

Eliade Fournier

536 942 310

Séminaire en sciences animales

SAN-3100

**L'influence à long terme du stress thermique en fin de
gestation chez la chèvre laitière**

Travail remis à :

Marc-André Sirard

Département des sciences animales

Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation

Université Laval

3 mai 2024

Table des matières

Table des matières	II
Résumé	III
Liste des tableaux	IV
Liste des figures	V
1. Introduction	1
2. Introduction au stress thermique	2
2.1. Description du stress thermique	2
2.1.1. <i>Causes</i>	2
2.1.2. <i>Effets</i>	2
2.2. Indicateurs et méthodes utilisées pour étudier ce phénomène	3
3. Conséquences du stress thermique	5
3.1. Effets sur la prise alimentaire	5
3.2. Production de lait	5
3.3. Hormones	7
3.4. Expression des gènes	8
3.5. Effets sur les chevreaux	10
4. Discussion	12
4.1. Comparatif avec les vaches laitières	12
4.1.1. <i>Similitudes</i>	12
4.1.2. <i>Différences</i>	12
4.2. Stratégies d'atténuation	13
4.2.1. <i>Effet de la photopériode</i>	13
4.2.2. <i>Génétique</i>	14
4.2.3. <i>Alimentation</i>	15
4.2.4. <i>Environnement</i>	15
4.3. Perspective économique	15
5. Conclusion	18
Liste des ouvrages cités	19

Résumé

Les changements climatiques sont un sujet d'actualité dans toutes les productions agricoles et ceux-ci ont de plus en plus d'impact dans les productions animales. La hausse de la température et des taux d'humidité représente une source de stress problématique sur les différents animaux d'élevage, notamment sur la chèvre laitière de race Saanen. Il a été montré lors de plusieurs recherches et à l'aide de nombreux indicateurs tels que la température rectale et dorsale, la fréquence respiratoire, les niveaux de cortisol, le poids à la naissance, la mortalité, ainsi que plusieurs autres marqueurs spécifiques à chacune des études, qu'un stress thermique chez une chèvre en gestation et plus précisément en fin de gestation a des impacts à long terme sur celle-ci, ainsi que sur sa progéniture. Ces effets engendrent des conséquences sur la prise alimentaire, la production de lait, les hormones, et l'expression des gènes. Malgré son importance, ce phénomène, qui est encore relativement peu documenté chez la chèvre laitière, est toutefois bien reconnu chez la vache laitière. Cela permet de faire un comparatif entre les impacts sur les deux productions, de discuter des différentes stratégies d'atténuations et d'aborder la problématique avec une perspective économique.

Liste des tableaux

- Tableau 1.** Effet du stress thermique en fin de gestation sur la production de lait (kg/j) et les cellules somatiques (\log_{10}) sur un groupe de chèvres laitières soumis au stress thermique (ST) et un groupe témoin (CT).....7
- Tableau 2.** Expression des gènes dans le tissu mammaire des chèvres soumises à un stress thermique (ST) ou à un traitement de contrôle (CT).9
- Tableau 3.** Taux de survie (%) de chevreaux issus de chèvres soumises à un traitement de stress thermique (ST) ou à un traitement de contrôle (CT).11

Liste des figures

- Figure 1.** Production laitière de chèvres Saanen soumises à un traitement de stress ou de contrôle. Au jour 190 de la lactation, les chèvres ont été soumises à un stress thermique.6
- Figure 2.** Concentration de cortisol chez les chèvres Saanen avant (09h30), pendant (12h30) et après (15h30) l'imposition d'un stress ou de traitement de contrôle au jour 190 de lactation..8
- Figure 3.** Production de lait de chèvres exposées au stress thermique selon la photopériode (jours courts et jours longs).14

1. Introduction

Le réchauffement climatique est un phénomène mondial qui expose les populations à des conditions climatiques de plus en plus extrêmes. Au-delà de l'augmentation de la température moyenne de surface (GSAT), les chercheurs ont démontré que l'humidité était également à considérer comme mesure d'évaluation et ont développé l'indice de température humide du globe (WBGT). L'étude des projections futures de fréquences des températures extrêmes a démontré une augmentation significative de l'exposition des populations (humaines et animales) à des niveaux de WBGT dangereux avec le réchauffement climatique (Li et al., 2020). Ce phénomène est d'ailleurs d'actualité et bien observé au Québec, alors qu'en 2018, la Terre s'était réchauffée de 0,8°C depuis les années 1950, et la température annuelle du Québec, elle, avait augmenté de 1,1°C pour cette même période (Ouranos, 2018). Ces augmentations de température et d'humidité dans la province ont des impacts sur les différentes productions animales, notamment sur les chèvres laitières qui subissent plus fréquemment des épisodes de stress thermique. Les effets sur celles-ci seront discutés dans ce séminaire, et la race Saanen sera principalement abordée. Le Québec étant la 2^e province produisant le plus de produits à base de lait de chèvre au Canada, cette production a engendré plus de 8 millions de dollars en recettes monétaires en 2021 (Gouvernement du Québec, 2023). La chèvre laitière de race Saanen est une des races les plus populaires au Canada, avec le plus grand nombre d'enregistrements en 2018 et en 2019 (Gouvernement du Canada, 2018), et elle est également la race dont l'influence du stress thermique est le plus étudiée et documentée, c'est pourquoi elle sera mentionnée davantage au cours de cet ouvrage. Le stress thermique influence non seulement la prise alimentaire et la production de lait, mais nous verrons aussi qu'il influence à long terme différentes hormones, l'expression de certains gènes, et la progéniture lorsqu'il survient lors de la gestation, et principalement lors de la fin de celle-ci. De plus, il est intéressant de comparer ces influences avec les impacts d'un même stress sur les vaches laitières, dont un plus grand nombre d'études ont été réalisées sur le sujet, et de s'attarder aux différentes stratégies d'atténuations qui sont mises en place pour cette production afin de discuter de leur efficacité d'un point de vue économique.

