons.

En hiver, l'eau risque de geler. Les dispositifs de fourniture d'eau doivent être vérifiés régulièrement, la fréquence dépendant de la capacité en eau, des conditions météorologiques et des besoins des moutons. Dans certains lieux, les moutons ne reçoivent pas d'eau en hiver et dépendent de la neige fraîche pour s'abreuver (voir Cockram et coll., 2012, pour une description des implications de la neige utilisée comme source d'eau sur le bien-être des moutons).

5.2.7 Sécheresse et catastrophes naturelles

Les préoccupations relatives au stress thermique et les conséquences de longues périodes sans précipitations sont croissantes, en raison des changements climatiques. Bien que le stress thermique concerne aussi bien les moutons en bergerie que ceux au pâturage, le manque d'eau est particulièrement important pour les animaux des systèmes extensifs, particulièrement si la teneur en eau des fourrages diminue aussi, ce qui augmente le besoin d'abreuvement des moutons. Une sécheresse est une pénurie d'eau prolongée. Elles sont régulières dans les milieux arides et semi-arides, où elles constituent un phénomène saisonnier normal. La sécheresse peut aussi avoir lieu quand les précipitations sont en dessous des normales, et sa gravité croît quand elle s'accompagne de températures élevées. Par temps chaud, l'évapotranspiration (assèchement dû au rayonnement solaire) peut faire baisser l'humidité du sol à une vitesse trop grande pour qu'elle soit compensée par les précipitations. Pendant les sécheresses et les périodes chaudes ou sèches, les sources d'eau peuvent s'assécher.

Pendant une sécheresse, la réduction de la teneur en eau du sol limite la croissance normale de l'herbe nécessaire au bétail. Le pâturage produit alors moins de matière sèche et la valeur alimentaire des plantes diminue. Il faut parfois fournir une supplémentation pour réduire la mortalité causée par l'inanition et la déshydratation.

Les sécheresses pluriannuelles ont des conséquences graves sur la disponibilité des fourrages et le coût des suppléments alimentaires. Elles peuvent entraîner des dommages dus au broutage, la

diminution du couvert végétal et l'érosion des sols. Les graminées vivaces ont besoin d'une surface foliaire suffisante après avoir été broutées pour se rétablir et croître de nouveau quand les conditions s'améliorent. Les mesures d'atténuation possibles sont limitées; il peut s'agir notamment d'augmenter les capacités d'approvisionnement et de stockage de l'eau, les infrastructures d'irrigation et d'eau potable, l'utilisation de plantes plus tolérantes à la sécheresse et au broutage, l'utilisation de races adaptées aux régions arides, les réserves de terres de pâturage ainsi que les fourrages conservés et de réduire le nombre de moutons (NSW Government, 2023).

D'autres phénomènes mettent en péril le bien-être des animaux en réduisant la quantité et la qualité des aliments disponibles, comme les inondations, les périodes prolongées de températures froides ou chaudes, et les feux de brousse.

5.3 Systèmes de surveillance et d'alerte précoce

Dans les élevages très extensifs, il peut être difficile de surveiller les moutons, et même de les voir, régulièrement, mais l'observation de près ou le contact avec les moutons est parfois difficile aussi dans les pâturages clôturés, si les moutons ne sont pas habitués aux contacts avec les humains et qu'ils expriment des réponses de crainte et de fuite. En cas de faible surveillance, il se peut que certains problèmes de santé et de bien-être ne soient pas observés ni diagnostiqués ou traités en temps opportun. Une étude s'appuyant sur la méthode Delphi concernant les problèmes de bien-être des animaux d'élevage indique que les traitements non réalisés en temps voulu sont une des préoccupations les plus importantes pour le bien-être des moutons (Rioja-Lang et coll., 2020). Même quand les moutons sont logés en bergerie, il peut être précieux de détecter les premiers signes de maladie ou de bien-être insuffisant avant le tableau clinique apparent, pour diminuer la propagation des maladies et éviter les souffrances. Les changements de comportement ou de poids peuvent être subtils au début et ils ne sont pas facilement observables par les producteurs et productrices jusqu'à ce qu'ils soient marqués. C'est pourquoi une attention croissante est accordée à la possibilité de tirer parti du développement de la technologie des capteurs, de l'analyse d'images et de l'apprentissage automatique ou de l'intelligence artificielle à des fins de gestion du bien-être, car ils permettraient de mieux détecter des modes de réponse et de petits changements d'état ou d'activité (Fogarty et coll., 2023; Morgan-Davies et coll., 2024). Ces moyens présentent indéniablement des avantages, étant donné qu'ils peuvent fournir des évaluations continues au lieu d'une observation ponctuelle, mais aussi des renseignements sans nécessiter de présence humaine, et qu'ils seraient moins susceptibles d'interprétation subjective que l'observation et la notation réalisées par des humains. Toutefois, ces technologies sont peu développées pour le secteur ovin et en sont encore au tout début de leur mise au point. De plus, peu de méthodes technologiques d'évaluation du bien-être ont été soumises à une validation externe, y compris pour les espèces les plus étudiées (7 % environ, selon l'examen des méthodes visant les cochons de Gómez et coll., 2021; et 14 % chez les bovins laitiers, selon une étude de Stygar et coll., 2021). La complexité biologique et la variabilité des moutons sont trop grandes pour que les préposés soient entièrement remplacés par la technologie. Par ailleurs, le risque existe que les préposés se fient excessivement aux capteurs et ne tiennent pas suffisamment compte des problèmes non détectables par les capteurs (Cornou, 2009; Tuytens et coll., 2022).

