



Impacts du stress thermique sur les vaches laitières

Revue de littérature

Rédaction : Roxane VALLÉE (*Institut de l'Élevage*)

Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est formel, les bouleversements climatiques s'accroissent (5^{ème} rapport). La hausse globale des températures qui le caractérise s'accompagne d'une augmentation de phénomènes météorologiques extrêmes, à l'image des vagues de chaleur estivales subies en France ces dernières années. Celles-ci impactent nos sociétés à plusieurs niveaux, perturbant notamment la production alimentaire.

Les élevages de bovins laitiers sont concernés par ce changement climatique sur plusieurs volets : modification des cycles des cultures et des rendements, généralisation de certaines maladies animales et végétales, etc. Ce document se focalisera sur l'impact de la chaleur sur les vaches laitières. En effet, la vache est peu adaptée à la chaleur puisqu'elle l'évacue difficilement en transpirant peu alors qu'elle en produit elle-même beaucoup, les fermentations ruminales maintenant le rumen 1 à 2°C plus chaud que le reste du corps, qui lui avoisine les 38,5°C. Des stratégies de lutte contre une hausse de température ont cependant été identifiées, avec une possible acclimatation à des températures plus élevées en cas de stress prolongé (Collier et al., 1982 ; de Andrade Ferrazza et al., 2017), mais ces mécanismes se mettent en place au détriment des performances des animaux.

Une première partie de la présente synthèse sera consacrée à l'**identification d'une période de stress thermique**, primordiale pour pouvoir l'anticiper, et aux indicateurs développés dans ce but. Une deuxième partie recensera les **effets de la chaleur** sur le métabolisme, le comportement, les performances de production et de reproduction ainsi que la santé et le bien-être des vaches laitières. Enfin une dernière partie sera consacrée aux **adaptations possibles des pratiques d'élevage** qui permettent de limiter les effets de la chaleur sur les vaches laitières.

Table des matières

I.	Identifier une période de stress thermique	2
II.	Conséquences du stress thermique chez les vaches laitières	3
1.	Le métabolisme est modifié pour faire face à la chaleur	3
2.	La vache laitière modifie son comportement afin de limiter sa production de chaleur	3
3.	La production laitière est réduite en cas de stress thermique	4
4.	La composition du lait est altérée en cas de stress thermique	4
5.	La reproduction des animaux est dégradée par la chaleur	5
6.	Le bien-être et la santé des vaches laitières sont compromis lors d'un stress thermique	5
7.	Les femelles tarées, les jeunes et les fœtus souffrent également de la chaleur	6
III.	Adaptations possibles des pratiques pour limiter l'impact de la chaleur sur les vaches laitières	7
1.	Adapter la gestion quotidienne du troupeau	7
2.	Adapter l'alimentation	7
	Annexes	8
	Références bibliographiques	10

I. Identifier une période de stress thermique

La sensibilité des vaches à la chaleur dépend de leurs caractéristiques individuelles, variant suivant leur stade de développement (veau, génisse, vache en production, tarie, etc.), leur niveau de production (faibles vs. hautes productrices), leur race, leur état de santé, etc. De plus la température seule ne suffit pas à identifier une période de stress thermique ; l'humidité de l'air, les mouvements d'air dans l'espace dans lequel les animaux évoluent, leur possibilité ou non de s'abriter des rayonnements du soleil, l'accumulation de la chaleur au cours du temps, etc. sont autant de paramètres à considérer. Différents indicateurs prenant en compte une ou plusieurs de ces variables ont été développés mais la diversité des paramètres, le fait qu'ils sont susceptibles de varier rapidement dans l'espace et dans le temps et la difficulté d'en mesurer certains peuvent compliquer l'identification des périodes de stress thermique.

De nombreux **indices climatiques** sont disponibles à ce jour : *Temperature Humidity Index* (THI) et THI ajusté, *Heat Load Index* (HLI), *Accumulated Heat Load* (AHL), *Black Globe Humidity Index* (BGHI), *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT), Equivalent Temperature Index (ETI), *Breathing Rate Equation* (BRE), *Comprehensive Climate Index* (CCI), etc. Ces indicateurs combinent un nombre variable de paramètres permettant de qualifier un stress thermique ; la prise en compte d'un nombre important de paramètres est susceptible de mieux refléter le contexte climatique mais rendra l'indicateur plus difficilement utilisable à grande échelle si le calcul de ces paramètres nécessite des mesures spécifiques. Un compromis entre précision et généralisation est donc nécessaire et la pertinence de l'indicateur variera suivant les situations.