2. Introduction au stress thermique

2.1. Description du stress thermique

2.1.1. Causes

Le stress thermique chez les animaux d'élevage, dont la chèvre laitière, survient lorsque les animaux sont exposés à des combinaisons de températures élevées, d'humidité et d'exposition aux rayons du soleil qui surpassent la capacité de l'animal à dissiper efficacement la chaleur accumulée. L'intensité et la durée de l'exposition à ces conditions sont également des facteurs causant le stress thermique. Si celle-ci est brève, mais plus intense, comme dans le cas d'une vague de chaleur, alors le stress thermique est dit comme étant aigu, et entraînera des réponses physiologiques et comportementales immédiates, qui seront détaillées dans la section suivante. Cependant, si les conditions environnementales chaudes ont lieu sur une période prolongée et fréquemment, on parlera alors de stress thermique chronique, et nous verrons que les effets seront plutôt cumulatifs et affecteront les animaux à long terme, même lorsque les épisodes de chaleur sont terminés. Les événements de stress thermique peuvent être atténués naturellement par des mécanismes de thermorégulation mis en œuvre par les chèvres tels que la recherche d'ombre ou encore si les températures nocturnes sont plus fraîches et permettent aux animaux de se débarrasser de la chaleur accumulée au cours de la journée (Henry et al., 2018), mais comme l'occurrence des conditions climatiques favorables aux épisodes de stress thermique est en augmentation et que les animaux et les pratiques d'élevage ne sont pas nécessairement adaptés en conséquence, des stratégies d'atténuation peuvent de plus en plus s'avérer nécessaires pour minimiser les effets d'un tel stress.

2.1.2. Effets

Tout d'abord, il est important de souligner que les réponses au stress thermique peuvent être influencées par de nombreux facteurs soit; l'espèce, la race, l'état de santé initial, les expositions antérieures, le niveau de performance, la condition corporelle, l'âge, la couleur de la peau, et le stade de lactation (Henry et al., 2018). Bien que les chèvres soient résilientes et généralement moins affectées par les variations climatiques que la moyenne des animaux d'élevage, les effets mentionnés ci-bas sont toutefois répertoriés chez les

chèvres laitières, principalement de race Saanen, qui sont parmi les plus sensibles au stress thermique (Rebeca et al., 2022).

Le stress thermique aigu, comme mentionné précédemment, causera des perturbations immédiates chez les animaux. Celles-ci vont inclure une augmentation de la fréquence cardiaque et de la température rectale et dorsale, une réduction de l'ingestion de matière sèche, une hausse de la consommation d'eau causant une perte d'électrolytes, une altération de l'activité du rumen, et par conséquent, une diminution de la production (Rebeca et al., 2022).

Pour le stress thermique chronique, il peut entraîner quant à lui des effets cumulatifs néfastes sur la santé et la performance des animaux, tels qu'une diminution de la productivité à long terme, un bien-être compromis, une diminution de l'efficacité de reproduction, une modification dans la production d'hormones et d'expression des gènes, et dans le cas des chèvres gestantes, le stress thermique chronique peut affecter les taux de survie et la production laitière de la progéniture.

Les principaux effets mentionnés seront détaillés un à un dans la section 3 de ce séminaire.

2.2. Indicateurs et méthodes utilisées pour étudier ce phénomène

Afin d'observer les réponses physiologiques, comportementales et métaboliques au stress thermique, les chèvres à différents moments de leur cycle de production sont exposées à des températures élevées et pour des périodes de durée variable selon l'étude. Dans la majorité des cas, un groupe de chèvres est conservé en conditions normales et est utilisé comme témoin afin de comparer les résultats obtenus. Plusieurs indicateurs sont utilisés selon les caractères étudiés lors de chaque étude. Tout d'abord, les conditions pouvant causer un stress thermique chez un animal sont exprimées sous forme d'indices thermique dans la grande majorité des ouvrages scientifiques. Bien que principalement utilisé chez la vache laitière, ces indices peuvent s'appliquer aux autres productions tel que chez la chèvre laitière puisqu'ils permettent de juger en premier lieu si les conditions environnementales auxquelles l'animal est soumis ont le potentiel de causer un stress thermique et par la suite d'évaluer la sévérité de ce stress s'il y a lieu. L'indice de température et d'humidité (ITH) est l'indicateur environnemental le plus utilisé dans les études sur le stress thermique puisqu'il combine les effets de la température et de l'humidité pour déterminer le niveau de stress que subisse les animaux, précisément en conditions où ceux-ci sont logés à

l'intérieur d'une étable. L'ITH et la température rectale sont fortement corrélés et augmentent proportionnellement ensemble. Cette dernière est donc également un bon marqueur de la balance thermique d'un animal qui est grandement utilisé en recherche (Ouellet, 2019). La température dorsale, la fréquence respiratoire et les niveaux de cortisol sont aussi de bons indicateurs de santé reconnus qui permettent de confirmer si l'animal se retrouve en état de stress thermique ou non. Ces marqueurs sont tous utilisés dans la grande majorité des études qui seront mentionnées au cours de ce séminaire. Par la suite, la prise alimentaire et la consommation d'eau, l'expression génétique de certaines protéines, notamment les protéines de choc thermique et les gènes associés à l'apoptose sont des facteurs fréquemment observés dans les recherches concernant le stress thermique. Lorsque ce sont plutôt les influences sur le système mammaire qui sont étudiées, le gène récepteur des glucocorticoïdes et la concentration des cellules somatiques peuvent être utilisés. Si l'étude porte sur les chèvres gestantes et les chevreaux, les facteurs tels que le poids à la naissance, la mortalité à la naissance et au sevrage, le niveau d'activité, la température fœtale, la durée de gestation, et l'expression du gène récepteur de la prolactine et des gènes dans le placenta seront mesurés en plus des indicateurs de base mentionnés plus haut. L'utilisation d'une combinaison de ces indicateurs permet alors de déterminer les nombreuses conséquences que peut avoir un stress thermique à long terme chez les chèvres laitières, qui seront détaillées dans la section suivante.

