

Laurie Girard
536 985 007

Intégration 1 : Introduction à la recherche
AGN-2003

Les effets du stress thermique sur la fertilité des ovins.

Travail remis à :
Dany Cinq-Mars

Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation
Université Laval
2 mai 2025

Résumé

La revue a pour but de mieux comprendre comment la fertilité des ovins est affectée lorsque ceux-ci sont atteints de stress thermique. Dans un contexte où la production ovine québécoise tente d'améliorer ses performances de reproduction en période de contre-saison, surtout dans les périodes de chaleur, il est important de bien comprendre les mécanismes affectés afin de trouver les solutions appropriées. Les études sur le sujet ont des protocoles très variés afin d'induire le stress thermique chez les animaux et sont souvent réalisées dans des climats désertiques, faisant en sorte que les résultats peuvent varier ou être différents de ce qu'on obtiendrait en Amérique du Nord et particulièrement au Québec. Toutefois, la documentation scientifique indique que les principaux enjeux chez le mâle sont l'augmentation de la fréquence des spermatozoïdes anormaux et la diminution de la qualité du sperme par la régression de plusieurs de ses caractéristiques. Chez la femelle, la maturation et le taux de clivage des ovocytes sont grandement affectés, les rendant incomptents à la fécondation. La durée de l'œstrus est diminuée. De plus, la mortalité embryonnaire est en augmentation dans les périodes de chaleur. Ces résultats témoignent de l'importance de trouver des solutions qui permettront de diminuer la chaleur corporelle des animaux. Ces solutions se doivent d'être réaliste à implanter dans les entreprises ovines québécoises.

Table des matières

Résumé	ii
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
Introduction.....	1
1. Les mécanismes de régulation de la chaleur pour les organes reproducteurs mâles	2
2. La spermatogenèse chez l'ovin.....	3
2.1. La morphologie du spermatozoïde.....	4
3. La reproduction chez la femelle dans l'ovin	5
3.1. L'ovogenèse	5
3.2. La folliculogenèse.....	6
3.3. L'œstrus des ovins	6
3.4. L'embryogenèse	6
4. Indicateurs utilisés pour mesurer le stress thermique.....	8
5. Les effets observés chez le mâle	9
5.1. Stress oxydatif	9
5.2. Résultats sur les mesures testiculaires et scrotales	9
5.3. Résultats sur les caractéristiques des spermatozoïdes.....	10
5.4. Les spermatozoïdes anormaux	14
5.5. Impacts sur le comportement sexuel	18
6. Les effets observés chez la brebis.....	20
6.1. Effets sur la maturation des ovocytes.....	20
6.2. Taux de clivage des ovocytes.....	21
6.3. Effets sur l'intégrité des ovules	22
6.4. Développement et mortalité embryonnaires.....	22
6.5. Impacts sur l'œstrus.....	23
7. Solutions pour réduire les effets indésirables	25
7.1. Supplémentations alimentaires	25
7.1.1. Antioxydants	25
7.1.2. Électrolytes	25
7.1.3. Minéraux.....	26
7.1.4. Herbes naturelles	26
7.1.5. Mélatonine	27

7.2. Stratégies basées sur l'environnement et la génétique.....	28
7.3. Solutions observées chez les autres productions.....	29
Conclusion.....	30
Liste des ouvrages cités	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Protocole de contrôle thermique utilisé dans la chambre climatique	12
Tableau 2 : Effets de l'exposition à la chaleur sur les caractéristiques séminales et le niveau de testostérone des bétiers.....	13
Tableau 3 : Pourcentage des dommages ultramicroscopiques observés chez les spermatozoïdes des différents bétiers selon les différentes périodes du développement spermatogénique	18
Tableau 4 : Pourcentage de brebis ayant agnelé pour chacun des groupes de l'étude.....	23

Liste des figures

Figure 1: Les étapes de la spermatogenèse jusqu'aux spermatozoïdes matures	3
Figure 2: Le développement et la morphologie du spermatozoïde	4
Figure 3: Les stades de développement de l'ovocyte jusqu'à la maturation	6
Figure 4 : Les étapes de développement à partir du zygote jusqu'à l'embryon prêt pour l'implantation dans l'utérus	7
Figure 5 : Effets de l'interaction entre la saison et les semaines sur la motilité de masse, la motilité et les spermatozoïdes anormaux dans des conditions désertiques	11
Figure 6 : Morphologie des spermatozoïdes des bétails exposés au stress thermique	15
Figure 7 : Indice température-humidité maximum dans différentes périodes pour le groupe témoin et traité.....	16
Figure 8 : pourcentage de spermatozoïdes sans flagelle et de gouttelettes cytoplasmiques chez les bétails durant les six périodes d'évaluation	17

Introduction

Le réchauffement climatique est un phénomène qui affecte les productions animales, faisant en sorte que les animaux se situent plus fréquemment hors de leur zone de thermoneutralité, qui est de 12 °C à 25°C avec une zone critique à partir de 31 °C (Van Wettere et al., 2021). Lorsque la température ambiante est supérieure à ces valeurs, l'animal est incapable de dissiper son excès de chaleur corporelle par ses processus physiologiques habituels, ce qui mène à l'hyperthermie et au stress thermique (Ahmadi et al., 2019). Le stress thermique est l'une des sources de stress qui aurait le plus d'impacts négatifs sur la productivité des animaux d'élevage, en affectant la qualité et la quantité de lait produit, en réduisant la production de viande et en affectant la fertilité (Sejian et al., 2018). Les extrêmes de température seront plus fréquents dans les années à venir, exposant ainsi les moutons à des températures élevées pour des périodes prolongées et menaçant la production de viande ovine (Van Wettere et al., 2021). La production ovine québécoise est principalement constituée de races européennes peu adaptées aux conditions de chaleur extrême (SEMRPQ, 2020). D'importantes pertes économiques peuvent découler des problèmes de reproduction entraînés par le stress thermique (Dobson et al., 2012). Une exposition à la chaleur excessive entraînerait une diminution de l'activité sexuelle, des changements dans la durée du cycle œstral et une qualité diminuée des embryons chez la femelle (Dobson et al., 2012). Chez le mâle, l'augmentation de la température corporelle causerait des dégénérescences testiculaires et réduirait la qualité de la semence (El-Shalofy et al., 2023). Cependant, les conditions expérimentales pour évaluer l'effet du stress thermique sur la reproduction font en sorte que les résultats varient (Romo-Barron et al., 2019). Afin que les producteurs ovins puissent contrer les effets inévitables du réchauffement climatique, il importe de bien comprendre par quels mécanismes le stress thermique affecte la fertilité des ovins. Dans cette revue, les conséquences du stress oxydatif sur les fonctions reproductrices mâles, les changements répertoriés sur les mesures testiculaires, les caractéristiques des spermatozoïdes et le comportement sexuel lors du stress thermique seront abordées. Chez la femelle, les effets de la chaleur sur le développement et le taux de clivage des ovocytes, le développement et la mortalité des embryons, ainsi que les impacts sur l'œstrus seront discutés.

1. Les mécanismes de régulation de la chaleur pour les organes reproducteurs mâles

Afin de dissiper l'excès de chaleur corporelle acquis lorsque les ovins mâles se trouvent au-delà de leur zone de thermoneutralité, des mécanismes biologiques de régulation de chaleur sont enclenchés. Parmi ces mécanismes biologiques, nous trouvons le muscle dartos qui permet d'approcher ou d'éloigner les testicules du corps lorsque la température ambiante est basse ou élevée, respectivement. Ce mécanisme permet de garder la température de la région testiculaire plus basse que celle du reste du corps particulièrement dans les périodes de chaleur. Pour que la spermatogenèse se déroule normalement, la température testiculaire doit demeurer à 3 ou 4 degrés de moins que le reste du corps (Aurambout et al., 2024). Lorsque ce mécanisme ne suffit plus à maintenir une température idéale pour la spermatogenèse, la qualité des spermatozoïdes est affectée (Moule & Waites, 1963).

Une augmentation de la température scrotale se traduirait en une augmentation du métabolisme testiculaire, qui ne serait pas accompagné d'une augmentation du flux sanguin vers cette région. Il y a alors un manque d'oxygène distribué du sang aux tissus, ce qui affecterait l'intégrité des tissus scrotaux (Hamilton et al., 2016). Cette impossibilité à réguler parfaitement la chaleur et le stress oxydatif expliquerait la diminution de la qualité des spermatozoïdes (Hamilton et al., 2016).

2. La spermatogenèse chez l'ovin

Les cellules germinales sont les cellules qui sont à la base des gamètes sexuels et qui se différencient lors de la spermatogenèse et l'ovogenèse (Nishimura & L'Hernault, 2017). Lors de la spermatogenèse, les cellules souches spermatogonies se différencient en spermatocytes par division cellulaire mitotique. La première division des spermatogonies donnera les spermatocytes I et ceux-ci seront divisés à nouveau, donnant naissance aux spermatocytes II à n chromosomes (Bonnes et al., 2005). Ensuite, quatre spermatides haploïdes sont produites par la division cellulaire méiotique à partir des spermatocytes II. L'étape finale est la spermio-génèse. C'est à cette étape que les spermatides deviennent des spermatozoïdes (Nishimura & L'Hernault, 2017). Les différentes étapes de la spermatogenèse sont illustrées à la figure 1. La durée totale de la spermatogenèse chez l'ovin est de 49 jours. Il est important de connaître cette durée en pratique puisqu'elle indique la durée de la préparation des mâles avant l'accouplement (Bonnes et al., 2005). Si un facteur de stress survient lors de ces 49 jours, la formation des spermatozoïdes sera affectée.