L'indicateur le plus largement utilisé est le THI, l'**index température-humidité** (*temperature-humidity index* en anglais) (*cf annexe 1*). Etabli à la fin des années 50 et étendu aux bovins en 1964 (Berry et al., 1964), cet indicateur ne tient compte que de la température et de l'humidité relative de l'air. Ce n'est donc pas l'indicateur le plus complet mais il présente l'avantage de pouvoir être calculé facilement et à grande échelle, ces deux paramètres étant mesurés dans chaque station météorologique et étant publiquement disponibles. Lors de la conception du THI, il avait été mis en évidence le fait que les vaches présentaient des signes de stress thermique, impactant notamment la production laitière, au-delà d'un seuil égal à 72 (soit par exemple une température de 26°C avec 40% d'humidité). Cependant, suite à l'augmentation des capacités de production laitière et d'ingestion permise par la sélection, les vaches sont bien plus susceptibles de souffrir d'un stress thermique aujourd'hui que dans les années 60. Des études récentes mettent en effet en évidence des **signes de stress thermique dès que le THI atteint 68** (soit dès une température de 23°C avec 40% d'humidité, par exemple), en particulier pour les femelles hautes productrices (plus de 35 kg/jour) (Zimbelman et al., 2009 ; Bernabucci et al., 2010 ; Collier et al., 2012).

Un indicateur comme le HLI (pour *Heat Load Index*, **indicateur de la charge thermique**) est utilisé pour estimer le confort thermique des animaux en bâtiment car il permet une meilleure prise en compte du ressenti des animaux qu'avec le THI (*cf annexe 1*). En effet, il intègre également la vitesse de l'air, qui peut abaisser de plusieurs degrés la température ressentie, ainsi que le rayonnement global (solaire et des parois à proximité des animaux (toit, murs, etc.)) (Capdeville et Fagoo, 2019). N'utilisant cependant pas la température de l'air mais la température d'un globe noir, il est nécessaire d'avoir à disposition un matériel spécifique (thermomètre globe noir) pour pouvoir calculer le HLI.

Un indicateur tel que le AHL (pour *Accumulated Heat Load*, **charge thermique accumulée**) permet, contrairement aux deux indicateurs précédents, de prendre en compte l'accumulation de chaleur. On peut ainsi distinguer les périodes avec des journées chaudes et des nuits fraîches, avec des animaux qui peuvent récupérer, et les périodes avec des jours et nuits chaudes, avec une accumulation de charge thermique. Cet indicateur permet ainsi de qualifier des périodes de stress thermique prolongé.

La question du stress thermique étant désormais au centre des préoccupations, il existe des applications, disponibles gratuitement sur smartphones, qui calculent automatiquement le THI actuel et celui des jours à venir pour une zone donnée. Cela permet d'avoir rapidement une idée de l'état de son troupeau et d'anticiper un stress thermique à venir, celui-ci n'étant pas sans conséquences.

II. Conséquences du stress thermique chez les vaches laitières

1. Le métabolisme est modifié pour faire face à la chaleur

Aux alentours de 20°C, environ un tiers de l'énergie ingérée par une vache est alloué à la production de chaleur métabolique (Coppock, 1985). Ces besoins d'entretiens augmentent de 20% (NRC, 1981) lorsque la température passe à 35°C. En effet, certaines fonctions métaboliques vont être altérées (Bernabucci et al., 2010) pour réguler la température corporelle et la maintenir autour de 38,5°C.