3. Conséquences du stress thermique

3.1. Effets sur la prise alimentaire

La diminution de la prise alimentaire est l'une des conséquences premières du stress thermique. En effet, des conditions de chaleurs excessives ont pour effet de perturber le métabolisme des chèvres laitières, réduisant ainsi leur appétit. L'expérience menée par Wellington Coloma-García *et al.* (2020) montre que des chèvres laitières ayant réalisé leur gestation en conditions thermiques neutres (ITH = 71 ± 3) consommaient en moyenne 2,52 kg par jour, en comparaison avec une consommation plus basse ($P < 0,01$) à 2,12 kg par jour pour les chèvres ayant complété leur gestation sous l'effet d'un stress thermique (ITH = 85 ± 3), ce qui représente une réduction de 16% (Wellington Coloma-García *et al.*, 2020). Des résultats similaires ont été obtenus par G.M.O Maloiy *et al.* (2008) en démontrant qu'une charge thermique intermittente diminue significativement ($P < 0,01$) l'apport alimentaire par rapport à une période témoin. La production de matière sèche fécale et la proportion d'aliments digérés sont également réduites (G.M.O. Maloiy *et al.*, 2008). Comme l'apport alimentaire est directement lié à la production laitière, ces réductions de la consommation dues au stress thermique engendrent donc une diminution de la production de lait des animaux affectés.

3.2. Production de lait

En effet, il a été montré que le stress thermique réduit la production laitière chez les chèvres. Cette réduction est causée à la fois par une diminution de la matière sèche consommée, et par une demande accrue en énergie par le métabolisme. Cette demande en énergie est associée entre autres à une diminution de l'hormone de croissance, une réduction de l'apport sanguin au pis, une régulation à la baisse de l'expression des gènes des protéines du lait et à la hausse de l'apoptose dans la glande mammaire (Rebeca *et al.*, 2022). Cette dernière entraîne une diminution de la synthèse et de la sécrétion du lait. Également, comme nous verrons plus en détail dans la sous-section 3.3, une des premières réactions physiologiques au stress thermique chez la chèvre laitière est la libération de cortisol. Cette hormone est directement associée à une production laitière plus faible et à une augmentation des concentrations de cellules somatiques dans le lait. Une étude a été effectuée par Liliane *et al.* (2023) sur trente chèvres Saanen en lactation, dont 15 étaient en

conditions contrôlés (ITH = 76) et 15 étaient soumises à différents stressseurs, dont le stress thermique (ITH = 85). Il a été montré qu'il y avait une interaction entre le traitement de stress et la production laitière (Figure 1), celle-ci étant significativement inférieure suite à un épisode de stress thermique. Cependant, aucun effet n'est à noter sur la composition du lait (pourcentage de matières grasses, de protéines et de lactose), mais il y avait une différence significative sur le nombre de cellules somatiques, celles-ci étant plus élevées chez les chèvres sous stress que chez les chèvres sous traitement de contrôle (Liliane et al., 2023).

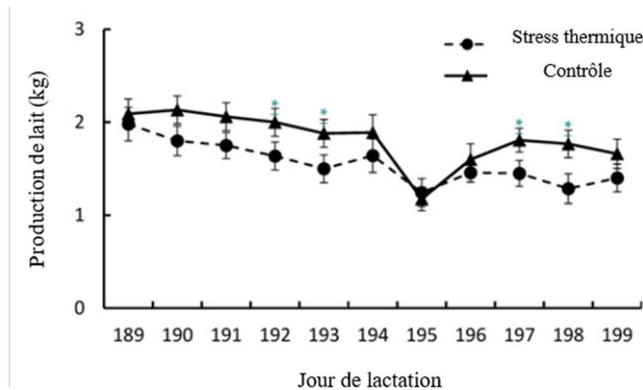


Figure 1. Production laitière de chèvres Saanen soumises à un traitement de stress ou de contrôle. Au jour 190 de la lactation, les chèvres ont été soumises à un stress thermique. Les moyennes avec * diffèrent ($P < 0,05$). Adaptée de Liliane et al. (2023)

Une seconde étude a été réalisée par Hooper *et al.* (2020) sur deux groupes de 16 chèvres Saanen, le premier étant soumis au stress thermique (ITH = 82.27) pendant les 45 jours précédant le vêlage et le deuxième étant un groupe témoin (ITH = 70.07). Il a été montré suite à cette étude que les chèvres ayant subi du stress thermique avaient une tendance à produire moins de lait ($P = 0,06$) pendant la première moitié de la lactation que les chèvres du groupe témoin (Tableau 1), dû à une régulation à la baisse de la signalisation de la prolactine, et qu'il y avait une augmentation significative ($P < 0,001$) du nombre de cellules somatiques (CCS) (Hooper et al., 2020).

Tableau 1. Effet du stress thermique en fin de gestation sur la production de lait (kg/j) et les cellules somatiques (\log_{10}) sur un groupe de chèvres laitières soumis au stress thermique (ST) et un groupe témoin (CT)

Lactation (Semaines)	1 à 3		4 à 12		13 à 24		25 à 35	
Groupe	ST	CT	ST	CT	ST	CT	ST	CT
Production de lait (kg/j)	1.85	2.02	1.92	2.31	1.47	1.99	1.45	1.49
CCS* (\log_{10})	5.87	5.56	5.73	5.62	5.67	5.54	5.62	5.48

* Valeurs x 10^3 /ml

Adapté de Hooper et al. (2020)

L'équipe de Hooper *et al.* (2021) ont par la suite réalisé une seconde étude avec les chèvres Saanen, en utilisant 46 animaux séparés en deux groupes, le groupe témoin maintenu en conditions thermiques neutres et le groupe soumis au stress thermique, cette fois-ci 60 jours avant le vêlage. Comme attendu, les résultats ont démontré une diminution de la production de lait chez les chèvres soumises au stress thermique, particulièrement entre les semaines 4 à 10 de lactation (Hooper et al., 2021). L'objectif de cette deuxième étude était toutefois concentré plutôt sur l'expression génétique des protéines de choc thermique et sur les niveaux de cortisol, qui seront discutés dans la sous-section suivante.