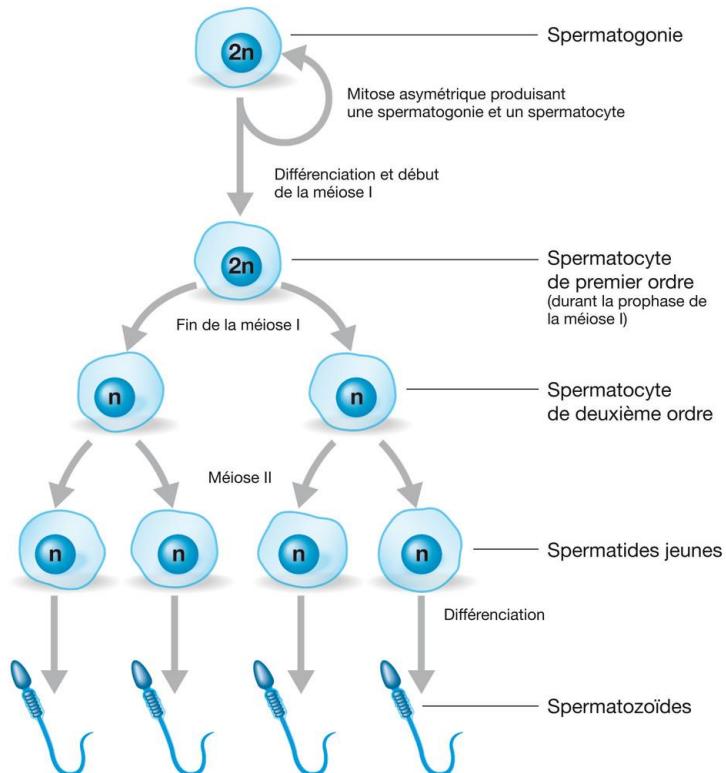


Figure 1 : Les étapes de la spermatogenèse jusqu'aux spermatozoïdes matures.

Source de Campeau-Péloquin et al. (2017)

2.1. La morphologie du spermatozoïde

Le spermatozoïde est composé de trois parties distinctes, la tête qui est coiffée de l'acrosome. L'acrosome joue un rôle clé dans la fécondation puisqu'il permet au spermatozoïde de percer la membrane pellucide qui entoure l'ovocyte. Ensuite, on retrouve la pièce intermédiaire, qui contient des enzymes pour le métabolisme du spermatozoïde, et le flagelle, qui permet la motilité par ses mouvements (Bonnes et al., 2005). Les différentes composantes sont illustrées à la figure 2.

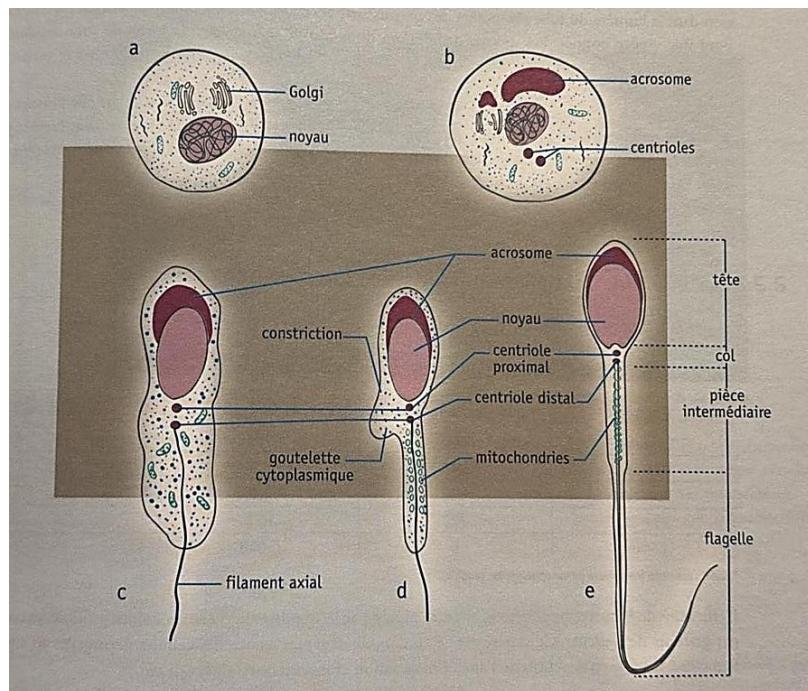


Figure 2 : Le développement et la morphologie du spermatozoïde.

Les étapes sont numérotées afin d'indiquer l'ordre (a jusqu'à e).

Source de Bonnes et al. (2005)

3. La reproduction chez la femelle dans l'ovin

3.1. L'ovogenèse

L'ovogenèse n'est pas un processus ininterrompu comme la spermatogenèse. Elle commence en effet chez le fœtus, avec le développement des ovogonies dans les ovaires fœtaux à partir de cellules germinales primordiales (Krajnik et al., 2023). Les ovogonies vont subir une différenciation cytoplasmique qui va faire place aux ovocytes I (Bonnes et al., 2005). La méiose va débuter et à l'étape de la prophase 1, les cellules de ces ovocytes vont arrêter leur développement et entrer en dormance jusqu'à l'entrée dans la phase préovulatoire lors de la puberté (Bonnes et al., 2005 ; Krajnik et al., 2023). À la prophase 1, l'ovocyte contenu dans le follicule mature est au stade de développement de vésicule germinal (VG) (Christou-Kent et al., 2018). Après la puberté, l'ovocyte I est toujours bloqué à la prophase 1 de la méiose, mais la zone pellucide commence à se former. La folliculogenèse se déroule en simultanée. Tout au long des cycles de la femelle, quelques heures avant l'ovulation, la méiose reprend pour donner un ovocyte II qui continuera son développement seulement si un spermatozoïde l'active (Bonnes et al., 2005). Lorsque la méiose reprend, à la suite de la prophase I, l'ovocyte contenu dans le follicule mature passe au stade de la rupture de la vésicule germinale (GVBD) (Christou-Kent et al., 2018). Les ovocytes qui sont en attente d'être activé par un spermatozoïde sont au stade de développement de la métaphase de la méiose II (MII) (Christou-Kent et al., 2018). La figure 3 permet d'observer la progression du développement de l'ovocyte aux différents stades. Cette figure a été publiée dans un article portant sur la femme (Christou-Kent et al., 2018), mais le même principe s'applique chez les brebis.

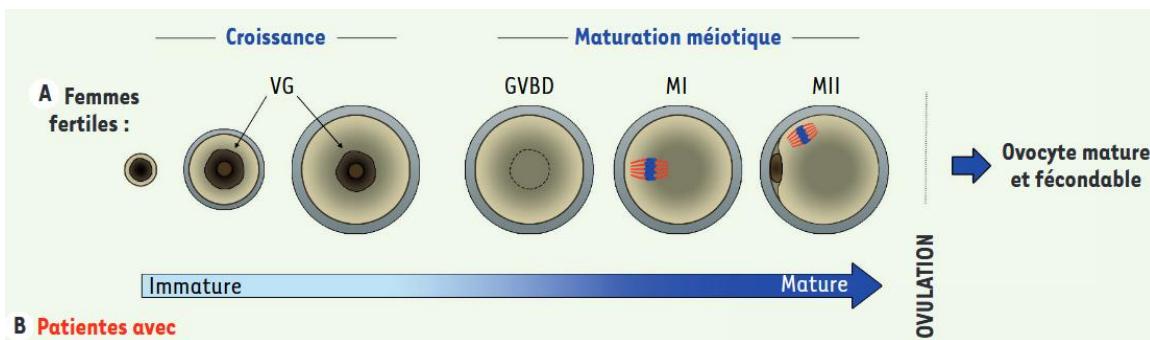


Figure 3 : Les stades de développement de l’ovocyte jusqu’à la maturation.

VG : vésicule germinale, GVBD : rupture de la vésicule germinale, MI : méniose I et MII : méniose II.

Source de Christou-Kent et al. (2018)

3.2. La folliculogenèse

La folliculogenèse représente le développement des follicules, dès la sortie de la réserve jusqu'à l'ovulation. Elle se déroule en 3 phases. La première permet aux follicules primordiaux de passer au stade préantral, ce qui dure 130 jours chez la brebis. La deuxième phase dure 40 jours chez la brebis et c'est dans cette phase que certains follicules atteignent le stade préovulatoire. La dernière phase intervient quand les follicules deviennent sensibles aux gonadotropines et se termine par l'ovulation, pour une durée de 2 à 3 jours (Bonnes et al., 2005).

3.3. L’œstrus des ovins

L’œstrus correspond au comportement particulier de la femelle dans la période pendant laquelle elle accepte l’accouplement avec un mâle et où sa fertilité est maximale (Bonnes et al., 2005). Le réflexe d’immobilisation lors du chevauchement est le signe le plus fiable pour identifier le moment des chaleurs. La durée de l’œstrus chez la brebis est de 24 à 36 heures (Bonnes et al., 2005).

3.4. L’embryogenèse

Lorsque l’ovocyte mature est fécondé par le spermatozoïde, le développement de l’embryon débute. Afin de se rendre à l’embryon propre à l’implantation, celui-ci doit

passer par plusieurs stades de développement. Les différents stades sont présentés à la figure 3, le zygote fécondé se divise et augmente son nombre de cellules. Il atteint ensuite le stade de morula, jeune blastocyste et blastocyste tardif avant d'être prêt pour l'implantation (Richardson et al., 2023). La figure 4 présente la durée de chaque étape en jour chez la souris et l'humain. Bien que la durée du processus puisse différer dans l'ovin, l'ordre des étapes reste la même.

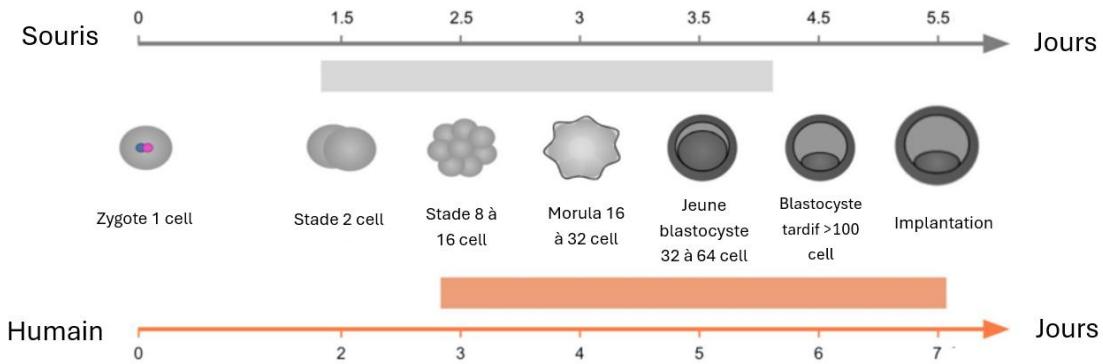


Figure 4 : Les étapes de développement à partir du zygote jusqu'à l'embryon prêt pour l'implantation dans l'utérus.