Pour les moutons en élevage intensif/logés en bergerie, plusieurs méthodes potentielles d'évaluation du bien-être sont proposées; elles consistent principalement en capteurs qui ne sont

pas placés sur l'animal (non portables). Ces capteurs ou caméras sont fixés sur le passage supposé des moutons pour évaluer les modifications de leur comportement ou de leur état, notamment de leur poids (Caja et coll., 2020). Des balances sont ainsi posées au sol et les animaux sont pesés plusieurs fois par jour quand ils passent sur le plateau de pesage pour accéder à l'eau ou aux aliments (González-García et coll., 2018; 2021); elles peuvent estimer précisément et enregistrer les changements de gain ou de perte de poids, susceptibles d'être des indicateurs de maladie. Les mesures de chaque animal prises dans les salles de traite des ovins laitiers permettent d'évaluer les changements comportementaux, comme l'ordre d'entrée volontaire dans la salle (Wasilewski, 1999) et la variation individuelle de rendement laitier. Par ailleurs, un système de fusion des capteurs assurant le suivi du comportement et de la position de chaque mouton dans la bergerie a été mis au point (Ren et coll., 2020) à des fins de recherche.

D'autres capteurs, qui ne servent pas directement à mesurer le bien-être des animaux, sont utilisés pour alerter en cas de changement de la qualité de l'air (García-Ramos et coll., 2018), de la température et de l'humidité (Ciliberti et coll., 2025), susceptible d'influer sur le risque de maladie respiratoire ou de stress thermique chez les moutons logés en bergerie.

Chez les moutons en élevage extensif, les études portent le plus souvent sur les capteurs portables aux fins de surveillance du bien-être, bien que des plateaux de pesage sur lesquels les moutons passent soient installés aussi dans les systèmes extérieurs. Les capteurs visent différents objectifs, mais ils servent principalement à évaluer les mouvements des animaux, leur comportement et leur proximité (les uns par rapport aux autres ou par rapport aux divers éléments ou ressources) au moyen d'accéléromètres (Ikurior et coll., 2021), du système mondial de navigation par satellite (GNSS) (Keshavarzi et coll., 2021) et de balises de proximité (Walker et coll., 2024; Broster et coll., 2010), ainsi que par des méthodes pour contraindre les animaux dans un lieu donné (clôture virtuelle, voir Marini et coll., 2018). De plus, des bolus à demeure servent à mesurer le stress thermique, l'acidose ruminale et la fonction reproductive (Lewis Baida et coll., 2021).

Depuis des années, des stations météorologiques servent à caractériser les conditions environnementales auxquelles sont exposés les moutons. De nouvelles méthodes permettent désormais d'obtenir des données au niveau du microclimat, ce qui peut aider à évaluer certains aspects de la disponibilité de pâturage et les variations locales de température dans les endroits ombragés et abrités. On peut conjuguer ces renseignements à une autre technologie (par exemple accéléromètres, capteurs de proximité, GNSS) pour comprendre leurs effets sur l'utilisation de l'environnement par les moutons (Masters et coll., 2023). Il serait ainsi possible d'améliorer le bien-être des ovins à l'avenir en faisant mieux correspondre les conditions environnementales aux besoins des moutons selon le moment de l'année.

Malgré les perspectives de développement considérables en la matière, il faut souligner qu'un très petit nombre de ces capteurs est mis sur le marché pour des applications relatives au bien-être du mouton et que peu d'entre eux ont reçu une validation externe. Toutefois, le potentiel de croissance et de progrès dans ce domaine semble prometteur pour la surveillance des moutons.