Les vaches vont présenter deux phases d'**acclimatation** en réponse à un stress thermique, impliquant des modifications du fonctionnement du système nerveux : une phase de stress aiguë, qui survient dans un laps de temps de quelques minutes à quelques jours après l'évènement, puis une phase de stress chronique en cas de stress prolongé, qui peut prendre plusieurs jours à plusieurs semaines à se mettre en place. Ces deux phases font appel à des notions différentes, la première visant une régulation à court terme de la température interne (notion d'homéostasie) et la seconde entraînant des régulations des flux du métabolisme afin de maintenir cette régulation sur le long terme (notion d'homéorhèse). En pratique, cela se traduit par une dégradation des performances des animaux lors de la phase aiguë, puis un rétablissement par **acclimatation** aux conditions persistantes. Dans les deux cas, une levée du stress entraîne un retour à l'état normal, à ne pas confondre avec la notion d'**adaptation** qui suggère une évolution génétique sur plusieurs générations en réponse à des conditions environnementales persistantes. (Collier et al., 2018)

Pour accroître la dispersion de la chaleur produite, le corps répond immédiatement par l'augmentation de la fréquence respiratoire (Gaughan et al., 2000) et une transpiration plus abondante (Finch et al., 1982). Quant au rythme cardiaque, il a tendance à accélérer, réponse classique en cas de stress, afin de faciliter la dissipation de la chaleur en améliorant la circulation dans les tissus périphériques. Si la période d'exposition à la chaleur se prolonge il aura ensuite tendance à être plus lent (Kadzere et al., 2002). Si ces **mécanismes de régulation** ne sont pas suffisamment efficaces, les températures rectale et vaginale vont augmenter (de Andrade Ferrazza et al., 2017). En cas de vague de chaleur intense et prolongée, les signes cliniques de stress thermique sont accentués, avec un halètement marqué et une salive abondante.

2. La vache laitière modifie son comportement afin de limiter sa production de chaleur

Les vaches manifestent leur inconfort en cas de stress thermique par des changements visibles dans leur comportement. Elles réduisent le temps passé allongées d'environ 30% (Cook et al., 2007) pour rester **plus longtemps debout** afin d'augmenter la surface disponible pour dissiper la chaleur (Smith et al., 2016) et recherchent activement les points d'**abreuvement** et d'**ombre** (Schütz et al., 2010). Elles modifient également leur comportement alimentaire en buvant plus, en se nourrissant moins, moins fréquemment et en ruminant moins, limitant ainsi la production de chaleur liée à la fermentation ruminale et au métabolisme des nutriments.

L'ingestion peut ainsi diminuer de 10 à 35% (Conrad, 1985 ; Wheelock et al., 2010), influencée par la possibilité ou non de s'abriter du soleil, l'ombre pouvant alléger d'un tiers au moins la charge thermique ressentie (Blackshaw and Blackshaw, 1994). Les animaux qui ne disposent pas d'ombre vont jusqu'à réduire leur ingestion de moitié pendant la journée (8h-16h) puis accroissent leur consommation pendant la période plus fraîche (16h-8h). Toutefois, cette compensation reste limitée puisqu'ils mangent finalement moins que ceux qui bénéficient d'ombre (Mallonée et al., 1985). Cette **baisse d'ingestion** est plus prononcée chez des animaux nourris avec une ration composée majoritairement de fourrage, notamment en cas de fourrage grossier, et/ou d'aliments faiblement digestibles (Beede and Collier, 1986).

La quantité d'eau ingérée, fortement liée au niveau de production des vaches et à la ration ingérée, a tendance à augmenter en cas de stress thermique : une vache **accroît sa consommation d'eau** d'en moyenne 20% en condition de stress thermique (THI de 72 contre THI de 57, conditions thermo neutres) (Collier et al., 2018).

La baisse de motilité du rumen (mouvements de contraction essentiels au brassage des aliments pour en faciliter la dégradation) en cas de coup de chaud, couplée à l'augmentation de la consommation d'eau, participe à la baisse d'ingestion. Cette baisse d'ingestion s'accompagne d'une **diminution de la durée de rumination**, d'autant plus marquée que les températures augmentent (Soriani et al., 2016 ; Moretti et al., 2017). La rumination stimulant la production de salive, celle-ci est également moins abondante et moins concentrée en substances tampon, perturbant ainsi le bon fonctionnement du rumen (cf II.6.) et impactant la consommation, la digestion et donc la capacité de production de la vache.