3.3. Hormones

Le cortisol est la principale hormone stéroïdienne associée à la réponse au stress et joue un rôle important dans la régulation du métabolisme. Elle est donc un bon indicateur afin de déterminer si un animal est en situation de stress thermique. En effet, l'étude menée par Hooper *et al.* (2021) a démontré une augmentation significative des niveaux de cortisol chez les animaux sous stress du 15^e jour avant le vêlage jusqu'au 15^e jour suivant le vêlage, malgré que les chèvres ayant été soumises au stress thermique aient été retournés en conditions thermiques neutres avec le deuxième groupe la journée de leur vêlage. Ceci indique un effet durable de ce type de stress (Hooper et al., 2021). Également, la même étude mentionnée dans la sous-section 3.2 qui a été effectuée par Liliane *et al.* (2023) a démontré qu'il y avait une interaction significative entre l'exposition des animaux à des

chaleurs les soumettant à un stress thermique et la libération de cortisol, celle-ci demeurant élevée même plusieurs heures suivant le retour en conditions neutres (Figure 2).

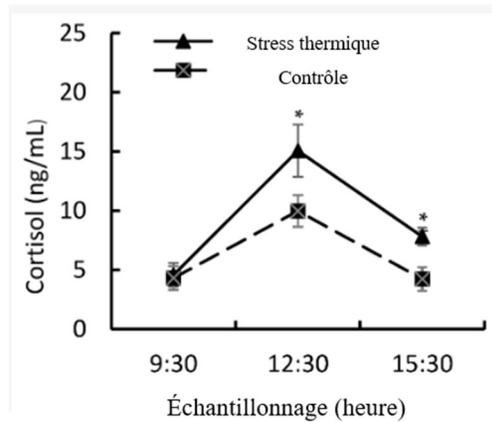


Figure 2. Concentration de cortisol chez les chèvres Saanen avant (09h30), pendant (12h30) et après (15h30) l'imposition d'un stress ou de traitement de contrôle au jour 190 de lactation. Les moyennes avec * diffèrent ($P < 0,05$).

Adaptée de Liliane et al. (2023)

Également, une diminution de la concentration des hormones thyroïdiennes a été observée chez les chèvres laitières en stress thermique, ce qui engendre une réduction du taux métabolique de base afin de diminuer la production de chaleur animale causée par la consommation d'oxygène et l'activité des cellules (Salama et al., 2014).

3.4. Expression des gènes

Au-delà d'une modification de la prise alimentaire, de la production laitière et des niveaux d'hormones, une exposition à des conditions de chaleur, d'humidité et de rayonnement intense sur une durée prolongée peut également avoir une incidence sur l'expression des gènes chez la chèvre laitière Saanen. En effet, plusieurs études ont répertorié des changements de l'expression génétique des protéines de choc thermique, des gènes associés à l'apoptose, et des gènes exprimés dans le tissu mammaire et dans le placenta. Tout d'abord, une étude menée par Hooper *et al.* (2018) a démontré à l'aide d'un groupe de dix chèvres Saanen exposée à des conditions de stress thermique (ITH > 80) pendant trois jours d'affilés que le stress thermique intense entraîne une réaction génétique chez celles-ci. En parallèle, des expériences *In vitro* ont été menées en exposant des leucocytes sanguins de chèvres Saanen à des températures entre 38°C et 40°C afin d'observer les impacts sur l'expression des mêmes gènes que dans les sujets. Les résultats ont démontré

chez les chèvres une augmentation de l'expression des protéines de choc thermique, qui ont pour rôle de protéger les cellules contre les dommages causés par le stress thermique et *In vitro* une augmentation de l'expression des gènes protecteurs a été observé, suggérant un mécanisme de défense cellulaire (Hooper et al., 2018). Toujours par Hooper *et al.* (2020), l'étude décrite à la sous-section 3.2 a également montré une diminution de l'expression du gène récepteur de la prolactine dans la glande mammaire, ce qui entraîne une baisse de production de lait, et une augmentation des gènes liés à l'apoptose (Hooper et al., 2020). Par la suite, l'étude menée par Liliane *et al.* (2023) mentionné lors des sous-sections 3.2 et 3.3 a également démontrée une augmentation significative de certains gènes dans le tissu mammaire des chèvres Saanen exposée à un stress thermique. Ces gènes sont des indicateurs de l'action du cortisol (GR), de la réponse inflammatoire (IFN- γ) et des enzymes antioxydantes qui sont impliquées dans la protection des cellules (SOD, CAT) (Tableau 2; Liliane et al., 2023).

Tableau 2. Expression des gènes dans le tissu mammaire des chèvres soumises à un stress thermique (ST) ou à un traitement de contrôle (CT).

Les données sont présentées sous forme de moyenne \pm erreur standard.

Expression du gène	ST	CT	Valeur de p
GR	1.34 ^a \pm 0,09	1.02 ^b \pm 0.02	0.03
IFN-γ	2.89 ^a \pm 0.28	1.34 ^b \pm 0.24	0.01
SOD	1.70 ^a \pm 0.11	1.14 ^b \pm 0.06	0.01
CAT	1.33 ^a \pm 0.08	1.00 ^b \pm 0.04	0.02

^{a, b} différente lettre pour une même ligne signifie une différence significative

Adapté de Liliane et al. (2023)

Pour ce qui est de l'expression des gènes dans le placenta, l'équipe de Silva *et al.* (2021) a réalisé une étude sur 46 chèvres Saanen séparée également en deux groupes, soit celles soumises à un traitement témoin dans un environnement neutre (ITH = 72 \pm 1.2) et celles soumises à un stress thermique (ITH = 89 \pm 9.9) durant les 60 derniers jours de la gestation jusqu'au vêlage. Les résultats de cette étude ont démontré chez les chèvres en stress thermique une augmentation de l'expression des gènes impliqués dans la régulation du cortisol et dans la réponse au stress et à l'inflammation, ainsi qu'une augmentation des

gènes codant pour différentes protéines de choc thermique et une diminution du gène responsable de convertir le cortisol en cortisone. Ceci a pour effet d'augmenter la concentration de cortisol dans le liquide amniotique et suggère que le stress thermique modifie la synthèse de cette hormone par le placenta (Silva et al., 2021). Dans la sous-section suivante, ces effets seront discutés pour leurs impacts sur la progéniture des chèvres soumises au stress thermique au stade final de leur gestation.