5.4 Références

- Aguayo-Ulloa L.A., Villarroel M., Pascal-Alonso M., Miranda-de la Lama G.C. et Maria G.A. (2014) Finishing feedlot lambs in enriched pens using feeder ramps and straw and its influence on behavior and physiological welfare indicators. *Journal of Veterinary Behaviour*, vol. 9, p. 347-356.
- Angell J.W., Grove-White D.H. et Duncan J.S. (2015) Sheep and farm level factors associated with contagious ovine digital dermatitis: A longitudinal repeated cross-sectional study of sheep on six farms. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 122, p. 107-120.
<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.09.016>.
- Arnold G.W. et Maller R.A. (1974) Some aspects of competition between sheep for supplementary feed. *Animal Science*, vol. 19, n° 3, p. 309-319.
<https://doi.org/10.1017/S0003356100022881>.
- Averós X., Lorea A., de Heredia I.B., Arranz J., Ruiz, R. et Estevez I. (2014a) Space availability in confined sheep during pregnancy, effects in movement patterns and use of space. *PLoS ONE*, vol. 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094767>.
- Averós X., Lorea A., de Heredia I.B., Ruiz R., Marchewka J., Arranz J. et Estevez I. (2014b) The behaviour of gestating dairy ewes under different space allowances. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 150, p. 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.11.002>.
- Averós X., Marchewka J., de Heredia I.B., Zanella A.J., Ruiz R. et Estevez I. (2015) Space allowance during gestation and early maternal separation: Effects on the fear response and social motivation of lambs. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 163, p. 98-109.
- Barnard S., Matthews L.R., Messori S., Vulpiani M.P. et Ferri N. (2015) Behavioural reactivity of ewe and lambs to total and partial separation. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 163, p. 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.11.016>.
- de Freitas A.C.B., Bartholazzi Jr. A., Quirino C.R. et Dias da Costa R.L. (2021) Water and food utilisation efficiencies in sheep and their relationship with some production traits. *Small Ruminant Research*, vol. 187, p. 106334. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106334>.
- Bøe K.E., Berg S. et Andersen I.L. (2006) Resting behaviour and displacements in ewes-effects of reduced lying space and pen shape. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 98, p. 249-259.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.10.001>.
- Boissy A. et Dumont B. (2002) Interactions between social and feeding motivations on the grazing behaviour of herbivores: Sheep more easily split into subgroups with familiar peers. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 79, p. 233-245. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00152-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00152-1).
- Broster J.C., Dehaan R.L., Swain D.L. et Friend M.A. (2010) Ewe and lamb contact at lambing is influenced by both shelter type and birth number. *Animal*, vol. 4, p. 796-803.
- Caja G., Castro-Costa A., Salama A.A.K., Oliver J., Baratta M., Ferrer C. et Knight C. H. (2020) Sensing solutions for improving the performance, health and wellbeing of small ruminants. *Journal of Dairy Research*, vol. 87, p. 34-36.

Caroprese M., Annicchiarico G., Schena L., Muscio A., Migliore R. et Sevi A. (2009) Influence of space allowance and housing conditions on the welfare, immune response and production performance of dairy ewes. *Journal of Dairy Research*, vol. 76, p. 66-73.
<https://doi.org/10.1017/S0022029908003683>.

Carvalho P.C.F. (2013) Can grazing behaviour support innovations in grassland management? *Animal-Plant Interactions. 2013 Proceedings of the 22nd International Grassland Congress*, p. 1134-1148.

Catanese F., Fernández P., Villalba J.J. et Distel R.A. (2016) The physiological consequences of ingesting a toxic plant (*Diplotaxis tenuifolia*) influence the subsequent foraging decisions of sheep (*Ovis aries*). *Physiology & Behavior*, vol. 167, p. 238-247.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.09.009>.

Cave L.M., Kenyon P.R., Morris S.T., Lopez-Vollalobos N. et Kemp P.D. (2015) Ewe lamb diet selection on plantain (*Plantago lanceolata*) and on a herb and legume mix, including plantain, chicory (*Cichorium intybus*), red clover (*Trifolium pratense*) and white clover (*Trifolium repens*). *Animal Production Science*, vol. 55, p. 515-525.

Ciliberti M.G., Albenzio M. et Sevi A. (2025) From sensors to sustainability: Integrating welfare, management, and climate resilience in small ruminant farm systems. *Animals*, vol. 15, p. 3240. <https://doi.org/10.3390/ani15223240>.

Clayton E.H., Farley A.-M., Tyndall P., Lowrie R., Xu B. et Norton M.R. (2025) Mixed annual forage species for growing lambs – average daily gain and rumen efficiency compared to a single species cereal. *Animal Production Science*, vol. 65, p. AN25158.
<https://doi.org/10.1071/AN25158>.

Chapman D.F., Parsons A.J., Cosgrove G.P., Barker D.J., Marotti D.M., Venning K.J., Rutter S.M., Hill J. et Thompson A.N. (2007) Impacts of spatial patterns in pasture on animal grazing behavior, intake, and performance. *Crop Science*, vol. 47, p. 399-415.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2006.01.0036>.

Cockram M.S., Menzies P., Barrett D. et Hemsted J. (2012) *Code de pratiques applicable aux soins et à la manipulation des moutons : Revue des études scientifiques relatives aux questions prioritaires*. Conseil national pour les soins aux animaux d'élevage (CNSAE). Disponible à l'adresse : https://www.nfacc.ca/resources/codes-of-practice/sheep/moutons_rapport_cs_oct_2012.pdf.

Cornou C. (2009) Automation systems for farm animals: Potential impacts on the human-animal relationship and on animal welfare. *Anthrozoös*, vol. 22, p. 213-220.
<https://doi.org/10.2752/175303709X457568>.

Cranston L.M., Kenyon P.R., Morris S.T. et Kemp P.D. (2015) A review of the use of chicory, plantain, red clover and white clover in a sward mix for increased sheep and beef production. *Journal of New Zealand Grasslands*, vol. 79, p. 2017. <https://doi.org/10.33584/jnzg.2015.77.475>.

Cuchillo-Hilario M., Wrage-Mönnig N. et Isselstein J. (2017) Forage selectivity by cattle and sheep co-grazing swards differing in plant species diversity. *Grass and Forage Science*, vol. 73, p. 320-329. <https://doi.org/10.1111/gfs.12339>.

Cunningham J.M.M. et Russel A.J.F. (1979) The technical development of sheep production from hill land in Great Britain. *Livestock Production Science*, vol. 6, p. 379-385.