Cell : cellules.

Adapté de Richardson et al. (2023)

4. Indicateurs utilisés pour mesurer le stress thermique

L'indice température-humidité (THI) est le meilleur indicateur pour évaluer le stress thermique des animaux. Cet indice a d'abord été développé pour la vache laitière. L'indice prend effectivement en compte la température et l'humidité afin d'évaluer le stress thermique, mais il ne prend pas en compte la radiation solaire et la vitesse du vent (Sejian et al., 2018). L'indice de charge thermique (HLI) a donc été créé afin de prendre en considération l'impact du vent. L'indice de charge thermique se base sur la température, le mouvement de l'air et l'humidité relative (Sejian et al., 2018).

Lorsque ces deux indices ne sont pas mesurés, on peut tout de même se fier à la température corporelle mesurée par un thermomètre infrarouge qui est un bon indicateur du stress thermique. Le thermomètre infrarouge permet de mesurer la température corporelle de surface (Sejian et al., 2018).

Quel que soit le choix de l'indice pour mesurer le stress thermique, la littérature indique que le bien-être des moutons commence à être affecté lorsque la température est de 25 °C et que la limite de température critique se situe à 31 °C (Aurambout et al., 2024).

Il faut mentionner que les ovins sont moins sensibles au stress thermique que les vaches, ce qui fait en sorte que les ovins commencent à accumuler de la chaleur corporelle à des températures supérieures que les vaches (Aurambout et al., 2024). Les indicateurs présentés sont les mêmes que dans la vache laitière, mais il faut spécifier que les seuils critiques sont différents que ce qu'on peut voir dans cette production.

5. Les effets observés chez le bétier

5.1. Stress oxydatif

Le stress thermique occasionne un stress oxydatif qui est la principale cause des dommages de la fertilité lors d'hyperthermie (Hamilton et al., 2016). Le stress oxydatif provoque un dommage aux biomolécules du corps causé par un déséquilibre entre les molécules pro-oxydantes qui chevauchent les molécules antioxydantes. Ce qui provoque une augmentation des radicaux libres ou une diminution des niveaux d'antioxydants (Hamilton et al., 2016). L'augmentation du métabolisme lors du stress thermique provoque une augmentation du besoin en oxygène et une production de radicaux libres excessive au niveau des testicules (Ben Moula et al., 2024). Les spermatozoïdes sont sensibles au stress oxydatif à cause des acides gras polyinsaturés de leur membrane plasmique. Ce qui fait en sorte que la structure et les fonctions de la membrane des spermatozoïdes sont affectées et que la fertilité est réduite (Ben Moula et al., 2024 ; Hamilton et al., 2016). De plus, les radicaux libres n'affectent pas seulement la membrane des spermatozoïdes, mais aussi la motilité et l'incidence de la fragmentation de l'ADN, ce qui a été prouvé chez l'homme (Mahfouz et al., 2010), mais aussi dans l'ovin (Ben Moula et al., 2024). Cependant, l'effet du stress oxydatif sur les caractéristiques du sperme des ovins n'est pas beaucoup documenté pour le moment.

5.2. Résultats sur les mesures testiculaires et scrotales

Lors du stress thermique, les mesures testiculaires des bétiers sont modifiées par l'excès de chaleur. En effet, lors de période de grande chaleur, les bétiers auraient une plus grande circonférence scrotale ($p \leq 0,05$). De plus, le périmètre du cordon spermatique serait réduit ($p \leq 0,05$) et la longueur, la largeur et le volume des testicules seraient supérieurs ($p < 0,01$) (Barragán et al., 2023). L'étude de Barragán et al. (2023) compare les résultats de certains paramètres de fertilité sur un groupe de dix bétiers Dorper exposé à deux traitements différents qui correspondent à deux périodes de l'année différentes. La première période est d'une durée de 50 jours à la moitié du printemps, qui est considéré comme un traitement de thermoneutralité, et la deuxième période de 50 au cœur de l'été, qui constitue la période

de stress thermique. L'expérience a été réalisée au Mexique, où la température moyenne et le THI moyen sont respectivement de 23,6 °C et de 67,7 unités au printemps et de 33,6 °C et 81,8 unités durant l'été (Barragán et al., 2023). Il faut donc prendre en compte que pour cette étude, la variation du moment de l'année peut aussi affecter les résultats obtenus puisque les ovins sont une espèce avec une reproduction saisonnière. D'autant plus que l'étude ne mentionne pas les mois précis des deux traitements. L'augmentation du volume testiculaire serait liée à une augmentation du flux sanguin acheminé aux testicules afin de profiter de la grande capacité de régulation du scrotum pour évacuer plus de chaleur corporelle (Barragán et al., 2023). L'augmentation de la longueur du scrotum et l'amincissement du cordon spermatique seraient dus aux mécanismes biologiques qui éloignent les testicules du corps pour les maintenir à une chaleur moindre, tels qu'expliqués plus haut (Barragán et al., 2023).

5.3. Résultats sur les caractéristiques des spermatozoïdes

L'intégrité des spermatozoïdes est grandement atteinte lors des périodes de stress thermique. Lors de la même étude de Barragán et al. (2023) expliquée dans la section sur les mesures testiculaires et scrotales, les caractéristiques du sperme ont été évaluées. La motilité et la masse des spermatozoïdes étaient similaires dans les deux premières semaines de l'été et du printemps, mais pour les semaines suivantes, les deux paramètres étaient plus faibles pour la semence récoltée en été. De plus, les spermatozoïdes anormaux étaient plus élevés durant les cinq semaines de l'été. La concentration spermatique et la viabilité des spermatozoïdes étaient plus basses à l'été qu'au printemps ($p < 0,05$) (Barragán et al., 2023). Les résultats sont présentés à la figure 5.

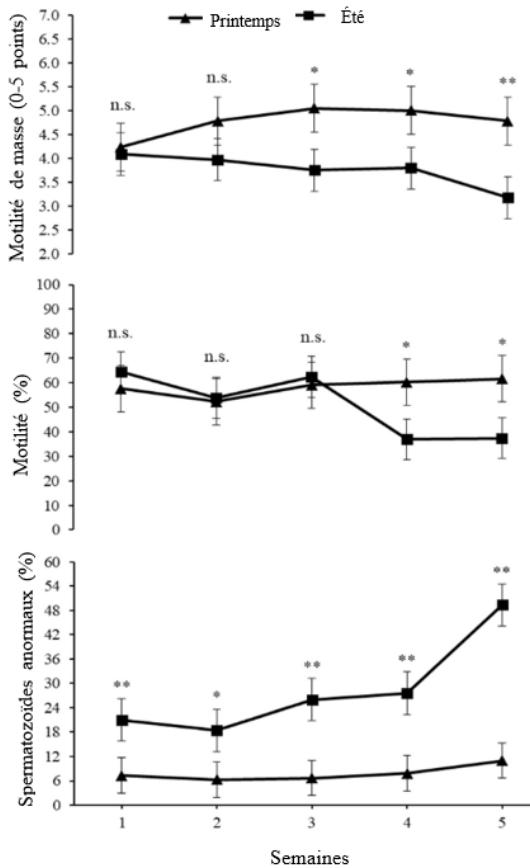


Figure 5 : Effets de l’interaction entre la saison et les semaines sur la motilité de masse, la motilité et les spermatozoïdes anormaux dans des conditions désertiques.

(** $p < 0,01$; * $p \leq 0,05$; n. s. $p > 0,05$). Les données présentées sont des moyennes.

Adapté de Barragán et al. (2023)

Les résultats sur les caractéristiques du sperme ne sont pas les mêmes d’une étude à l’autre. Selon l’expérience de De et al. (2017), aucune différence significative n’a été répertoriée pour le volume, la concentration et la motilité du sperme entre leurs deux traitements. Leurs traitements étaient constitués de deux groupes. Le premier était le groupe témoin (groupe 1), constitué de huit bœliers issus de croisement entre les races Garole et Malpura. Le second groupe, composé du même nombre de bœliers, était exposé au stress thermique à l’aide d’une chambre climatique (groupe 2). Le tableau 1 détaille les températures de la chambre climatique.

Tableau 1 : Protocole de contrôle thermique utilisé dans la chambre climatique.

Heures de la journée	Température (°C)
10 à 11 h	38
11 à 12 h	40
12 à 13 h	42
13 h à 14 h	43
14 à 15 h	44
15 à 16 h	42

Adapté de De et al. (2017)

La motilité générale des spermatozoïdes ne présentait pas de différence significative entre les deux groupes, mais le pourcentage de spermatozoïdes rapides était supérieur dans le groupe 1. Les pourcentages de spermatozoïdes à vitesse moyenne et lente étaient supérieurs dans le groupe 2. De plus, la vitesse moyenne du trajet et le pourcentage de linéarité sont significativement plus faibles dans le groupe 2. Le tableau 2 présente les résultats de l'expérience avec les valeurs de p .

Tableau 2 : Effets de l'exposition à la chaleur sur les caractéristiques séminales et le niveau de testostérone des bétiers.