3.5. Effets sur les chevreaux

Bien que les chèvres semblent détenir de bons mécanismes de protection thermique intra-utérins afin de protéger leur fœtus contre les changements de température corporelle (Faurie et al., 2001), nous avons pu voir que le stress thermique engendre tout de même différentes modifications au niveau du liquide amniotique et du placenta, qui peuvent avoir des répercussions sur les chevreaux. Une étude menée par Holmes *et al.* (1986) a effectivement démontré que les chevreaux provenant de mères ayant vécu du stress thermique pendant la seconde moitié de leur période de gestation ont un poids à la naissance diminué, allant jusqu'à une baisse de 24%, particulièrement dans le cas des jumeaux (Holmes et al., 1986). Ces résultats ont été confirmés lors de l'étude plus récente de Wellington Coloma-García *et al.* (2020) mentionné à la sous-section 3.1. En effet, les conséquences du stress thermique pendant la gestation et au début du *post-partum* recensé sont les suivants ; une durée de gestation raccourcie de trois jours ($P < 0,01$) et un poids de portée qui a tendance à être inférieur ($P = 0,06$) chez les chèvres en stress thermique en comparaison avec les chèvres en conditions thermiques neutres. Les chevreaux issus de mères ayant été soumises au stress ont également présenté des altérations du comportement exploratoire à un mois, mais ces différences disparaissent à trois mois (Wellington Coloma-García et al., 2020). La recherche mentionnée à la sous-section 3.4 par Silva *et al.* (2021) a montré des taux de mortalité significativement plus élevés chez les chevreaux nés de chèvres exposées au stress thermique par rapport à ceux issus de chèvres témoins (Tableau 3), ce qui suggère que le stress thermique en fin de gestation affecte les réponses des descendants aux défis environnementaux ultérieurs (Silva et al., 2021).

Tableau 3. Taux de survie (%) de chevreaux issus de chèvres soumises à un traitement de stress thermique (ST) ou à un traitement de contrôle (CT).

Taux de survie (%)	ST	CT	Valeur de p
Jour 0	100	100	-
Jour 60	90 ^a	100 ^b	0.04

^{a, b} différente lettre pour une même ligne signifie une différence significative

Adapté de Silva et al. (2021)

Ces études n'ont toutefois pas démontré de différences entre les chevreaux rendus adultes qui étaient issus de chèvres ayant été exposées au stress thermique et ceux provenant des chèvres des groupes témoins. Cependant, le nombre de recherche réalisées sur le sujet est encore minimal à ce jour et on sait peu de choses sur les conséquences à long terme du stress thermique prolongé sur les stades finaux de la gestation chez les chèvres laitières, et on en sait encore moins sur les effets sur les chevreaux, principalement à long terme. Les études sont encore insuffisantes à ce jour pour établir une véritable conclusion sur ces derniers. C'est pourquoi il est donc intéressant de naviguer sur les effets d'un tel stress en fin de gestation sur les autres animaux de cette production et leur descendance qui sont mieux documentés, telle que les vaches laitières et les veaux.

4. Discussion

4.1. Comparatif avec les vaches laitières

4.1.1. Similitudes

Les dernières semaines de gestation sont une période critique pour les animaux laitiers, puisqu'elles peuvent grandement influencer la lactation qui suivra. Lors de cette période, de nombreux changements physiologiques se produisent et des facteurs tels que le stress thermique peuvent être perturbateurs. Tout comme chez la chèvre laitière, le stress thermique en fin de gestation peut affecter la production de lait et la prise alimentaire chez la vache. Cette diminution de la productivité est associée à une perturbation de la glande mammaire et une altération des réponses métaboliques (Cattaneo et al., 2022). En effet, une étude menée par Garner *et al.* (2017) et citée par Henry *et al.* (2018) a constaté que des vaches laitières exposées à un stress thermique modéré pour une durée de 4 jours avaient une réduction de leur production de lait de 53% et une diminution de l'ingestion de matière sèche de 48% (Henry et al., 2018). Également, tout comme chez la chèvre laitière, le stress thermique en fin de gestation a des impacts sur le développement et le fonctionnement du placenta, et entraîne des conséquences sur l'état de santé ultérieur des veaux. La plus grande similitude de ces conséquences avec celles chez la chèvre est une tendance à avoir des poids à la naissance plus faibles (Cattaneo et al., 2022). De façon similaire aux chèvres, les vaches soumises au stress thermique voient aussi leur niveau de cortisol augmenter significativement, ainsi que leurs hormones thyroïdiennes à diminuer, de manière à réguler le métabolisme et diminuer la production de chaleur métabolique. L'augmentation de l'expression des protéines de choc thermique est pareillement un des effets partagés en réponse au stress thermique chez les deux espèces (M. Bagath et al., 2019).