[https://doi.org/10.1016/0301-6226\(79\)90005-8](https://doi.org/10.1016/0301-6226(79)90005-8).

da Silveira J.C.A., Fonsêca V.F.C., Furtado D.A., dos Santos S.G.C.G., da Silva J.A., Pimenta E.C., Saraiva E.P. et de Medeiros A.N. (2018) Available space in feeders for housed sheep: Social behavior and performance. *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 47.

Distel R.A. et Villalba J.J. (2018) Use of unpalatable forages by ruminants: The influence of experience with the biophysical and social environment. *Animals*, vol. 8, p. 56.

<https://doi.org/10.3390/ani8040056>.

Done-Currie J.R., Hecker J.F. et Wodzicka-Tomaszewska M. (1984) Behaviour of sheep transferred from pasture to an animal house. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 12, p. 121-130. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(84\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0168-1591(84)90102-3).

Dumont B. et Boissy A. (2000) Grazing behaviour of a sheep in a situation of conflict between feeding and social motivations. *Behavioral Processes*, vol. 49, p. 131-138.

[https://doi.org/10.1016/S0376-6357\(00\)00082-6](https://doi.org/10.1016/S0376-6357(00)00082-6).

Dwyer C.M. (2003) Behavioural development in the neonatal lamb: Effect of maternal and birth-related factors. *Theriogenology*, vol. 59, p. 1027-1050. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01137-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01137-8).

Dwyer C.M., Lawrence A.B., Bishop S.C. et Lewis M. (2003) Ewe-lamb bonding behaviours at birth are affected by maternal undernutrition in pregnancy. *British Journal of Nutrition*, vol. 89, n° 1, p. 123-136. <https://doi.org/10.1079/BJN2002743>.

Faerevik G., Andersen I.L. et Bøe K.E. (2005) Preferences of sheep for different types of pen flooring. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 90, p. 265-276.

Fisher A. et Matthews L. (2001) The social behaviour of sheep. *Social Behaviour in Farm Animals*, p. 211-245.

Fogarty, E.S., Evans C.A., Trotter M.G. et Manning J.K. (2023) Sensor-based detection of a *Haemonchus contortus* (Barber's pole worm) infection in sheep. *Smart Agricultural Technology*, vol. 3, p. 100112.

Fordham D.P., Al-Gahtani S., Durotoye L.A. et Rodway R.G. (1991) Changes in plasma cortisol and β -endorphin concentrations and behaviour in sheep subjected to a change of environment. *Animal Production*, vol. 52, p. 287-296. <https://doi.org/10.1017/S0003356100012794>.

García-Ramos F.J., Aguirre A.J., Barreiro P., Horcas E., Boné A. et Vidal M. (2018) Applicability of ammonia sensors for controlling environmental parameters in accommodations for lamb fattening. *Journal of Sensors*, vol. 1, p. 4032043. <https://doi.org/10.1155/2018/4032043>.

Gelasakis A.I., Kalogianni A.I. et Bossis I. (2019) Aetiology, risk factors, diagnosis and control of foot-related lameness in dairy sheep. *Animals*, vol. 9. <https://doi.org/10.3390/ani9080509>.

Gómez Y., Stygar A.H., Boumans I.J.M.M., Bokkers E.A.M., Pedersen L.J., Niemi J.K., Pastell M., Manteca X. et Llonch P. (2021) A systematic review on validated precision livestock

farming technologies for pig production and its potential to assess animal welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 8, p. 660565.

Gonyou H.W., Stookey J.M. et McNeal L.G. (1985) Effects of double decking and space allowance on the performance and behavior of feeder lambs. *Journal of Animal Science*, vol. 60, p. 1110-1116. <https://doi.org/10.2527/jas1985.6051110x>.

González M., Averós X., de Heredia I.B., Ruiz R., Arranz J. et Estevez I. (2013) The effect of social buffering on fear responses in sheep (*Ovis aries*). *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 149, p. 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.09.011>.

González-García E., Alhamada M., Pradel J., Douls S., Parisot S., Bocquier F., Menassol J.B., Llach I. et González L.A. (2018) A mobile and automated walk-over-weighing system for a close and remote monitoring of liveweight in sheep. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 153, p. 226-238.

González-García, E., Alhamada M., Nascimento H., Portes D., Bonnafe G., Allain C., Llach I., Hassoun L.A. P., Gautier J.M. et Parisot S. (2021) Measuring liveweight changes in lactating dairy ewes with an automated walk-over-weighing system. *Journal of Dairy Science*, vol. 104, p. 5675-5688.

Gregory N.G. (1995) The role of shelterbelts in protecting livestock: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, vol. 38, p. 423-450. <https://doi.org/10.1080/00288233.1995.9513146>.

Guesdon V., Meurisse M., Chesneau D., Picard S., Lévy F. et Chaillou E. (2015) Behavioural and endocrine evaluation of the stressfulness of single-pen housing compared to group-housing and social isolation conditions. *Physiology & Behavior*, vol. 147, p. 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.04.013>.

Hargreaves A.L. et Hutson G.D. (1990a) An evaluation of the contribution of isolation, up-ending and wool removal to the stress response to shearing. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 26, p. 103-113.

Hargreaves A.L. et Hutson G.D. (1990b) The stress response in sheep during routine handling procedures. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 26, p. 83-90.

Hogan J. et Phillips C. (2008) Nutrition and the welfare of ruminants. *Annual Review of Biomedical Sciences*, vol. 10. <https://doi.org/10.5016/1806-8774.2008.v10pT33>.