Paramètres	G1	G2	Valeur P
Volume (ml)	$0,744 \pm 0,043$	$0,724 \pm 0,044$	0,89
Concentration	$3813 \pm 1599,48$	$3830 \pm 162,20$	0,929
Motilité (%)	$88,19 \pm 0,03$	$85,35 \pm 0,03$	0,07
Rapide (%)	$83,61^a \pm 0,03$	$76,27^b \pm 0,03$	0,01
Moyen (%)	$2,90^b \pm 0,03$	$6,12^a \pm 0,03$	0,01
Lent (%)	$0,58^b \pm 0,01$	$1,78^a \pm 0,01$	0,01
VCL (mm/s)	$266,294 \pm 5,151$	$256,951 \pm 5,239$	0,206
VAP (mm/s)	$175,096^a \pm 3,043$	$159,91^b \pm 3,095$	0,001
VSL (mm/s)	$167,305 \pm 11,958$	$135,434 \pm 12,162$	0,064
Linéaire (%)	$57,14^a \pm 0,01$	$53,26^b \pm 0,01$	0,003
Droit (%)	$81,87 \pm 0,02$	$81,87 \pm 0,02$	0,995
ALH (mm)	$7,75 \pm 1,027$	$9,614 \pm 1,044$	0,206
BF (Hz)	$37,351 \pm 0,916$	$37,817 \pm 0,932$	0,722
Élongation (%)	$48,46 \pm 0,02$	$48,16 \pm 0,02$	0,868
Zone (mm²)	$7,049 \pm 0,972$	$8,78 \pm 0,989$	0,215
Testostérone (ng/ml)	$2,12 \pm 0,21$	$2,10 \pm 0,21$	0,953

G1 : groupe témoin, G2 : groupe exposé au stress thermique, VCL : vitesse curvilinéaire, VAP : vitesse moyenne du trajet, VSL : vitesse linéaire, ALH : amplitude du déplacement latéral de la tête, BF : fréquence de battement.

Adapté de De et al. (2017)

Lors de l'analyse des résultats présentés dans le tableau 2, il faut prendre en compte que le groupe témoin était logé dans un petit bâtiment dont la température et l'humidité correspondaient à celles des conditions environnementales naturelles. Les températures extérieures variaient de 24,6 °C à 33,7 °C lors de la période expérimentale, ce qui signifie que le groupe témoin vivait également un certain stress thermique. Les différences pourraient donc être beaucoup plus significatives si le groupe 2 était comparé à un groupe n'ayant réellement pas vécu de stress thermique.

Une autre étude rapporte une concentration et une motilité des spermatozoïdes nulles pour la période de 3 à 8 semaines après l'exposition à la chaleur (Cruz Júnior et al., 2015). L'étude compare 6 races différentes de moutons, toutes les races avaient une motilité nulle dès la 3^e ou la 4^e semaine post-traitement, même chose pour la concentration des spermatozoïdes. Cependant, pour les deux critères, toutes les races recommençaient à avoir une certaine motilité après la 8^e semaine. Pour cette étude, les résultats de concentration et de motilité étaient significatifs pour l'effet des semaines écoulées en post-traitement ($p <$

0,001), mais non significatif pour l'effet des différentes races et l'interaction entre les races et les semaines. Il est intéressant de noter que selon cet article, la motilité et la concentration ont retrouvé des valeurs équivalentes au prétraitement autour de la 11e semaine post-traitement, ce qui correspond à 77 jours (Cruz Júnior et al., 2015). Donc, les effets du stress thermique sur les caractéristiques des spermatozoïdes sont observables pour une durée plus longue que la durée de la spermatogenèse, qui est de 49 jours (Bonnes et al., 2005).

L'effet du stress thermique n'a donc pas eu le même impact sur la qualité du sperme selon l'étude. Les différences entre les résultats présentés peuvent venir de la différence dans le protocole utilisé. Les conditions expérimentales étaient très différentes entre les études. L'une utilisant les conditions environnementales de deux différentes saisons en région désertique, une autre utilisant des conditions contrôlées à l'aide d'une chambre climatique et la dernière provoquant une insolation du scrotum seulement. Les études menées sur le sujet sont plus en accord avec les résultats de Barragán et al. (2023) et de Cruz Júnior et al. (2015). La motilité des spermatozoïdes serait effectivement affectée par la chaleur, mais la concentration en spermatozoïde serait variable et dépendrait de la fréquence de récolte (Van Wettere et al., 2021).

5.4. Les spermatozoïdes anormaux

Les anomalies relevées chez les spermatozoïdes de bœufs exposés au stress thermique sont des spermatozoïdes sans flagelle ou avec des gouttelettes cytoplasmiques. L'acrosome et la membrane plasmique peuvent aussi subir des modifications ou simplement ne pas être présents (López Armengol et al., 2018). La figure 6 nous montre les différentes morphologies que les spermatozoïdes exposés à la chaleur peuvent avoir.

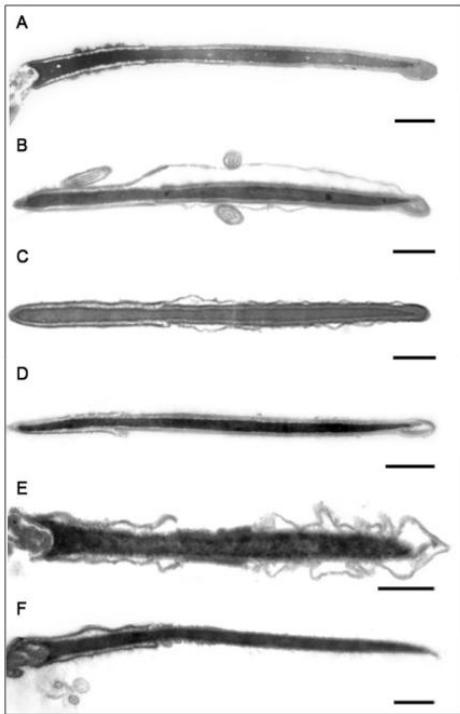


Figure 6 : Morphologie des spermatozoïdes des bœufs exposés au stress thermique.

A : membrane plasmique (MP) et acrosome (Acr) intacts. B : MP dilatée et Acr intact. C : MP ondulée et Acr intact. D : MP absente et Acr intact. E : MP absente et Acr très dilaté avec une membrane ondulée. F : MP et Acr absents, noyau nu.

Adapté de López Armengol et al. (2018)

Il est possible de remarquer, grâce à la figure 6, que les anomalies sont surtout au niveau de la membrane plasmique, ce qui fait un parallèle avec le stress oxydatif et les radicaux libres qui s'attaquent aux acides gras polyinsaturés de la membrane plasmique, comme expliqué précédemment.

Dans cette étude, quatre groupes étaient évalués soit le groupe témoin et le groupe soumis au traitement de chaleur, chacun sous-divisé en deux groupes de bœufs tondu ou non tondu. Le groupe témoin était gardé à l'extérieur, tandis que le groupe du traitement thermique était à l'intérieur et passait une partie de la journée dans une chambre climatique. Le protocole pour la chambre climatique consistait à augmenter graduellement la température (de 25 à 40 °C) durant 8 h par jour, en s'assurant que les bœufs soient exposés au moins 4 h à 40 °C. Ce traitement thermique avait une durée de 5 jours (López Armengol et al., 2018). Cependant, un bémol est survenu lors de l'étude. Le groupe témoin a aussi été exposé à un stress de chaleur grâce aux conditions environnementales extérieures au

moment de l'expérience. Comme on peut le voir à la figure 7, les indices de température-humidité du groupe témoin ne sont que légèrement en dessous de ceux du groupe traité pour les périodes étudiées.

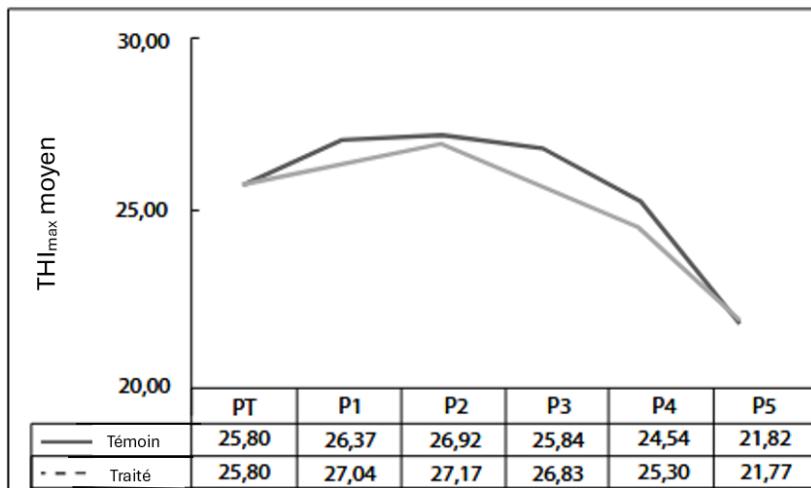


Figure 7 : Indice température-humidité maximum dans différentes périodes pour le groupe témoin et traité.

PT : période prétraitement. P1 à P5 : période 1 à 5.

Adapté de López Armengol et al. (2018)

La figure 8 résume l'incidence des spermatozoïdes sans flagelle et ayant des gouttelettes cytoplasmiques de cette étude.

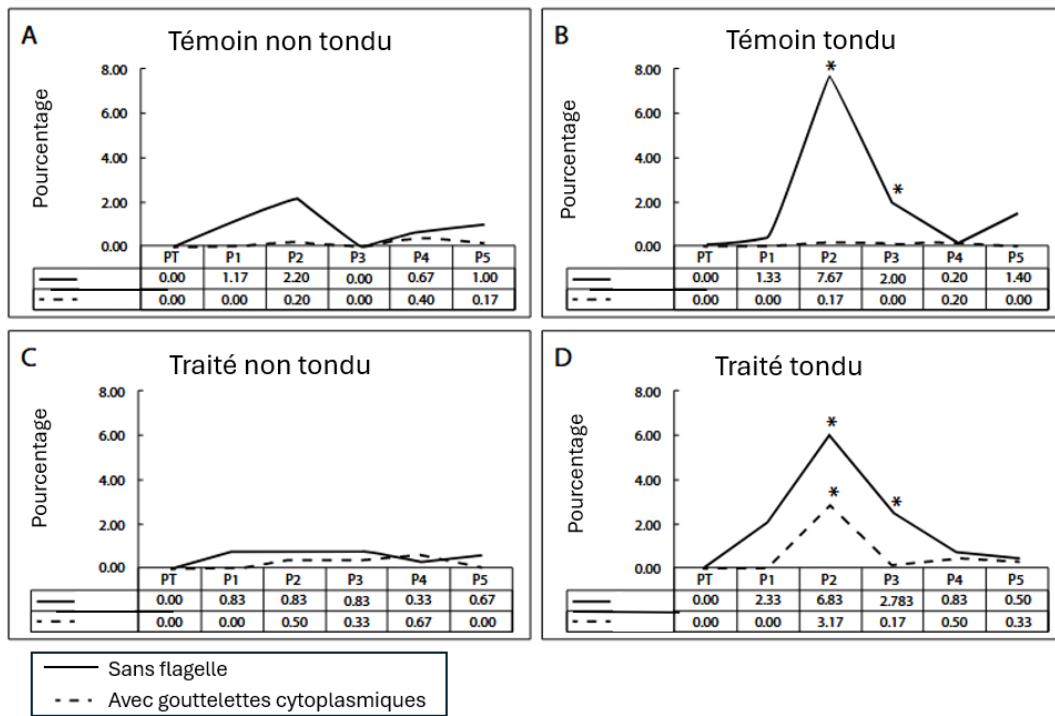


Figure 8 : pourcentage de spermatozoïdes sans flagelle et de gouttelettes cytoplasmiques chez les bœliers durant les six périodes d'évaluation.