3. La production laitière est réduite en cas de stress thermique

La **baisse de production laitière**, fortement pénalisante pour le revenu d'une exploitation, est une conséquence directe de l'altération du métabolisme et du comportement des vaches en cas de forte chaleur. Seul 35% de cette baisse de production est attribuable directement à la baisse d'ingestion constatée chez une vache en stress thermique (Rhoads et al., 2009, Bernabucci et al., 2010). L'augmentation des besoins d'entretien, la baisse d'absorption des nutriments et l'altération du fonctionnement du rumen, les changements métaboliques et hormonaux, etc., sont autant d'éléments qui limitent l'énergie allouable à la production laitière en cas de stress thermique (Bernabucci et al., 2010).

Du fait de l'augmentation des besoins d'entretien et de la baisse d'ingestion liés à une vague de chaleur, les vaches se retrouvent en bilan énergétique négatif, comme c'est souvent le cas en début de lactation. Or leur capacité à mobiliser leurs réserves est compromise lorsqu'elles sont en stress thermique (West, 2003 ; Rhoads et al., 2009), ce qui ne leur permet pas de disposer d'assez d'énergie pour maintenir leur production laitière. De plus les altérations du métabolisme entraînant une baisse de fourniture de glucose à la glande mammaire (*cf II.1.*), la synthèse de lactose, et donc la production laitière, se retrouvent perturbées.

La plupart des revues scientifiques expriment la baisse de production laitière en fonction du THI (*cf I.*). Il est néanmoins difficile de chiffrer précisément la baisse de production laitière qui résulte d'un stress thermique. Elle va dépendre notamment :

1/ de l'intensité et de la durée du stress : les pertes sont plus importantes à 33°C et 40% d'humidité (THI=80) qu'à 26°C et 40% d'humidité (THI=72) mais sont limitées lorsque la température redescend en dessous de 21°C au moins 3 heures durant la nuit (Igono et al., 1992) ;

2/ du niveau de production initial de l'animal : plus la vache est productive, plus sa baisse de production atteint des proportions importante (Berry et al., 1964 ; Gantner et al., 2017) ;

3/ de son stade de lactation : la production des vaches en milieu de lactation est plus impactée que celles en début ou en fin de lactation (Bernabucci et al., 2010).

Des références évoquent des pertes journalières de production par point croissant de THI (au-delà de 68-70), allant de 270 g (Bernabucci et al., 2010) à 590 g (Bohmanova et al., 2007), en passant par 410 g (Bouraoui et al., 2002). Cela représente une perte allant de **2 kg à plus de 4 kg par jour de lait non produit** lorsque la température passe de 26°C à 33°C (pour 40% d'humidité). La perte à l'échelle d'un troupeau est donc loin d'être négligeable.

4. La composition du lait est altérée en cas de stress thermique

La quantité de lait n'est pas la seule impactée par le stress thermique. La composition du lait est également altérée, ce qui va jouer à la fois sur le paiement du lait et sur ses propriétés de coagulation et organoleptiques.

La teneur en **lactose** du lait ne semble pas affectée en cas de stress thermique (Cowley et al., 2015).

Les observations concernant les quantités de **matière grasse** sont nuancées, tantôt non impactées (Cowley et al., 2015) et tantôt plus faibles en cas de stress thermique (Bertocchi et al., 2014 ; Bernabucci et al., 2015). Le suivi des concentrations des différents acides gras du lait est également un indicateur de la santé des animaux et peut révéler un stress thermique. Une teneur élevée en acide oléique (C18:1), acide gras qui semble être le plus sensible au stress thermique (Hammami et al., 2015), est le signe d'un déficit énergétique (FIDOCL ; Fargier, 2019) tandis que des variations de teneur en acide palmitique (C16:0), produit notamment lors de la digestion, reflètent un dysfonctionnement du rumen (FIDOCL).

Quant à la **matière protéique**, sa teneur a tendance à baisser en cas de stress thermique (Summer et al., 2019) : suite à la vague de chaleur de juin 2019 en France, le TP moyen de la zone Agrolab's a chuté de près de 2,5 points (Fargier, 2019). Cette baisse s'accompagne d'un changement de ratio des différentes caséines du lait (Cowley et al., 2015 ; Bernabucci et al., 2015). De par le rôle de ces protéines dans la coagulation du lait, ces modifications peuvent entraîner des perturbations dans les processus de transformation du lait.