Hornick J.L., Van Eenaeme C., Gérard O., Dufrasne I. et Istasse L. (2000) Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domestic Animal Endocrinology*, vol. 19, p. 121-132. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(00\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(00)00072-2).

Ikurior S.J., Marquetoux N., Leu S.T., Corner-Thomas R.A., Scott I. et Pomroy W.E. (2021) What are sheep doing? Tri-axial accelerometer sensor data identify the diel activity patterns of ewe lambs at pasture. *Sensors*, vol. 21, p. 6816. <https://doi.org/10.3390/s21206816>.

Jongman E.C., Rice M., Campbell A.J.D., Butler K.L. et Hemsworth P.H. (2017) The effect of trough space and floor space on feeding and welfare of lambs in an intensive finishing system.

Applied Animal Behaviour Science, vol. 186, p. 16-21.

<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.10.015>.

Jørgensen G.H.M., Andersen I.L., Berg S., et Bøe K.E. (2009) Feeding, resting and social behaviour in ewes housed in two different group sizes. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 116, p. 198-203.

Kampherbeek, E.W., Webb L.E., Reynolds B.J., Sistla S.A., Horney M.R., Ripoll-Bosch R., Dubowsky J.P. et McFarlane Z.D. (2023) A preliminary investigation of the effect of solar panels and rotation frequency on the grazing behaviour of sheep (*Ovis aries*) grazing dormant pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 258, p. 105799.

Kendrick K.M., da Costa A.P., Leigh A.E., Hinton M.R. et Peirce J.W. (2001) Sheep don't forget a face. *Nature*, vol. 414, p. 165-166.

Kenyon P.R. et Cranston L.M. (2017) « Nutritional management » dans *Advances in Sheep Welfare*. Ferguson D., Lee C. et Fisher A. (dir.). p. 153-175.

Kesharvarzi H., Lee C., Johnson M., Abbott D., Ni W. et Campbell D.L.M. (2021) Validation of Real Time Kinematics (RTK) devices on sheep to detect grazing movement leaders and social networks in Merino ewes. *Sensors*, vol. 21, p. 924. <https://doi.org/10.3390/s21030924>.

Lauber M., Nash J.A., Gatt A. et Hemsworth P.H. (2012) Prevalence and incidence of abnormal behaviours in individually housed sheep. *Animals*, vol. 2, n° 1, p. 27-37. <https://doi.org/10.3390/ani2010027>.

Lawrence A.B. et Wood-Gush D.G.M. (1988) Home-range behaviour and social organization of Scottish blackface sheep. *Journal of Applied Ecology*, vol. 25, p. 25-40.

Lewis Baida B.E., Swinborne A.M., Barwick J., Leu S.T. et van Wettere W.H.E. (2021) Technologies for the automated collection of heat stress data in sheep. *Animal Biometry*, vol. 9, p. 4. <https://doi.org/10.1186/s40317-020-00225-9>.

Lv S.-J., Tang Y., Dwyer C.M. et Li F.-K. (2015) Pen size and parity effects on maternal behaviour in Small Tain-Han sheep. *Animal*, vol. 9, p. 1195-1202. <https://doi.org/10.1017/S175173111500052X>.

Marini D., Llewellyn R., Belson S. et Lee C. (2018) Controlling within-field sheep movement using virtual fencing. *Animals*, vol. 8, n° 3, p. 31. <https://doi.org/10.3390/ani8030031>.

Masters D.G., Blache D., Lockwood A.L., Maloney S.K., Norman H.C., Refshauge G. et Hancock S.N. (2023) Shelter and shade for grazing sheep: Implications for animal welfare and production and for landscape health. *Animal Production Science*, vol. 63, p. 623-644. <https://doi.org/10.1071/AN22225>.

McBride G., Arnold G.W., Alexander G. et Lynch J.J. (1967) Ecological aspects of the behaviour of domestic animals. *Proceedings of the Ecological Society of Australia*, vol. 2, p. 133-165.

McCue M.D. (2012) « An introduction to fasting, starvation, and food limitation » dans *Comparative Physiology of Fasting, Starvation, and Food Limitation*. McCue M.D. (dir.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 1-5.