* : différence très significative ($p < 0,01$). PT : période prétraitement. P1 à P5 : période 1 à 5.

Adapté de López Armengol et al. (2018)

Bien que le groupe témoin ait subi un stress thermique durant leur traitement, les résultats sont tout de même révélateurs des dommages que peut provoquer un stress thermique sur les spermatozoïdes puisque pour chacun des groupes, la période prétraitement ne comprend aucun spermatozoïde anormal. On voit aussi que l'incidence des spermatozoïdes sans flagelle est plus marquée que les spermatozoïdes avec gouttelettes cytoplasmiques. Ceci peut expliquer en partie les problèmes de fertilité lors des stress thermiques. Les spermatozoïdes sans flagelle ne peuvent compléter la fécondation chez la femelle.

D'autres anomalies ont été répertoriées dans l'étude de López Armengol et al. (2018), le tableau 3 indique le nombre de spermatozoïdes étudiés qui présentaient les anomalies montrées à la figure 6.

Tableau 3 : Pourcentage des dommages ultramicroscopiques observés chez les spermatozoïdes des bétiers selon les périodes du développement spermatogénique.

Période	Groupe des bétiers	% Acr intact, MP intact	% MP ondulée, Acr intact	% MP dilatée, Acr intact	% MP absente, Acr intact	% MP absente, Acr altéré	% MP et Acr absents, noyau nu
P1	CUs	6	78	3	0	13	0
	CS	3	85	1	0	11	0
	TUs	4	92	0	0	4	0
	TS	1	47	0	2	44	6
P2	TUs	5	6	76	0	13	0
	TS	3	0	72	5	13	7
P5	TUs	12	0	40	31	13	4
	TS	3	6	4	18	61	8

P1 : période 1 (influence sur la maturation epididymaire) ; P2 : période 2 (influence sur les tubes séminifères, le début et la fin de la spermatogenèse ; P5 = période 5 (la période où la production de la semence revient à la normale). CUs : témoin non tondu ; CS : témoin tondu ; Tus : traité non tondu ; TS : traité tondu ; MP : membrane plasmique ; Acr : acrosome.

Adapté de López Armengol et al. (2018)

Les spermatozoïdes anormaux auront tous de la difficulté à se rendre à l'ovule afin de compléter la fécondation ou ne pourront tout simplement pas réaliser la fécondation, comme c'est le cas pour les spermatozoïdes avec un acrosome absent.

5.5. Impacts sur le comportement sexuel

Le stress thermique affecte également le comportement sexuel des animaux. Il a été prouvé qu'une exposition accrue à la chaleur peut allonger la période de latence entre la première et la deuxième éjaculation (De et al., 2017). Dans cette étude, certains paramètres ont été évalués afin de mesurer l'influence du stress thermique sur le comportement sexuel. Les paramètres évalués étaient le temps de réaction avant la première éjaculation, la période de latence après la première éjaculation, le temps pris pour la seconde éjaculation et le nombre de chevauchements pour la seconde éjaculation. Le seul paramètre pour lequel la différence était significative entre les groupes fut la période de latence entre la première et la deuxième éjaculation ($p : 0,02$). Donc, le comportement sexuel avait tendance à prendre plus de temps lors du stress thermique, mais ce n'était généralement pas significatif (De et al., 2017). Il

faut rappeler que le groupe témoin a cependant vécu un stress thermique de moindre importance que le groupe du traitement de chaleur, comme expliqué dans la section sur les résultats sur les caractéristiques des spermatozoïdes. On pourrait donc s'attendre à plus de comportements significativement plus lents si le groupe du traitement thermique avait été comparé à un groupe n'ayant vécu absolument aucun stress thermique.

6. Les effets observés chez la brebis

6.1. Effets sur la maturation des ovocytes

Le stress thermique a des effets sur la maturation des ovocytes faisant en sorte que certains d'entre eux peuvent arrêter leur développement à différents stades de maturité. La maturation aberrante des ovocytes est la principale cause des problèmes de fécondation en réponse à l'hyperthermie (Van Wettere et al., 2021). Selon l'étude de Gharibzadeh et al. (2015), un plus grand nombre d'ovocytes ayant reçus un traitement de chaleur de 12 h avaient arrêté leur développement au stade de la dégradation des vésicules germinatives (GVBD) ($p < 0,05$). Mais encore, plus d'ovocytes dans le groupe témoin se sont rendus au stade de la métaphase II (MII) en comparaison avec le groupe ayant reçu le traitement de chaleur de 12 h ($p < 0,05$) (Gharibzadeh et al., 2015). Ce qui signifie que plus d'ovocytes du groupe témoin se sont rendus à maturité complète puisque le stade MII est le dernier stade de développement de l'embryon.

De surcroît, l'incidence d'ovocytes ayant un alignement aberrant des chromosomes dans les fuseaux méiotiques était plus élevée dans le groupe ayant subi le traitement de chaleur ($p < 0,05$) (Gharibzadeh et al., 2015). Cette étude de Gharibzadeh et al. (2015), a été réalisé sur des ovaires récoltés à un abattoir local. Les complexes cumulus-ovocytes ont été aspirés et ceux de bonne qualité ont été sélectionnés pour poursuivre leur maturation *in vitro*. Le groupe témoin a été exposé à une température de 38,5 °C et le groupe du traitement thermique à 41 °C pour 12 h et, ensuite, à 38,5 °C pour les 10 h restantes de la maturation. On peut donc voir qu'un stress thermique de 12 h peut affecter le développement des ovocytes et les empêcher de terminer leur maturation.

D'autres études viennent appuyer le fait que le stress thermique diminue le nombre d'ovocytes qui se rendent à maturité avec des protocoles similaires utilisant 41 °C afin de créer le stress thermique (Santos Junior et al., 2013).

6.2. Taux de clivage des ovocytes

Le clivage des ovocytes constitue la première étape du développement embryonnaire. C'est à ce moment que le zygote, qui deviendra l'embryon, subit des mitoses successives, qui ont pour but de diviser le cytoplasme issu de l'ovocyte. C'est aussi à cette étape que les cellules germinales sont séparées des cellules somatiques (Pla, 2021). L'étude précédemment présentée de Gharibzadeh et al. (2015) démontre qu'un stress thermique de 12 h subi lors de la maturation des ovocytes réduit le taux de clivage de ceux-ci ($p < 0,05$) ainsi que le nombre d'embryons qui atteint le stade morula. L'étude de Santos Junior et al. (2013) a testé différentes longueurs de temps d'exposition au stress thermique pour les ovocytes *in vitro* maintenu à 41 °C. Une baisse du taux de clivage ainsi qu'un nombre réduit d'ovocytes se rendant aux stades de 8 à 16 cellules, morula et blastocyste ont été observés (Santos Junior et al., 2013). La diminution de la capacité de se développer correctement était inversement proportionnelle à la durée de l'exposition à la chaleur, ce qui veut dire que plus l'exposition était longue, plus petite était la proportion d'embryons se rendant aux différents stades de développement.

Les résultats de l'étude de Gharibzadeh et al. (2015) nous indique donc que chez la femelle, le stress thermique peut affecter l'intégrité de la maturation des ovocytes, réduisant ainsi la fertilité des brebis avant même que la fécondation ait lieu. Ensuite, le stress thermique affecte aussi le développement des ovocytes activés par un spermatozoïde, qui sont en voie de devenir un embryon. Le stress thermique peut donc réduire la fertilité en élevage s'il survient avant l'accouplement, mais aussi après.

L'étude de Dutt (1964) a aussi noté une réduction des ovocytes clivés lors d'une exposition à un stress thermique. Cette étude est assez vieille, mais c'est l'une des rares études réalisées sur le sujet qui a été réalisé en Amérique du Nord. Cette étude réalisée au Kentucky a utilisé des conditions d'ambiance qui ressemble beaucoup aux conditions climatiques du Québec lors de l'été, d'où la pertinence de présenter les résultats. Il faut noter que réaliser une nouvelle expérience avec les mêmes conditions, mais adaptée aux connaissances actuelles serait très pertinent. Le traitement thermique utilisé était réalisé dans une chambre isolée avec une température de 32 °C, qui a varié de 1 °C au maximum, et d'une humidité de 60 à 65 % (Dutt, 1964). De plus, l'étude a pris en compte quatre saisons d'accouplement en novembre puisque ce mois correspond à la période où la fertilité

des ovins est la plus optimale. Dans leur protocole, les différents groupes de brebis étaient placés dans la chambre chauffée soit avant l'accouplement (à la douzième journée du cycle), juste après l'accouplement, une journée après l'accouplement, trois jours après l'accouplement, puis cinq et huit jours après l'accouplement (Dutt, 1964). Pour le taux de clivage, les résultats montrent que celui-ci est significativement inférieur pour le groupe exposé à la chaleur avant l'accouplement, à la douzième journée du cycle, pour un taux de 40,7 % comparativement à 94,2 % pour le groupe témoin ($p < 0,01$).