4.1.2. Différences

Une des plus grandes différences entre les conséquences du stress thermique chez la chèvre laitière en fin de gestation en comparaison avec la vache laitière au même stade de son cycle de production est l'impact sur l'immunité. En effet, de nombreuses études mentionnent un système immunitaire affecté suite à un stress thermique, autant chez la vache que chez son veau (Ouellet et al., 2020; Cattaneo et al., 2022; M. Bagath et al., 2019),

alors que l'immunité n'est pas un aspect mentionné dans les études sur les impacts du stress thermique chez les chèvres laitières. Il a été montré que les vaches exposées au stress thermique lors des dernières semaines de leur gestation transmettaient moins efficacement l'immunité à leur progéniture, ce qui résulte ultérieurement en une fonction immunitaire affaiblie chez les veaux, et donc en un accroissement de leur vulnérabilité aux maladies (Cattaneo et al., 2022). Également, bien que le stress thermique ait un effet sur la productivité des chèvres et des vaches laitières subissant ce stress, celle-ci peut aussi altérer la production de lait chez la descendance des vaches ayant subi ce stress, voire même sur la troisième génération, alors que pour la chèvre, seulement la production de l'animal directement touché par le stress thermique était affectée. En effet, les veaux ayant été exposés au stress thermique *In utero* ont démontré un profil d'expression génique différent dans le foie et la glande mammaire, affectant le métabolisme hépatique et le développement du système mammaire et compromettant leur productivité dans le troupeau. Ces effets peuvent influencer la production laitière jusqu'à la troisième génération (Ouellet et al., 2020; Cattaneo et al., 2022). La compréhension de ces nombreuses conséquences est cruciale afin d'améliorer la gestion des animaux, que ce soient les chèvres ou les vaches, lors de leur gestation afin qu'ils soient minimalement affectés par tout type de stress, dont le stress thermique.

4.2. Stratégies d'atténuation

Il est maintenant évident que le stress thermique est un facteur important à considérer dans les systèmes de production laitière bovine et caprine, d'autant plus avec les changements climatiques qui engendrent de plus en plus de conditions de température et d'humidité élevées, d'où l'importance d'étudier les différentes stratégies d'atténuation pour remédier à cette problématique.

4.2.1. Effet de la photopériode

Tout d'abord, la photopériode est un facteur environnemental important chez les chèvres laitières qui a un rôle crucial dans la régulation de différents processus biologiques. Une étude a été menée par S.J. Mabjeesh *et al.* (2013) afin d'examiner l'effet du stress thermique lors du troisième trimestre de gestation chez les chèvres laitières Saanen selon la photopériode. Les animaux ont donc été séparés en deux groupes comportant chacun 4

chèvres et un était soumis à des jours longs, soit 16h de lumière et 8h d'obscurité, tandis que l'autre était soumis à des jours courts, soit 8h de lumière et 16h d'obscurité. Les résultats ont permis de constater que la production laitière était significativement plus élevée, soit de 40%, à partir de la troisième semaine de lactation dans le groupe avec la photopériode courte, malgré les conditions de stress thermique ($P < 0,01$). Cette production accrue serait due à des niveaux et une sensibilité plus élevés à la prolactine avant le vêlage (Figure 3; S.J. Mabjeesh et al., 2013).

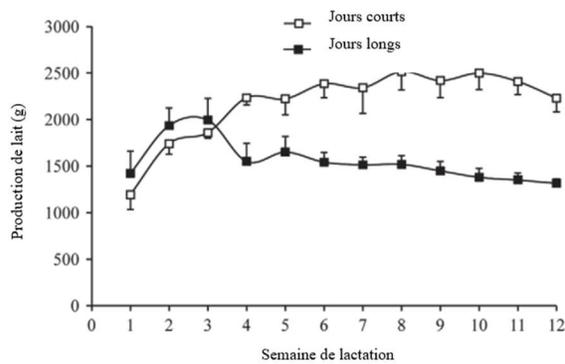


Figure 3. Production de lait de chèvres exposées au stress thermique selon la photopériode (jours courts et jours longs).

Adaptée de S.J. Mabjeesh et al. (2013)

Suite à cette étude, il pourrait donc être pertinent pour les producteurs pratiquant le dessaisonnement d'explorer les effets de celui-ci sur la production des animaux de façon à venir neutraliser les effets du stress thermique via l'axe de la prolactine qui est stimulé par cette photopériode de jours courts.

4.2.2. Génétique

La sélection ou le croisement de races mieux adaptées aux conditions climatiques de température et d'humidité élevées peut être une stratégie d'atténuation du stress thermique afin d'obtenir des animaux thermotolérants, qui ressentiront le moins possible de stress thermique et qui seront tout autant productifs, quelle que soit la saison de l'année. Les études menées sur les chèvres laitières sont néanmoins encore rares et les effets de la température sur les paramètres métaboliques et énergétiques chez les différentes races sont peu explorés. Malgré cette rareté dans les recherches sur le sujet, les quelques études dans le domaine suggèrent un grand potentiel des chèvres autochtones pour leur résistance au

stress thermique. Cette résistance doit toutefois être étudiée davantage afin de déterminer les facteurs nutritionnels, génétiques et environnementaux qui provoquent cette habilité à s'adapter aux températures extrêmes (Henry et al., 2018).

4.2.3. *Alimentation*

Comme discuté à la sous-section 3.1, le stress thermique chez les chèvres laitières engendre une réduction de la prise alimentaire des animaux, résultant directement en une diminution de la production de lait. Afin d'atténuer les effets des carences nutritionnelles engendrées par une baisse de consommation d'aliments, les régimes alimentaires peuvent être ajustés. Par exemple, augmenter la teneur en concentrés et en énergie digestible des rations tout en diminuant les teneurs en fibres lors des périodes de chaleur diminue la demande en énergie du métabolisme pour la digestion, particulièrement par le rumen, et donc par le fait même, réduit la production de chaleur métabolique supplémentaire, tout en compensant la baisse d'ingestion. La supplémentation en électrolytes peut également venir soulager la déshydratation qui peut accompagner le stress thermique (Henry et al., 2018).

4.2.4. *Environnement*

Finalement, le comportement le plus courant et instinctif chez les chèvres en situation de stress thermique est la recherche de l'ombre. L'amélioration de la gestion des conditions ambiantes en fournissant des zones ombragées, de préférence naturelles, pourrait donc être une stratégie pouvant être adoptée par les producteurs ayant des animaux qui vont au pâturage. Pour les animaux vivant à l'intérieur toute l'année, l'ajout de brumisateurs ou de ventilateurs peut être un moyen efficace de réduire la charge de chaleur des animaux et l'accès à une quantité suffisante, idéalement illimitée d'eau potable et fraîche est primordial, peu importe la région (Henry et al., 2018).