- McGregor B.A. (1986) Water intake of grazing Angora wether goats and Merino wether sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 26, p. 639-642. <https://doi.org/10.1071/EA9860639>.
- Mezzalana J.C., Carvalho P.C.D., Fonseca L., Bremm C., Cangiano C., Gonda H.L. et Laca E.A. (2014) Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 153, p. 1-9.
- Molin J., Mendonca F.S., Henderson E.E., Nyaoke A.C., Ramirez G.A., Navarro M.A., Uzal F.A. et Asin J. (2021) Toxic wasting disorders in sheep. *Animals*, vol. 11, p. 229. <https://doi.org/10.3390/ani11010229>.
- Mongini A. et Van Saun R.J. (2023) Pregnancy toxemia in sheep and goats. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, vol. 39, p. 275-291. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2023.02.010>.
- Morgan-Davies C., Tesnière G., Gautier J.M., Jørgensen G.H.M., González-García E., Patsios S.I., Sossidu E.N., Keady T.W.J., McClearn B., Kenyon F., Caja G., Grøva L., Decandia M., Csiszter L., Halachmi I. et Dwyer C.M. (2024) Review: Exploring the use of precision livestock farming for small ruminant welfare management. *Animal*, vol. 18, p. 101233.
- Morgan-Davies C., Waterhouse A., Pollock M.L. et Milner J.M. (2008) Body condition score as an indicator of ewe survival under extensive conditions. *Animal Welfare*, vol. 17, p. 71-77.
- Muir S.K., Linden N., Knight M., Behrendt R. et Kearney G. (2018) Sheep residual feed intake and feeding behaviour: Are ‘nibblers’ or ‘binge eaters’ more efficient? *Animal Production Science*, vol. 58, p. 1459-1464. <https://doi.org/10.1071/AN17770>.
- Neave H.W., Weary D.M., von Keyserlingk M.A.G. (2018) Review: Individual variation in feeding behaviour of domesticated ruminants. *Animal*, vol. 12, p. s419-s430.
- Niderkorn V., Martin C., Bernard M., Le Morvan A., Rochette Y. et Baumont, R. (2019). Effect of increasing the proportion of chicory in forage-based diets on intake and digestion by sheep. *Animal*, vol. 13, p. 718-726. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002185>.
- Norouzian M.A. (2017) Effect of floor area allowance on behavior and performance of growing lambs. *Journal of Veterinary Behavior*, vol. 19, p. 102-104. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2017.03.002>.
- NSW Government (2023) *Managing drought, fire and flood. A guide for NSW primary producers*. NSW Government, Australia. Disponible à l'adresse : https://www.droughthub.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0009/1501848/NSW-Gov-Managing-drought-fire-and-flood.pdf.
- Orihuela A., Averós X., Solano J., Clemente N. et Estevez I. (2016) Effect of available space and previous contact in the social integration of Saint Croix and Suffolk ewes. *Journal of Animal Science*, vol. 94, p. 1238-1249. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9879>.
- Papanastasiou D.K., Fidaros D., Bartzanas T. et Kittas C. (2011) Monitoring particulate matter levels and climate conditions in a Greek sheep and goat livestock building. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 183, p. 285-296. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-1921-1>.

- Parés R., Llonch P., Such X. et Manteca X. (2023) Wool-pulling behaviour appears in a production system with grazing restriction and can be assessed through wool inspection. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 269, p. 106109. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.106109>.
- Peña-Espinoza M., Valente A.H., Thamsborg S.M., Simonsen H.T., Boas U., Enemark H.L., Lopez-Munoz R. et Williams A.R. (2018) Antiparasitic activity of chicory (*Cichorium intybus*) and its natural bioactive compounds in livestock: A review. *Parasites and Vectors*, vol. 11, p. 475. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3012-4>.
- Petherick J.C. (2007) Spatial requirements of animals: Allometry and beyond. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*, vol. 2, p. 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2007.10.001>.
- Petherick J.C. et Phillips C.J.C. (2009) Space allowances for confined livestock and their determination from allometric principles. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 117, p. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.09.008>.
- Pethick D., Miller C. et Harman N. (1991) Exercise in Merino sheep dash the relationships between work intensity, endurance, anaerobic threshold and glucose metabolism. *Australian Journal of Agricultural Research*, vol. 42, p. 599-620. <https://doi.org/10.1071/AR9910599>.
- Phillips C.J., Pines M.K. et Muller T. (2012a) The avoidance of ammonia by sheep. *Journal of Veterinary Behavior*, vol. 7, p. 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2011.05.027>.
- Phillips C.J.C., Pines M.K., Latter M., Muller T., Petherick J.C., Norman S.T. et Gaughan J.B. (2012b) Physiological and behavioral responses of sheep to gaseous ammonia. *Journal of Animal Science*, vol. 90, p. 1562-1569. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4575>.
- Poindron P. et Schmidt P. (1985) Distance recognition in ewes and lambs kept permanently indoors or at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 13, p. 267-273. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(85\)90050-4](https://doi.org/10.1016/0168-1591(85)90050-4).
- Provenza F.D. et Balph D.F. (1987). Diet learning by domestic ruminants: Theory, evidence and practical implications. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 18, p. 211-232.
- Provenza F.D., Villalba J.J., Dziba L.E., Atwood S.B. et Banner R.E. (2003) Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. *Small Ruminant Research*, vol. 49, p. 257-274.
- Reefmann N., Muehleemann T., Weschler B. et Gygax L. (2012) Housing induced mood modulates reactions to emotional stimuli in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 136, p. 146-155.
- Reid R.L. et Horvath D.J. (1980) Soil chemistry and mineral problems in farm livestock. A review. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 5, p. 95-167. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(80\)90002-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(80)90002-4).
- Ren K., Karlsson J. et Jørgensen G.H.M. (2020) A sensor-fusion system for tracking sheep location and behaviour. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 16, n° 5. <https://doi.org/10.1177/1550147720921776>.

Rice M., Jongman E.C., Borg S., Butler K.L. et Hemsworth P.H. (2016) Characterisation of Shy-feeding and Feeding lambs in the first week in a feedlot. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 179, p. 39-45.

Richmond S.E., Wemelsfelder F., de Heredia I.B., Ruiz R., Canali E. et Dwyer C.M. (2017) Evaluation of animal-based indicators to be used in a welfare assessment protocol for sheep. *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 4, p. 210.