6.3. Effets sur l'intégrité des ovules

La fertilité des brebis est compromise par un nombre d'ovules anormaux accrus lors d'un stress thermique (Van Wettere et al., 2021). Il y aurait une augmentation marquée de l'incidence de vacuoles cytoplasmiques, de globules cytoplasmiques, de membranes plasmiques rompues et de zones pellucides fissurées chez les ovocytes exposés à un traitement de chaleur avant ou pendant l'œstrus comportemental (Alliston et al., 1961 ; Dutt et al., 1959 ; Dutt, 1964 cités par Van Wettere et al., 2021). Ces anomalies empêchent le bon fonctionnement de l'ovocyte et la réalisation de la fécondation. De plus, le taux élevé d'ovocytes anormaux resterait ainsi même si le stress thermique est entrecoupé de températures plus fraîches (Alliston & Ulberg, 1961 cités par Van Wettere et al., 2021).

6.4. Développement et mortalité embryonnaires

Dans la même étude de Dutt (1964), il est possible d'évaluer la mortalité embryonnaire due au stress thermique puisque certains groupes de brebis ont été exposés au stress thermique seulement après que la fécondation a été complétée, soit les groupes mis en chambre chauffée trois, cinq et huit jours après l'accouplement. Ainsi la baisse du taux de naissance est expliquée par une plus grande incidence de la mortalité embryonnaire. Pour les autres groupes qui ont été exposés au stress thermique avant la fin du processus de fécondation, la baisse du taux de naissance peut être expliquée par l'effet de la chaleur sur la fertilité. Le tableau 4 montre le pourcentage de brebis ayant agnelé pour les différents groupes.

Tableau 4 : Pourcentage de brebis ayant agnelé pour chacun des groupes de l'étude.

Groupes	Nombre de brebis	% de brebis ayant agnelées
Témoin	40	87,5
Avant accouplement	10	0,0*
0 jours	10	0,0*
1 jours	10	20,0*
3 jours	20	35,0*
5 jours	20	40,0*
8 jours	10	70,0

Groupe : les groupes 0 à 8 jours réfèrent au nombre de jours écoulés entre l'accouplement et l'entrée dans la chambre pour le traitement thermique.

* : significativement inférieur au groupe témoin, $p < 0,01$.

Adapté de Dutt (1964)

Les résultats significatifs pour les groupes mis au traitement de chaleur avant l'accouplement 0 et 1 jour après s'expliquent pour les effets du stress de chaleur sur la fertilité des brebis. Pour les groupes 3 et 5 jours après l'accouplement, la baisse du nombre de brebis ayant agnelées s'explique par la mortalité embryonnaire. À ce stade, l'embryon est en processus ou vient juste de quitter l'oviducte pour se rendre à l'utérus. On peut donc voir que le jeune embryon est moins sensible au traitement de chaleur une fois entrée dans l'utérus (Dutt, 1964). De plus, tous les groupes excepté le groupe 8 jours ont été exposés au stress thermique avant que l'embryon arrive au stade de blastocyste. On peut donc en comprendre par le haut taux de brebis ayant agnelé, que l'embryon qui a atteint le stade blastocyste est moins sensible aux conditions non favorables (Dutt, 1964).

6.5. Impacts sur l'œstrus

Certains articles rapportent une durée de la période d'œstrus plus courte de 6 h (Naqvi et al., 2004). La durée d'œstrus plus courte a aussi été démontrée dans la méta-analyse de Romo-Barron et al. (2019). Cet article avait pour but de faire une analyse statistique utilisant les résultats de 36 autres études menées sur l'effet du stress thermique sur la reproduction de l'ovin. Romo-Barron et son équipe en sont venus à la conclusion que les brebis avaient une durée d'œstrus plus courte de 7 h en période de stress thermique, ce qui coïncide avec les résultats de Naqvi et al. (2004). De plus, des articles confirment un changement au niveau de la durée du cycle œstral. Celui-ci serait significativement plus

long pour les brebis exposées au stress thermique de 0,57 jour (Romo-Barron et al., 2019). Cependant, la durée des cycles œstraux suivants n'était pas affectée par les effets du stress thermique puisque les brebis qui ont subi le traitement thermique revenaient en chaleur dans l'intervalle de temps attendu selon leurs cycles observés avant le traitement. Le stress thermique a donc seulement un effet sur la durée du cycle qui est en cours lors de la hausse de la température (Dutt, 1964).

7. Solutions pour réduire les effets indésirables

7.1. Supplémentations alimentaires

7.1.1. Antioxydants

Comme discuté précédemment, le stress thermique occasionne une hausse du stress oxydatif. Ajouter des antioxydants dans l'alimentation des ovins aiderait à améliorer les fonctions immunitaires, ainsi que l'état oxydatif des animaux qui ont subi un stress thermique (Chauhan et al., 2014; Alhidary et al., 2015; Lees et al. 2017 cités par Binuni Rebez et al., 2024). L'utilisation de sélénium à des doses plus élevées peut avoir un impact positif sur les symptômes du stress thermique en abaissant la température rectale et la perte de poids (Alhidary et al., 2012). Une autre étude appuie que la supplémentation en sélénium permet d'améliorer les effets négatifs du stress thermique sur les réponses physiologiques des ovins et ainsi améliorer les performances reproductives (Hayder et al., 2016). Autres que le sélénium, des antioxydants qui pourraient être utilisés en supplémentation seraient la vitamine E et A, ainsi que le zinc et le manganèse pourraient être bénéfiques en période de stress thermique. Ces antioxydants peuvent être combinés ou donnés individuellement (Binuni Rebez et al., 2024).

7.1.2. Électrolytes

L'utilisation d'électrolytes aiderait à diminuer les impacts négatifs du stress thermique. Cette utilisation a été étudiée auprès de plusieurs espèces telles que la poule, le bœuf, le buffle, la chèvre et le cochon (Binuni Rebez et al., 2024). Chez le buffle, il a été démontré que l'ajout d'électrolytes sous la forme de bicarbonate de sodium et de potassium accompagné de vitamine C peut moduler partiellement la baisse de la réponse immunitaire à médiation cellulaire et l'augmentation du stress oxydatif qui surviennent lors du stress thermique (Kumar et al., 2010). Cependant dans cette étude, il n'y avait qu'un seul traitement utilisé, soit celui avec le bicarbonate de sodium et de potassium ainsi que la vitamine C. Il est donc impossible d'évaluer l'effet des électrolytes seulement. D'autres études démontrent les effets positifs des électrolytes, dont une étude dans l'ovin qui démontre que l'ajout d'électrolytes dans l'alimentation a des effets positifs sur la réponse

thermale de l'animal, les fonctions respiratoires et les paramètres d'échange de gaz (Saleh et al., 2020). En effet, cette étude compare trois quantités différentes de supplémentation en électrolytes à un groupe témoin. La température rectale et de la peau des moutons étaient moins élevées à la suite d'un stress thermique dans les groupes supplémentés à une concentration de 300 meq d'électrolytes ($p < 0,05$). De plus, la fréquence respiratoire était moins grande pour tous les groupes traités aux électrolytes après l'exposition à la chaleur ($p < 0,05$) (Saleh et al., 2020).

7.1.3. Minéraux

La supplémentation en minéraux peut aussi aider à diminuer les effets négatifs du stress thermique. L'exposition à la chaleur augmente la respiration de l'animal, ce qui se traduit en perte d'eau. Mais encore, l'augmentation de la charge de chaleur diminue la consommation en matière sèche, augmente l'excrétion d'urine et de sueur, ce qui constitue tous des pertes en minéraux (Marai et al., 2007). Il est donc important d'apporter plus de minéraux aux animaux en période de chaleur pour compenser ces pertes. Il a été prouvé chez l'ovin que le sélénium, le manganèse, le zinc, le cuivre, le sulfure, la vitamine E et la vitamine A jouent un rôle dans les mécanismes de défense par les antioxydants et aident à réguler le stress oxydatif (Masters, 2018 cité par Binuni Rebez et al., 2024). Dans une étude chez l'ovin, il a été démontré qu'en supplémentant des brebis avec un mélange de minéraux et d'antioxydants, il était possible de contrer les effets adverses du stress thermique sur la production et la reproduction (Sejian et al., 2014). La supplémentation en minéraux et en antioxydants a surtout influencé les paramètres de reproduction en aidant à maintenir une durée d'œstrus plus longue que le groupe qui a subi un stress thermique sans la supplémentation. Cependant, il faut noter que l'étude n'évaluait pas les effets des minéraux et des antioxydants de manière individuelle, mais bien en synergie.

7.1.4. Herbes naturelles

L'ajout de diverses herbes naturelles dans l'alimentation peut aider à améliorer les performances des animaux en période de stress thermique (Binuni Rebez et al., 2024). Au niveau de la reproduction, il a été prouvé que la camomille aurait des effets bénéfiques sur les performances de reproduction quand elle est ajoutée à forte dose dans l'alimentation

lors des périodes chaudes (Saleh & Abozed, 2018). Dans leur étude, trois groupes distincts étaient évalués et recevaient la même alimentation. Le premier groupe était le groupe témoin, le deuxième recevait une supplémentation de 0,5 mg de fleurs de camomille/10 kg de poids vif/jour et le troisième groupe était supplémenté à 1,0 mg de fleurs de camomille/10 kg de poids vif/jour. Le taux de brebis montrant des signes d'œstrus était supérieur dans les groupes recevant de la camomille et la proportion de brebis ayant un œstrus d'une longueur de plus de 48 h était moins élevée pour ces groupes (Saleh & Abozed, 2018). Le taux de conception et le nombre de saillies étaient meilleurs dans les deux groupes supplémentés en camomille. Cependant, ces différences sur les performances de reproduction n'étaient pas significatives, mais les réponses thermiques, l'activité respiratoire et la production de chaleur étaient significativement améliorées lors de la supplémentation ($p < 0,05$).