4.3. Perspective économique

Une étude récente a été menée par D. Martin-Collado *et al.* (2023) pour l'Association américaine des sciences laitières afin d'obtenir une compréhension de la volonté des éleveurs laitiers d'inclure la tolérance à la chaleur dans leurs objectifs d'élevage. Un total de 122 éleveurs à la fois de bovins, de chèvres et de moutons ont été sondés sur la question. Les résultats démontrent que les producteurs sont conscients que le stress thermique représente un enjeu grandissant dû aux changements climatiques et que les communautés

agricoles devraient investir davantage dans la recherche sur les stratégies d'atténuation de cette problématique. Bien que la majorité des éleveurs laitiers perçoivent effectivement le stress thermique comme un enjeu qui bénéficierait d'obtenir plus d'attention, les éleveurs de chèvres laitières sont ceux étant le moins préoccupé par les conséquences du stress thermique sur leur production, tandis que les éleveurs de bovins laitiers, eux sont très préoccupés, principalement pour les impacts sur la production laitière de leurs animaux. Cependant, bien qu'ils aillent exprimés accordé de l'importance à la problématique et un intérêt à ce que celle-ci soit davantage mise de l'avant lors des projets menés par les communautés et les programmes agricoles, un pourcentage important des producteurs de bovins (42%) et de chèvres (44%) ont affirmé ne pas être prêts à compromettre leurs gains de production afin d'améliorer la tolérance à la chaleur de leurs animaux, et ces mêmes agriculteurs ont indiqués être plus enclins à utiliser les technologies agricoles de lutte contre la chaleur telle que les brumisateurs et les ventilateurs plutôt que l'utilisation d'outils de sélection (D. Martin-Collado et al., 2023). Bien qu'elle n'apporte pas de résultats immédiats comme ces technologies, la sélection génétique pour la tolérance à la chaleur est une stratégie plus durable sur les aspects environnementaux et économiques que l'implantation des dispositifs mentionnés plus haut qui consomment à la fois de grandes quantités d'énergie, d'eau et nécessitent plus de ressources financières. Il s'agit d'une solution efficace à long terme. Cependant, l'avancement des recherches et le succès de la sélection pour la tolérance à la chaleur reposent sur l'intention des éleveurs d'intégrer ce caractère dans leurs objectifs de sélection puisqu'elle oriente grandement les résultats potentiels des programmes d'élevage et donc, tant que les producteurs prioriseront les résultats à court terme plutôt que des résultats durables et à long terme, cette stratégie d'atténuation ne sera pas dans celles priorisées par les éleveurs pour lutter contre le stress thermique. La volonté des éleveurs à adapter leur période de dessaisonnement ou leurs rations alimentaires afin d'atténuer les effets néfastes du stress thermique n'est pas encore documentée. Les pertes économiques associées aux diminutions de production lors des périodes de stress thermique chez les chèvres laitières particulièrement en région tempérée comme en Amérique du Nord ne sont pas assez importantes à ce jour pour que les producteurs soient motivés à mettre en place un budget pour l'investissement dans des mesures d'atténuation des répercussions d'un tel stress. Il serait intéressant toutefois de

conduire une étude similaire à celle mentionnée plus haut sur la volonté et les objectifs d'élevage face aux enjeux qu'apporte le stress thermique chez les éleveurs de chèvres laitières en région tropicale et subtropicale, afin de comparer les priorités des producteurs selon le climat auquel est soumise leur production.

5. Conclusion

Suite à l'évaluation des nombreuses recherches effectuées sur les conséquences du stress thermique en fin de gestation chez les chèvres laitières, il est possible d'affirmer que ce type de stress a définitivement une influence à long terme sur les animaux affectés lors de leur gestation, et principalement au stade final de celle-ci. Tel que détaillé dans ce séminaire, l'exposition des animaux à des conditions climatiques leur causant du stress thermique a des conséquences sur de nombreux aspects physiologiques et métaboliques, notamment la prise alimentaire, la production de lait, la régulation des hormones, l'expression des gènes et même sur la descendance. Malgré le fait que cette production soit moins sévèrement touchée chez la chèvre que chez la vache, et que les impacts sont assez limités au Canada en raison du climat, il demeure intéressant et important de connaître les différentes stratégies d'atténuation développées pour réduire les impacts du stress thermique, spécifiquement dans un contexte de réchauffement climatique où les incidents de températures et d'humidité élevées sont de plus en plus fréquents, et ce, à travers le monde. Finalement, il serait intéressant de vérifier si les volontés des éleveurs en termes d'investissement pour réduire les impacts du stress thermique seront modifiées au fil des années, lorsque davantage d'études répertorient les impacts d'un tel stress sur la productivité de leurs animaux seront réalisées et que ceux-ci se verront confrontés à de plus en plus d'épisodes de conditions météorologiques extrêmes.