De nombreuses études mettent également en évidence une corrélation positive entre THI et numération cellulaire, constatant des **hausse de score de cellules somatiques** pendant les mois d'été et pendant les périodes où le THI est élevé (Hammami et al., 2013 ; Bertocchi et al., 2014 ; Bernabucci et al., 2015 ; Ludovico et al. ; 2015). En effet, les animaux sont exposés à un plus grand nombre de pathogènes durant ces périodes et sont plus susceptibles de présenter une infection.

Enfin il n'est pas rare de constater une **dégradation du point de congélation** (cryoscopie) des laits en période de fortes températures. Cette situation se retrouve notamment au pâturage si la disponibilité en eau est insuffisante. Les vaches vont alors boire une quantité d'eau très importante en arrivant au bâtiment, juste avant la traite, abaissant ainsi le point de congélation du lait.

5. La reproduction des animaux est dégradée par la chaleur

Les performances de reproduction sont durement impactées lors d'un stress thermique. La sécrétion des hormones qui régissent le fonctionnement du système reproducteur se voit modifiée, compromettant ainsi la fertilité et la fécondité des animaux : chez les **femelles**, baisse de la qualité des follicules et des ovules qu'ils contiennent, baisse de l'intensité et de la durée des chaleurs (De Rensis and Scaramuzzi, 2003), taux de conception plus faible, mortalité embryonnaire accrue, etc. (Wolfenson et al., 2000) et semence de moins bonne qualité chez les **mâles**.

Un stress thermique a pour conséquences directes d'accroître le taux d'avortements embryonnaires et de vèlages avant terme (Al-Katanani et al., 1999) et pour conséquences indirectes la perturbation du développement et de la maturation des follicules si la santé de la vache tend à se dégrader. En effet, des **chutes de 10 à 30 points des taux de conceptions et des taux de non-retour à 90 jours** sont constatées suite à une période de stress thermique (un ou plusieurs jours avec un THI > 72 ou une température moyenne supérieure à 25 ou 29°C entre 5 et 3 semaines avant l'insémination, dans les 3 semaines précédant l'insémination, le jour de l'insémination et jusqu'à 10 jours après suivant les études), entraînant des allongements de l'intervalle vèlage-vèlage (Al-Katanani et al., 1999 ; Chebel et al., 2004 ; Morton et al., 2007 ; Hansen, 2013 ; Schüller et al., 2014).

Un épisode de stress thermique impacte également la fertilité des mâles avec une **dégradation de la qualité de la semence** : plus faible volume, moins concentrée en spermatozoïdes, gamètes anormaux et/ou à faible motilité. Une exposition brève à des températures élevées suffit à perturber le processus de spermatogénèse, qui requiert pourtant deux mois chez le taureau : une exposition à 40°C et à 35 à 45% d'humidité pendant 12h, 24h ou 6 jours montrent un pourcentage de mobilité des spermatozoïdes de plus en plus faible et des défauts de morphologie de plus en plus nombreux. De plus les spermatozoïdes ne retrouvent leur mobilité normale qu'après un délai de 8 semaines suivant le stress. (Skinner and Louw, 1966). Le problème peut être contourné en favorisant la **production des taureaux d'insémination artificielle en période thermo neutre** : le risque d'écartier un éjaculat diminue alors de moitié comparé à un éjaculat produit lorsque le THI dépasse 65 (Picard-Hagen et al., 2016). Il se pose néanmoins toujours pour les taureaux de monte naturelle.

6. Le bien-être et la santé des vaches laitières sont compromis lors d'un stress thermique

Le fait que le comportement des vaches soit altéré en cas de vague de chaleur reflète leur inconfort. Des **comportements de compétition** entre vaches sont observés lorsque l'ombre disponible au pâturage est limitée (Schütz et al., 2010) et au niveau des points d'eau, plus fréquentés en cas de forte chaleur car permettant de limiter la chaleur ressentie (McDonald et al., 2020). De plus le temps (et l'énergie) consacré à tenter d'évacuer le surplus de chaleur empiète sur le temps de repos et de rumination et dérègle leur équilibre. Ces handicaps se répercutent sur leur état de santé, souvent dégradé en cas de stress thermique, avec une hausse d'occurrence de certaines maladies en cas de forte chaleur.