La bétaïne améliore aussi les fonctions reproductrices en améliorant la réponse immunitaire et en augmentant la capacité antioxydante des testicules pour les bétiers de race Hu (Cai et al., 2021). Cet article démontre qu'une supplémentation de bétaïne de 1 g par jour ou de 3 g par jour provoque une augmentation significative de l'activité des enzymes CAT, SOD2 et GSH-Px (Cai et al., 2021). Ces enzymes jouent un rôle d'antioxydants dans les testicules des bétiers aidant à diminuer les effets néfastes du stress oxydatif.

7.1.5. Mélatonine

Une administration de mélatonine à une concentration de 0,1 μm réduirait significativement la concentration d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) qui sont libérées à la suite d'un stress thermique (Deng et al., 2022). Donc, l'administration de mélatonine permettrait de réduire les conséquences du stress oxydatif sur les fonctions reproductrices. De plus, un ajout de mélatonine dans l'alimentation permettrait d'augmenter le flux sanguin acheminé vers les testicules, ce qui aurait aidé à maintenir une motilité et une morphologie normale chez les spermatozoïdes ($p < 0,05$) (Shahat et al., 2022). Dans cette étude, les bétiers étaient gardés à l'intérieur avec un protocole de photopériode avec de la luminosité de 7 h à 16 h 30 afin d'imiter la saison de reproduction en jours courts (Shahat et al., 2022). Les effets de la supplémentation de mélatonine étaient

donc évalués en conditions qui représentent le moment de l'année où les ovins produisent le plus de mélatonine naturellement.

7.2. Stratégies basées sur l'environnement et la génétique

L'environnement dans lequel les ovins évoluent aura un impact sur la capacité de ceux-ci à bien réguler leur chaleur. Les bâtiments ayant des fenêtres qui laissent entrer les rayons du soleil sur les animaux devraient être entourés d'arbres afin de réduire la chaleur entrant dans la bergerie (Mazlishah et al., 2024). Lors de la conception d'un bâtiment, il faut aussi prioriser la ventilation forcée afin d'assurer une bonne circulation d'air et des systèmes de rafraîchissement peuvent aussi être mis en place (Sejian et al., 2018). Si les moutons sont mis au pâturage, il est primordial de s'assurer que ceux-ci ont accès à de l'ombre puisque l'un des premiers changements comportementaux lors du stress thermique est la recherche d'ombre par les animaux (Sejian et al., 2018).

La génétique peut aussi être un outil afin de diminuer les conséquences négatives des périodes de chaleur. L'étude de la diversité génétique des animaux, la sélection génétique pour la thermotolérance par l'utilisation de la génomique et le développement de races résistantes au stress thermique pourraient permettre de créer des troupeaux plus résistants aux conditions de chaleur (Sejian et al., 2018)). Il est souvent rapporté dans les articles scientifiques que les races sans laine s'adaptent mieux au stress thermique que celles avec laine. Cependant, la présence ou non de laine ne serait pas l'aspect qui détermine la tolérance au stress thermique, mais bien l'adaptation de la race aux conditions de chaleurs (McManus et al., 2020). La revue de MacManus et al. (2020) démontre que si l'on évalue la résistance au stress thermique chez des groupes de moutons qui ont eu une adaptation de leur métabolisme face aux conditions de chaleur, il n'y a pas de différence entre les moutons avec laine ou sans laine. Il a aussi été démontré dans d'autres espèces que les animaux ayant été sélectionnés pour des caractères spécifiques, comme les animaux utilisés en production commerciale, ont plus de difficulté à s'adapter aux différents stress en modifiant l'utilisation de leurs ressources métaboliques que les animaux qui ont subi peu de sélection. Ceci s'appliquerait à toutes les espèces (Savietto et al., 2015).

7.3. Solutions observées chez les autres productions

Chez la vache laitière, certains traitements pharmacologiques et nutraceutiques ont été testés pour aider à dissiper l'excès de chaleur corporelle. L'utilisation de cultures fongiques dans l'alimentation permettrait de diminuer la température corporelle et le taux de respiration lorsque les températures sont élevées (Ahmad Para et al., 2020). Il faut noter que le mode d'action des cultures fongiques sur la réduction des impacts du stress thermique n'est pas beaucoup étudié et n'est pas encore bien compris. La niacine encapsulée peut augmenter le taux de transpiration et ainsi diminuer la chaleur corporelle. Cette action est causée par le fait que la niacine aide à la vasodilatation des vaisseaux sanguins, permettant de dissiper de la chaleur (Ahmad Para et al., 2020). De plus, chez la vache, l'utilisation de supplémentation sous forme encapsulée permet de contourner le rumen et d'aider à la perte de chaleur, ce qui aiderait les performances reproductives dans les mois d'été (Ahmad Para et al., 2020).

Au niveau de la production porcine, les systèmes de rafraîchissement sont fréquemment utilisés. Le système de gicleurs au plafond est le plus utilisé, mais il y a aussi les systèmes de la brumisation (Segura et al., 2024). Des systèmes similaires pourraient être mis en place dans la production ovine, surtout dans les fermes ayant des parquets sur lattes puisque la litière accumulée peut devenir un enjeu avec des systèmes de rafraîchissement utilisant de l'eau.

Conclusion

En conclusion, le stress thermique a de nombreux impacts sur les fonctions reproductrices mâles et femelles. Les impacts négatifs du stress thermique sur la reproduction sont en partie causés par le stress oxydatif. Celui-ci affecte la structure et les fonctions des spermatozoïdes, en plus de réduire la motilité et augmenter l'incidence de la fragmentation de l'ADN (Ben Moula et al., 2024 ; Hamilton et al., 2016). Chez le mâle, on peut aussi observer des changements au niveau des mesures scrotales et testiculaires, ainsi qu'au niveau du comportement sexuel (Barragán et al., 2023). Les caractéristiques des spermatozoïdes sont aussi modifiées. La motilité, la masse, la concentration et la viabilité seraient des facteurs affectés par le stress thermique, quoique les études n'arrivent pas toutes aux mêmes conclusions (Barragán et al., 2023 ; De et al., 2017). Chez la femelle, la maturation des ovocytes est grandement affectée, de même pour le taux de clivage (Gharibzadeh et al., 2015). L'incidence des ovules anormaux et de la mortalité embryonnaire est augmentée (Dutt, 1964 ; Van Wettere et al., 2021). La longueur de l'œstrus augmente aussi, mais le cycle suivant ne serait pas influencé (Dutt, 1964). Bien que ces impacts négatifs puissent grandement nuire à la production ovine, des solutions ont été étudiées afin de maintenir une production adéquate malgré le climat. Plusieurs suppléments alimentaires permettent de diminuer, entre autres, le stress oxydatif, tels que les antioxydants, les électrolytes, les minéraux, les herbes naturelles et la mélatonine (Binuni Rebez et al., 2024). La configuration des bâtiments et l'ombrage sont d'autres façons de réduire le stress de chaleur (Sejian et al., 2018). La génétique est un autre outil qui permettrait de sélectionner des animaux plus résistants à la chaleur (Sejian et al., 2018). La recherche d'autres solutions est toutefois primordiale et elle peut être réalisée en observant ce qui est mis en place dans les autres productions animales. La production ovine est en effet menacée par les changements climatiques et l'augmentation de la chaleur lors des périodes estivales. Davantage d'études devront être réalisées en Amérique du Nord afin de cibler les effets du stress thermique selon les conditions environnementales de la région. Cependant, avec un travail actif de la part des intervenants du milieu ovin, il sera possible d'atténuer la baisse de fertilité des ovins en période chaude par une optimisation de l'environnement, de l'alimentation et de la génétique.

Liste des ouvrages cités

- Ahmad Para, I., Ahmad Dar, P., Ahmad Malla, B., Punetha, M., Rautela, A., Maqbool, I., Mohd, A., Ahmad Shah, M., Ahmad War, Z., Ishaaq, R., Akram Malla, W., Ahmad Sheikh, A., & Rayees, M. (2020). Impact of heat stress on the reproduction of farm animals and strategies to ameliorate it. *Biological Rhythm Research*, 51(4), 616-632. <https://doi.org/10.1080/09291016.2018.1548870>
- Ahmadi, E., Nazari, H., & Hossini-Fahraji, H. (2019). Low developmental competence and high tolerance to thermal stress of ovine oocytes in the warm compared with the cold season. *Tropical Animal Health and Production*, 51(6), 1611-1618. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01854-w>
- Alhidary, I. A., Shini, S., Al Jassim, R. A. M., & Gaughan, J. B. (2012). Effect of various doses of injected selenium on performance and physiological responses of sheep to heat load1. *Journal of Animal Science*, 90(9), 2988-2994. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4908>
- Aurambout, J.-P., Benke, K. K., & O'Leary, G. J. (2024). Accumulative Heat Stress in Ruminants at the Regional Scale under Changing Environmental Conditions. *Environments*, 11(3), 55. <https://doi.org/10.3390/environments11030055>
- Barragán, A. L., Avendaño-Reyes, L., Mellado-Bosque, M., Meza-Herrera, C. A., Vicente-Pérez, R., Castañeda, V. J., Díaz-Molina, R., & Macías-Cruz, U. (2023). Seasonal heat stress compromises testicular thermoregulation and semen quality of Dorper rams raised in a desert climate. *Journal of Thermal Biology*, 118, 103737. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103737>
- Ben Moula, A., Moussafir, Z., Hamidallah, N., & El Amiri, B. (2024). Heat stress and ram semen production and preservation : Exploring impacts and effective strategies. *Journal of Thermal Biology*, 119, 103794. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103794>
- Binuni Rebez, E., Sejian, V., Silpa, M. V., Kalaignazhal, G., Devaraj, C., Nikhil, K. T., Ninan, J., Tüfekci, H., Fonsêca, V. F. C., Chauhan, S. S., DiGiacomo, K., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. (2024). Feed additives supplementation : A potential strategy to ameliorate heat stress in sheep. *Annals of Animal Science*. <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0095>

Bonnes, G., Desclaude, J., Drogoul, C., Gadoud, R., Jussiau, R., Le Loc'h, A., Montméas, L., Robin, G., Batellier, F., Blesbois, E., Brillard, J.-P., Gorovoun, M., Hérault, F., Heyman, Y., Perrier, G., Rogier-Saderne, M.-C., Savary, F., & Vignon, X. (2005). *Reproduction des animaux d'élevage*. Educagri Editions.