Liste des ouvrages cités

- Canada, A. (2018). *Enregistrements des chèvres au Canada - agriculture.canada.ca*. Canada.ca.
<https://agriculture.canada.ca/fr/secteur/production-animale/centre-canadien-dinformation-laitiere/publications/statistiques-canadiennes-du-secteur-genetique-animale/enregistrements-chevres-au-canada>
- Cattaneo, L., Laporta, J., & Dahl, G. E. (2022). Programming effects of late gestation heat stress in dairy cattle. *Reproduction, Fertility and Development*, 35(2), 106–117.
<https://doi.org/10.1071/rd22209>
- D. Martin-Collado, Diaz, C., M. Ramón, Iglesias, A., M.J. Milán, M. Sánchez-Rodríguez, & M.J. Carabaño. (2023). Are farmers motivated to select for heat tolerance? Linking attitudinal factor, perceived climate change impact and social trust to farmers breeding desires. *Journal of Dairy Science*.
<https://doi.org/10.3168/jds.2023-23722>
- Faurie, A. S., Mitchell, D., & Laburn, H. P. (2001). Feto-Maternal Relationships in Goats During Heat and Cold Exposure. *Experimental Physiology*, 86(2), 199–204.
<https://doi.org/10.1113/eph8602152>
- Garner, J., Douglas, M., Williams, S. R. O., & Hayes, B. J. (2017). *Responses of dairy cows to short-term heat stress in controlled-climate chambers*. ResearchGate; CSIRO Publishing.
https://www.researchgate.net/publication/314716457_Responses_of_dairy_cows_to_short-term_heat_stress_in_controlled-climate_chambers
- G.M.O. Maloiy, T.I. Kanui, P.K. Towett, S.N. Wambugu, J.O. Miaron, & M.M. Wanyoike. (2008). Effects of dehydration and heat stress on food intake and dry matter digestibility in East African ruminants. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 151(2), 185–190.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2008.06.019>
- Gupta, S., Sharma, A., Joy, A., Frank Rowland Dunshea, & Surinder Singh Chauhan. (2022). The Impact of Heat Stress on Immune Status of Dairy Cattle and Strategies to Ameliorate the Negative Effects. *Animals*, 13(1), 107–107.
<https://doi.org/10.3390/ani13010107>

- Henrique Barbosa Hooper, Priscila, Aparecida, S., Krempel, G., Cristiane Gonçalves Titto, & João Alberto Negrão. (2021). Long-term heat stress at final gestation: physiological and heat shock responses of Saanen goats. *International Journal of Biometeorology*, 65(12), 2123–2135.
<https://doi.org/10.1007/s00484-021-02175-0>
- Henrique Barbosa Hooper, Priscila, Aparecida, S., Krempel, G., & João Alberto Negrão. (2018). Acute heat stress induces changes in physiological and cellular responses in Saanen goats. *International Journal of Biometeorology*, 62(12), 2257–2265.
<https://doi.org/10.1007/s00484-018-1630-3>
- Henry, B. K., Eckard, R. J., & Beauchemin, K. A. (2018). Review: Adaptation of ruminant livestock production systems to climate changes. *Animal*, 12, s445–s456.
<https://doi.org/10.1017/s1751731118001301>
- Holmes, G., S. Prasetyo, Miller, H. M., & Scheurmann, E. A. (1986). Effect of chronic heat load during pregnancy on birth weight, behaviour and body composition of Australian feral goat kids. *Tropical Animal Health and Production*, 18(3), 185–190.
<https://doi.org/10.1007/bf02359533>
- Hooper, H. B., Silva, S.A. de Oliveira, G.K.F. Meringhe, Lacasse, P., & J.A. Negrão. (2020). Effect of heat stress in late gestation on subsequent lactation performance and mammary cell gene expression of Saanen goats. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1982–1992.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16734>
- Li, D., Yuan, J., & Kopp, R. E. (2020). Escalating global exposure to compound heat-humidity extremes with warming. *Environmental Research Letters*, 15(6), 064003–064003.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7d04>
- Liliane, M., Priscila, Henrique Barbosa Hooper, Krempel, G., Aparecida, S., & João Alberto Negrão. (2023). Effect of Acute and Cumulative Stress on Gene Expression in Mammary Tissue and Their Interactions with Physiological Responses and Milk Yield in Saanen Goats. *Animals*, 13(23), 3740–3740.
<https://doi.org/10.3390/ani13233740>

- M. Bagath, Krishnan, G., C. Devaraj, V.P. Rashamol, P. Pragna, Lees, A. M., & V. Sejian. (2019). The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Research in Veterinary Science*, *126*, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.08.011>
- Ouellet, V. (2019). Le stress de chaleur chez la vache laitière : effets sur les performances de production des troupeaux laitiers québécois. *Thèse de doctorat, Université Laval*.
- Ouellet, V., Laporta, J., & Dahl, G. E. (2020). Late gestation heat stress in dairy cows: Effects on dam and daughter. *Theriogenology*, *150*, 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.03.011>
- Ouranos (2018). *Comprendre la science du climat - changements au Québec*. <https://www.ouranos.ca/fr/science-du-climat-changements-quebec#:~:text=Dans%20les%20r%C3%A9gions%20nordiques%2C%20un,de%201%2C1%2C%B0C>.
- Rebeca, A., Robson, Samires, M., Bertolaso, L., Machado, H., & Kléber Tomás Resende. (2022). Relationship between thermal environment, thermoregulatory responses and energy metabolism in goats: A comprehensive review. *Journal of Thermal Biology*, *109*, 103324–103324. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103324>
- Salama, A. A. K., Caja, G., S. Hamzaoui, B. Badaoui, A. Castro-Costa, D.A.E. Façanha, M.M. Guilhermino, & Bozzi, R. (2014). Different levels of response to heat stress in dairy goats. *Small Ruminant Research*, *121*(1), 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.11.021>
- Silva, P. S., Hooper, H. B., Manica, E., G.K.F. Merighe, Oliveira, S. A., A.S. Traldi, & J.A. Negrão. (2021). Heat stress affects the expression of key genes in the placenta, placental characteristics, and efficiency of Saanen goats and the survival and growth of their kids. *Journal of Dairy Science*, *104*(4), 4970–4979. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18301>
- S.J. Mabweesh, C. Sabastian, O. Gal-Garber, & A. Shamay. (2013). Effect of photoperiod and heat stress in the third trimester of gestation on milk production and circulating hormones in dairy goats. *Journal of Dairy Science*, *96*(1), 189–197. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5624>

Wellington Coloma-García, Nabil Mehaba, Pol Llonch, Caja, G., Such, X., & Ahmed. (2020). Prenatal heat stress effects on gestation and postnatal behavior in kid goats. *PLOS ONE*, 15(2), e0220221–e0220221. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220221>