Rioja-Lang F.C., Connor M., Bacon H.J., Lawrence A.B. et Dwyer C.M. (2020) Prioritization of farm animal welfare issues using expert consensus. *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 6.

Rooke J.A., Dwyer C.M. et Ashworth C.J. (2008) The potential for improving physiological, behavioural, and immunological responses in the lamb by trace element and vitamin supplementation. *Animal*, vol. 2, p. 514-524. <https://doi.org/10.1017/S1751731107001255>.

Rutter S.M. (2010) Review: Grazing preferences in sheep and cattle: Implications for production, the environment and animal welfare. *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 90, p. 285-293. <https://doi.org/10.4141/CJAS09119>.

Savian J.V., Schons R.M.T., Mezzalana J.C., Barth Neto A., Da Silva Neto G.F., Benvenutti M.A. et Carvalho P.C.deF. (2020) A comparison of two rotational stocking strategies on the foraging behaviour and herbage intake by grazing sheep. *Animal*, vol. 14, n° 12, p. 2503-2510.

Schoeman S.J. et Visser J.A. (1995) Water intake and consumption in sheep differing in growth potential and efficiency. *South African Journal of Animal Science*, vol. 25, p. 75-79.

Schütz K.E., Saunders L.-R., Huddart F.J., Watson T., Latimer B. et Cox N.R. (2024) Effects of shade on the behaviour and physiology of sheep in a temperate climate. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 272, p. 106185. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106185>.

Sevi A., Massa S., Annicchiarico G., Dell'Aquila S. et Muscio A. (1999) Effect of stocking density on ewes' milk yield, udder health and microenvironment. *Journal of Dairy Research*, vol. 66, p. 489-499. <https://doi.org/10.1017/S0022029999003726>.

Sevi A., Taibi L., Albenzio M., Annicchiarico G. et Muscio A. (2001) Airspace effects on the yield and quality of ewe milk. *Journal of Dairy Science*, vol. 84, p. 2632-2640. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74717-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74717-0).

Sevi A., Taibi L., Albenzio M., Annicchiarico G., Marino R. et Caroprese M. (2003a) Influence of ventilation regimen on micro-environment and on ewe welfare and milk yield in summer. *Italian Journal of Animal Science*, vol. 2, p. 197-212. <https://doi.org/10.4081/ijas.2003.197>.

Sevi A., Taibi L., Albenzio M., Caroprese M., Marino R. et Muscio A. (2003b) Ventilation effects on air quality and on the yield and quality of ewe milk in winter. *Journal of Dairy Science*, vol. 86, p. 3881-3890. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73996-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73996-4).

Sibbald A.M., Oom S.P., Hooper R.J. et Anderson R.M. (2008) Effects of social behaviour on the spatial distribution of sheep grazing a complex vegetation mosaic. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 115, p. 149-159. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.06.007>.

- Simitzis P.E., Deligeorgis S.G., Bizelis J.A., Dardamani A., Theodosiou I. et Fegeros K. (2008) Effect of dietary oregano oil supplementation on lamb meat characteristics. *Meat Science*, vol. 79, p. 217-223. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.09.005>.
- Somasiri S.C., Kenyon P.R., Kemp P.D., Morel P.C.H. et Morris S.T. (2015) Growth performance and carcass characteristics of lambs grazing forage mixes inclusive of plantain (*Plantago lanceolata* L.) and chicory (*Cichorium intybus* L.). *Small Ruminant Research*, vol. 127, p. 20-27.
- Squires V. (1976) Walking, watering and grazing behaviour of Merino sheep on two semiarid rangelands in south-west New South Wales. *The Rangeland Journal*, vol. 1, n° 1, p. 13-23.
- Stephenson E. et Haskell M.J. (2022) The use of a “go/go” cognitive bias task and response to a novel object to assess the effect of housing enrichment in sheep (*Ovis aries*). *Journal of Applied Animal Welfare Science*, vol. 25, p. 62-74. <https://doi.org/10.1080/10888705.2020.1824786>.
- Stubsjøen S.M., Moe R.O., Mejdell C.M., Tømmerberg V., Knappe-Poindecker M., Kampen A.H., Granquist E.G. et Muri K. (2022) Sheep welfare in different housing systems in Norway. *Small Ruminant Research*, vol. 214, p. 106740.
- Stygar A.H., Gómez Y., Berteselli G.V., Costa E.D., Canali E., Niemi J.K., Llonch P. et Pastell M. (2021) A systematic review on commercially available and validated sensor technologies for welfare assessment of dairy cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 8, p. 634338.
- Sutherland M., Dowling S., Shaw R., Hickey J., Fraser D., Camerson C. et Sutherland I. (2019) Stress-induced immunomodulation of Low and High reactive sheep. *Animals*, vol. 9, p. 103. <https://doi.org/10.3390/ani9030104>.
- Suttle N.F. (1991) The interactions between copper, molybdenum, and sulphur in ruminant nutrition. *Annual Review of Nutrition*, vol. 11, p. 121-140. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.11.070191.001005>.
- Swecker W.S. et Thatcher C.D. (1988) The investigation of nutritional disorders. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, vol. 4, p. 127-144. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)31104-X](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)31104-X).
- Taylor P.S., Schrobback P., Verdon M. et Lee C. (2023) An effective environmental enrichment framework for the continual improvement of production animal welfare. *Animal Welfare*, vol. 32, p. e14. <https://doi.org/10.1017/awf.2023.5>.
- Teixeira D.L., Miranda-de la Lama G.C., Villarroel M., Escós J. et Maria G.A. (2014) Lack of straw during finishing affects individual and social lamb behavior. *Journal of Veterinary Behavior*, vol. 9, p. 177-183.
- Tuytens F.A.M., Molento C.F.M. et Benaissa S. (2022) Twelve threats of precision livestock farming (PLF) for animal welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 9, p. 889623.
- Vandenheede M. et Bouissou M.F. (1998) Effects of an enriched environment on subsequent fear reactions of lambs and ewes. *Developmental Psychobiology*, vol. 33, p. 33-45.