Un des principaux problèmes rencontrés est un risque accru de **perturbation du fonctionnement du rumen**, avec notamment une baisse du pH. En effet, l'hyperventilation visant à améliorer l'évacuation de la chaleur augmente le taux de dioxyde de carbone (CO₂) expiré, diminuant sa concentration dans le sang et entraînant une hausse du pH sanguin. La concentration en CO₂ est rééquilibrée et le pH abaissé grâce à une sécrétion de bicarbonate (HCO₃⁻) par les reins. Or le bicarbonate est le principal agent tampon de la salive. Celle-ci est donc moins concentrée en bicarbonate, et étant également moins abondante suite à la baisse de la rumination, moins d'agent tampons arrivent jusqu'au rumen, qui voit son pH décroître (Baumgard et al.,

2014 ; Schneider et al., 1984). Couplée avec la baisse d'ingestion et de motilité du rumen constatées lors d'un stress thermique, cette acidification s'ajoute aux perturbations du bon fonctionnement du rumen, diminuant sa capacité de digestion en perturbant le fonctionnement de la flore ruminale.

Malgré le fait que la capacité à mobiliser les réserves est perturbée en cas de stress thermique, les vaches en début de lactation sont également plus susceptibles d'entrer en **acétonémie** en période de chaleur (Lacetera et al., 1996). En effet, le déficit en glucose lié aux adaptations du métabolisme face à la chaleur ne permet plus au foie de dégrader correctement les graisses mobilisées, entraînant la présence de corps cétoniques dans le sang.

Ces deux dérèglements entraînent une dégradation rapide de l'état de santé des vaches atteintes.

Les vaches passant plus de temps debout qu'à la normale afin de dissiper la chaleur, leur repos et leur alimentation sont perturbés, augmentant ainsi le risque de **des problèmes de pattes** dans les semaines qui suivent les périodes de stress thermique (Cook et al., 2007 ; Lacetera, 2018).

Les cas de **mammites cliniques** sont également plus fréquents en cas de stress thermique, avec un risque accru pour les niveaux de production élevés, en milieu et en fin de lactation et pour les multipares (Vitali et al., 2020).

Il arrive que le stress subît soit si sévère qu'il entraîne la **mort** des animaux. En France, le taux de mortalité s'est accru de 24% par rapport à l'attendu suite à la vague de chaleur de 2 semaines en 2003 et de 12% suite à la vague de chaleur de 3 semaines en 2006, plus longue mais moins intense (Morignat et al., 2014). Une étude italienne (Vitali et al., 2009) menée sur les mortalités survenues de 2002 à 2007 a mis en évidence un taux de mortalité supérieur en juillet-août comparé au reste de l'année.

7. Les femelles tarées, les jeunes et les fœtus souffrent également de la chaleur

L'essentiel des observations faites dans la littérature scientifique comme dans la littérature professionnelle porte sur les conséquences du stress thermique pour les vaches en lactation. Cependant un stress thermique peut impacter durablement la carrière d'un animal, et ce quel que soit le stade auquel il intervient.

Il a été mis en évidence le fait qu'un stress thermique subi par la mère au cours de la gestation a des conséquences sur la survie et les futures capacités de production de leurs descendants. En effet, les **veaux** dont les mères ont été soumises à un stress thermique en fin de gestation présentent un poids de naissance plus faible (Tao et al., 2012). De plus le colostrum consommé est de moins bonne qualité, notamment moins concentré en immunoglobulines, pouvant dégrader l'immunité et à terme menacer la survie des veaux (Nardone et al., 1997 ; Tao et al., 2012).