Cai, Y., Deng, M., Zhang, Q., Liu, Z., Wang, L., Sheng, W., Zhang, Y., You, P., Wang, Z., & Wang, F. (2021). Effects of dietary betaine supplementation on biochemical parameters of blood and testicular oxidative stress in Hu sheep. *Theriogenology*, 164, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.01.006>

Campeau-Péloquin, A., Roy, S., & Chabot, G. (2017). *Culture cellulaire animale et végétale* (C.C.D.M.D.).
<https://monde.ccdmd.qc.ca/ressource/?id=121368&demande=desc>

Christou-Kent, M., Ray, P. F., & Arnoult, C. (2018). Échec de maturation ovocytaire : Un rôle essentiel pour la protéine PATL2 dans l'ovogenèse. *médecine/sciences*, 34(12), 1042-1045. <https://doi.org/10.1051/medsci/2018287>

Cruz Júnior, C. A., Lucci, C. M., Peripolli, V., Silva, A. F., Menezes, A. M., Morais, S. R. L., Araújo, M. S., Ribeiro, L. M. C. S., Mattos, R. C., & McManus, C. (2015). Effects of testicle insulation on seminal traits in rams : Preliminary study. *Small Ruminant Research*, 130, 157-165.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.06.014>

De, K., Kumar, D., Balaganur, K., Kumar Saxena, V., Thirumurugan, P., & Khursheed Naqvi, S. M. (2017). Effect of thermal exposure on physiological adaptability and seminal attributes of rams under semi-arid environment. *Journal of Thermal Biology*, 65, 113-118. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.02.020>

Deng, C., Zhang, J., Huo, Y., Xue, H., Wang, W., Zhang, J., & Wang, X. (2022). Melatonin alleviates the heat stress-induced impairment of Sertoli cells by reprogramming glucose metabolism. *Journal of Pineal Research*, 73(3), e12819. <https://doi.org/10.1111/jpi.12819>

Dobson, H., Fergani, C., Routly, J. E., & Smith, R. F. (2012). Effects of stress on reproduction in ewes. *Animal Reproduction Science*, 130(3-4), 135-140. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.006>

- Dutt, R. H. (1964). Detrimental effects of high ambient temperature on fertility and early embryo survival in sheep. *International Journal of Biometeorology*, 8(1), 47-56. <https://doi.org/10.1007/BF02186927>
- El-Shalofy, A. S., Samir, H., & El-Sherbiny, H. R. (2023). Intramuscular administration of l-arginine boosts testicular hemodynamics, plasma concentrations of testosterone and nitric oxide in heat-stressed rams. *Theriogenology*, 197, 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.11.030>
- Gharibzadeh, Z., Riasi, A., Ostadhosseini, S., Hosseini, S. M., Hajian, M., & Nasr-Esfahani, M. H. (2015). Effects of heat shock during the early stage of oocyte maturation on the meiotic progression, subsequent embryonic development and gene expression in ovine. *Zygote*, 23(4), 573-582. <https://doi.org/10.1017/S0967199414000203>
- Hamilton, T. R. D. S., Mendes, C. M., Castro, L. S. D., Assis, P. M. D., Siqueira, A. F. P., Delgado, J. D. C., Goisis, M. D., Muiño-Blanco, T., Cebrián-Pérez, J. Á., Nichi, M., Visintin, J. A., & Assumpção, M. E. O. D. (2016). Evaluation of Lasting Effects of Heat Stress on Sperm Profile and Oxidative Status of Ram Semen and Epididymal Sperm. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016(1), 1687657. <https://doi.org/10.1155/2016/1687657>
- Hayder, M., Saba, F. E., & Saleh, A. A. K. (2016). Using Different Types of Selenium to Enhance Saidi and Farafra Sheep Productivity Under Heat Stress in Middle Egypt. *The Egyptian Journal of Sheep & Goat Sciences*, 11(3), 217-228.
- Krajnik, K., Mietkiewska, K., Skowronska, A., Kordowitzki, P., & Skowronski, M. T. (2023). Oogenesis in Women : From Molecular Regulatory Pathways and Maternal Age to Stem Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), 6837. <https://doi.org/10.3390/ijms24076837>
- Kumar, B. V. S., Singh, G., & Meur, S. K. (2010). Effects of Addition of Electrolyte and Ascorbic Acid in Feed during Heat Stress in Buffaloes. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(7), 880-888. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90053>

- López Armengol, M. F., Rubio, N., Sabino, G. A., Bérgamo, N. S., & Pelufo, V. (2018). Microscopic sperm head damage and abnormalities as heat stress indicators in Australian Merino rams (*Ovis aries*) in Northern Patagonia, Argentina. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 55(1), 1-11. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2018.112285>
- Mahfouz, R., Sharma, R., Thiagarajan, A., Kale, V., Gupta, S., Sabanegh, E., & Agarwal, A. (2010). Semen characteristics and sperm DNA fragmentation in infertile men with low and high levels of seminal reactive oxygen species. *Fertility and Sterility*, 94(6), 2141-2146. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2009.12.030>
- Marai, I. F. M., El-Darawany, A. A., Fadiel, A., & Abdel-Hafez, M. A. M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep—A review. *Small Ruminant Research*, 71(1-3), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003>
- Mazlishah, M. S. H., Fauzi, N. M., Nor, M. F. F. M., & Hashim, N. H. (2024). Influence of Management Systems on Severity of Heat Stress and Reproductive Performance of Rams in the Tropics – A Review. *Annals of Animal Science*, 24(4), 1081-1092. <https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0099>
- McManus, C. M., Faria, D. A., Lucci, C. M., Louvandini, H., Pereira, S. A., & Paiva, S. R. (2020). Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant? *Theriogenology*, 155, 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.047>
- Moule, G. R., & Waites, G. M. H. (1963). Seminal degeneration in the ram and its relation to the temperature of the scrotum. *Reproduction*, 5(3), 433-446. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0050433>
- Naqvi, S. M. K., Maurya, V. P., Gulyani, R., Joshi, A., & Mittal, J. P. (2004). The effect of thermal stress on superovulatory response and embryo production in Bharat Merino ewes. *Small Ruminant Research*, 55(1-3), 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.02.009>
- Nishimura, H., & L'Hernault, S. W. (2017). Spermatogenesis. *Current Biology*, 27(18), R988-R994. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.07.067>
- Pla, P. (2021, novembre 12). Le clivage. *Biologie cellulaire et génétique du Développement*. <https://bcgdevelop.fr/le-clivage/>

Richardson, V., Engel, N., & Kulathinal, R. J. (2023). Comparative developmental genomics of sex-biased gene expression in early embryogenesis across mammals. *Biology of Sex Differences*, 14(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s13293-023-00520-z>

Romo-Barron, C. B., Diaz, D., Portillo-Loera, J. J., Romo-Rubio, J. A., Jimenez-Trejo, F., & Montero-Pardo, A. (2019). Impact of heat stress on the reproductive performance and physiology of ewes : A systematic review and meta-analyses. *International Journal of Biometeorology*, 63(7), 949-962. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01707-z>

Saleh, A., & Abozed, G. (2018). Impact of using chamomile flower as a feed additive on reproductive performance and physiological responses of farafra ewes during heat stress conditions. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 21(3), 635-643. <https://doi.org/10.21608/ejnf.2018.75758>

Saleh, A., Abozed, G. F., & Zanouny, A. I. (2020). Effect of Different Dietary Electrolyte Balance Levels on Physiological Responses and Metabolic Rate of Rams Exposed to Heat Stress Conditions. *Journal of Animal and Poultry Production*, 11(11), 465-471. <https://doi.org/10.21608/jappmu.2020.130416>

Santos Junior, E. R. D., Silva, J. C. F. D., Moura, M. T., Bartolomeu, C. C., Gonçalves, P. B. D., Lima, P. F., & Oliveira, M. A. L. (2013). Avaliação de embriões ovinos provenientes de óócitos submetidos a estresse calórico durante a maturação in vitro. *Ciência Animal Brasileira*, 14(3), 360-365. <https://doi.org/10.5216/cab.v14i3.17170>

Savietto, D., Friggens, N. C., & Pascual, J. (2015). Reproductive robustness differs between generalist and specialist maternal rabbit lines : The role of acquisition and allocation of resources. *Genetics Selection Evolution*, 47(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s12711-014-0073-5>

Segura, J., Calvo, L., Escudero, R., Rodríguez, A. I., Olivares, Á., Jiménez-Gómez, B., López-Bote, C. J., & Rossi, R. (2024). Alleviating Heat Stress in Fattening Pigs : Low-Intensity Showers in Critical Hours Alter Body External Temperature, Feeding Pattern, Carcass Composition, and Meat Quality Characteristics. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/ani14111661>

Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. (2018). Review : Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 12, s431-s444. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001945>

Sejian, V., Singh, A. K., Sahoo, A., & Naqvi, S. M. K. (2014). Effect of mineral mixture and antioxidant supplementation on growth, reproductive performance and adaptive capability of Malpura ewes subjected to heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98(1), 72-83. <https://doi.org/10.1111/jpn.12037>

SEMRPQ. (2020, février 6). *Choix de race et croisement*. <https://www.semrpq.net/race/>

Shahat, A. M., Thundathil, J. C., & Kastelic, J. P. (2022). Melatonin improves testicular hemodynamics and sperm quality in rams subjected to mild testicular heat stress. *Theriogenology*, 188, 163-169. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.05.029>

Van Wettere, W. H. E. J., Kind, K. L., Gatford, K. L., Swinbourne, A. M., Leu, S. T., Hayman, P. T., Kelly, J. M., Weaver, A. C., Kleemann, D. O., & Walker, S. K. (2021). Review of the impact of heat stress on reproductive performance of sheep. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00537-z>