Vasseur S., Paull D.R., Atkinson S.J., Colditz I.G. et Fisher A.D. (2006) Effects of dietary fibre and feeding frequency on wool biting and aggressive behaviours in sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 46, p. 777-782. <https://doi.org/10.1071/EA05320>.

Verbeek E., Waas J.R., Oliver M.H., McLeay L.M., Ferguson D.M. et Matthews L.R. (2012a) Motivation to obtain a food reward of pregnant ewes in negative energy balance: Behavioural, metabolic and endocrine considerations. *Hormones and Behavior*, vol. 62, p. 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2012.06.006>.

Verbeek E., Oliver M.H., Waas J.R., McLeay L.M., Blache D. et Matthews L.R. (2012b) Reduced cortisol and metabolic responses of thin ewes to an acute cold challenge in mid-pregnancy: Implications for animal physiology and welfare. *PLoS ONE*, vol. 7, n° 5, p. e37315. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037315>.

Villalba J.J., Manteca X. et Provenza F.D. (2009) Relationship between reluctance to eat novel foods and open field behaviour in sheep. *Physiology & Behavior*, vol. 96, p. 276-281. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.10.010>.

Vik S.G., Øyrehagen O. et Bøe K.E. (2017) Effect of space allowance and flooring on the behavior of pregnant ewes. *Journal of Animal Science*, vol. 95, p. 2032-2040. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1341>.

Waghorn G.C. et Clark D.A. (2004) Feeding value of pastures for ruminants. *New Zealand Veterinary Journal*, vol. 52, p. 320-331. <https://doi.org/10.1080/00480169.2004.36448>.

Walker A.M., Jonsson N.N., Waterhouse A., McDougall H., Kenyon F., McLaren A. et Morgan-Davies C. (2024) Development of a novel Bluetooth Low Energy device for proximity and location monitoring in grazing sheep. *Animal*, vol. 18, p. 101276. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101276>.

Wang T., Hung C.C.Y. et Randall D.J. (2006) The comparative physiology of food deprivation: From feast to famine. *Annual Review of Physiology*, vol. 68, p. 223-251.

Wasilewski A. (1999) Demonstration and verification of a milking order in dairy sheep and its extent and consistency. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 64, p. 111-124.

Webster J. (2009) « Animal welfare and nutrition » dans *Welfare of Production Animals: Assessment and Management of Risks*. Smulders F.J.M. et Algers B. (dir.). Wageningen, Pays-Bas : Wageningen Academic Publishers, p. 113-132.

Williams M., Davis C.N., Jones D.L., Davies E.S., Vasina P., Cutress D., Rose M.T., Jones R.A. et Williams H.W. (2021) Lying behaviour of housed and outdoor-managed pregnant ewes. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 241, p. 105370. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105370>.

Xiao J., Guo W., Han Z., Xu Y., Xing Y., Phillips C.J.C. et Shi B. (2024) The effects of housing on growth, immune function and antioxidant status of young female lambs in cold conditions. *Animals*, vol. 14. <https://doi.org/10.3390/ani14030518>.

- Yiakoulaki M.D., Hasanagas N.D., Michelaki E., Tsiobani E.T. et Antoniou I.E. (2019) Social network analysis of sheep grazing different plant functional groups. *Grass and Forage Science*, vol. 74, p. 129-140. <https://doi.org/10.1111/gfs.12398>.
- Young M., Vercoe P.E. et Kingwell R.S. (2022) Optimal sheep stocking rates for broad-acre farm businesses in Western Australia: A review. *Animal Production Science*, vol. 62, p. 803-817.
- Yusof N.N.M., Rutherford K.M.D., Jarvis S., Valente L. et Dwyer C.M. (2023) Parity and housing effects on the behavioural and hypothalamic-pituitary-adrenal axis responses of pregnant ewes. *Animal*, vol. 17, p. 101006. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101006>.
- Zanon T., Gruber M. et Gauly M. (2022) Walking distance and maintenance energy requirements of sheep during mountain pasturing (transhumance). *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 255. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105744>.
- Zervas G., Hadjigeorgiou I., Zabeli G., Koutsotolis K. et Tziala C. (1999). Comparison of a grazing- with an indoor-system of lamb fattening in Greece. *Livestock Production Science*, vol. 61, p. 245-251. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00073-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00073-1).
- Zhang Y., Guinnefollau L., Sullivan M. et Phillips C.J.C. (2018) Behaviour and physiology of sheep exposed to ammonia at a similar concentration to those experienced by sheep during export by sea. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 205, p. 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.05.017>.