Les conséquences d'un stress thermique pendant la gestation ont un impact à long terme puisque la **première lactation** est moins importante pour des femelles dont les

mères ont été soumises à un stress thermique lors des dernières semaines de gestation (Monteiro et al., 2016). Cette observation semble pouvoir se généraliser à l'ensemble des lactations puisque l'analyse de données du contrôle laitier américain de 75 000 Holstein entre 2000 et 2010 a mis en évidence le fait que les femelles conçues en été produisent moins sur l'ensemble de leur carrière que les femelles conçues en hiver (Brown et al., 2015).

Les femelles **tarées** subissant un stress thermique pendant les dernières semaines de gestation sont elles-mêmes directement impactées, leur production laitière journalière étant réduite lors de leur lactation suivante (Karimi et al., 2015 ; do Amaral et al., 2009).

III. Adaptations possibles des pratiques pour limiter l'impact de la chaleur sur les vaches laitières

Il existe trois grands leviers d'actions permettant de lutter contre le stress thermique des vaches laitières (Beede and Collier, 1986) :

1. À court terme, une adaptation des pratiques pendant les périodes sensibles ;
2. À moyen terme, des modifications de l'environnement dans lequel les animaux évoluent (ombre au pâturage, mise en place de systèmes de ventilation et de rafraîchissement dans les bâtiments d'élevage, préférer les surfaces claires, etc.) : *cf. annexe 2*
3. À moyen/long terme, la sélection d'animaux plus résistants à la chaleur : *cf. annexe 3 et les projets de recherche en cours [CAICalor \(APIS-GENE\)](#) et [RUMIGEN \(H2020\)](#)*

La suite de ce document se focalise sur ce premier point.

1. Adapter la gestion quotidienne du troupeau

Des ajustements dans la conduite du troupeau au quotidien sont à envisager en cas de période de stress thermique.

Si les animaux sortent au pâturage, il est préférable de les garder en bâtiment pendant les heures les plus chaudes de la journée (à condition que celui-ci ait une conception adaptée – *cf annexe 2*) et de les sortir la nuit pour qu'ils bénéficient des températures plus basses.

Il est primordial de veiller à ce que les animaux puissent accéder à de l'eau fraîche et propre tout au long de la journée sans être limités afin qu'ils puissent se refroidir et compenser les pertes accrues en cas de forte chaleur (transpiration, respiration, urines). Il est conseillé d'avoir suffisamment de points d'eau pour que chaque vache puisse disposer d'au moins 10 cm de longueur d'abreuvoir.

Une attention particulière devra être accordée à la qualité sanitaire des fourrages et à la gestion du front d'attaque du silo (exposition nord ou est). Concernant la distribution de la ration, l'idéal est de multiplier les distributions afin de proposer des quantités réduites à chaque prise alimentaire, permettant ainsi d'écarter les pics de fermentation ruminale et d'éviter les phénomènes de tri. Si on souhaite limiter le nombre de distributions, on distribuera la majorité de la ration le soir afin d'éviter qu'elle s'échauffe et pour augmenter l'ingestion (Calamari et al., 2012). Il peut être intéressant d'ajouter de l'eau dans la ration, à hauteur de 3 à 5 litres par vache, pour en améliorer l'appétence, éviter le tri et augmenter l'apport d'eau aux animaux. On peut également ajouter des acides stabilisateurs de fourrage afin de limiter l'échauffement à l'auge, tout en ne négligeant pas le nettoyage quotidien de celle-ci.

2. Adapter l'alimentation

Il existe de nombreux points de vigilance concernant l'alimentation des animaux en période de stress thermique.

L'ingestion diminuant et la digestion de la cellulose des fourrages mobilisant beaucoup d'énergie tout en produisant de la chaleur, il est recommandé de **réduire la teneur en cellulose** de la ration et de la **concentrer en énergie et en protéines**.

Cependant il est important de **maintenir un taux de cellulose suffisant** (environ 18%) pour préserver la rumination, l'équilibre de la flore ruminale et limiter les risques de dysfonctionnement ruminiaux, accrus en cas de stress thermique (*cf II.6.*). La **taille des fibres** est importante : elles doivent être suffisamment courtes pour faciliter la digestion et limiter la fermentation ruminale, mais assez longues pour permettre de stimuler la rumination.

Pour limiter la perte d'état et la dégradation des performances et de la santé qui suivent une baisse d'ingestion, il est conseillé d'apporter autant d'énergie (UFL) et de protéines (PDI) en un volume plus restreint. Les **sources d'énergie à dégradation lente** sont à favoriser (maïs grain humide, sorgho, matières grasses saturées, etc.) en limitant au maximum la distribution d'amidon rapidement digestible (blé, orge).

Il convient également d'**ajuster les apports en minéraux et en vitamines** de la ration afin de compenser les pertes, notamment de sodium, potassium et magnésium, liées à la transpiration, la respiration et les urines. Elles peuvent être compensées par des apports de sels (NaCl, 100 à 120 g par vache et par jour) et d'oxyde de magnésium (magnésie) et **en relevant la balance alimentaire anion cation** (BACA) à 300 à 350 milliéquivalents par kilo de matière sèche pour des vaches en lactation, par exemple via la distribution de bicarbonate de sodium ou de carbonate de potassium, à hauteur de 150 à 300 g par vache et par jour. Le bicarbonate permet également de tamponner le sang, limitant ainsi les perturbations de fonctionnement du rumen (*cf II.6.*).

L'intérêt d'apporter des levures vivantes comme *Saccharomyces Cerevisiae* (Sc), supposées permettre l'amélioration de l'utilisation de la ration par l'écosystème ruminal, n'est pas systématiquement démontré (Rouillé B. et Lamy J.-M., 2012). Elles semblent néanmoins permettre l'amélioration des performances en début et pendant la lactation lorsque les vaches sont soumises à un stress thermique (Majdoub-Mathlouthi et al., 2009 ; Zhu et al., 2016).

Annexes

Annexe 1 : Valeurs de l'index Température-Humidité (THI) et identification des plages à risques

$$THI = 0,8 * T + HR * (T - 14,4) + 46,4$$

avec T la température (°C) et HR l'humidité relative (%)

		Humidité relative (%)																					
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
Température	22.0	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72	72	
	23.0	65	65	66	66	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	73	73
	23.5	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	74
	24.0	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	75
	24.5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	76
	25.0	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77
	25.5	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78
	26.0	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78	78	79	79
	26.5	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79	79	80	80
	27.0	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	80	80	81	81
	28.0	69	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82	82
	28.5	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82	83	83
	29.0	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83	83	84	84
	29.5	70	71	72	72	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	85
	30.0	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86	86
	30.5	71	72	73	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85	86	87	87
	31.0	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86	87	88	88
	31.5	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	89
	32.0	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90	90
	33.0	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90	91	91
33.5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	85	86	87	88	89	90	91	92	92	
34.0	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	85	85	86	87	88	89	90	91	92	93	93	
34.5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86	86	87	88	89	90	91	92	93	94	94	
35.0	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	95	
35.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	96	
36.0	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	91	92	93	94	95	96	97	97	
36.5	76	77	78	80	80	82	83	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	98	98	
37.0	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	98	99	99	
38.0	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	98	99	100	100	
38.5	77	79	80	81	82	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	98	99	100	101	101	
39.0	78	79	80	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	94	95	96	97	98	100	101	102	102	
39.5	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	101	102	103	103	
40.0	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101	103	104	104	
40.5	79	80	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	95	96	97	99	100	101	102	103	105	105	
41.0	80	81	82	84	85	87	88	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	103	104	106	106	
41.5	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	94	95	96	98	99	100	102	103	104	106	107	107	
42.0	81	82	83	85	86	88	89	90	92	93	94	96	97	98	100	101	103	104	105	107	108	108	
43.0	81	82	84	85	87	89	89	91	92	94	95	96	98	99	101	102	103	105	106	108	109	109	
43.5	81	83	84	86	87	89	90	91	93	94	96	97	99	100	101	103	104	106	107	109	110	110	
44.0	82	83	85	86	88	90	91	92	94	95	96	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111	111	
44.5	82	84	85	87	88	90	91	93	94	96	97	99	100	102	103	105	106	108	109	111	112	112	
45.0	83	84	86	87	89	91	92	93	95	96	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111	113	113	
45.5	83	85	86	88	89	92	92	94	96	97	99	100	102	103	105	106	108	109	111	112	114	114	
46.0	84	85	87	88	90	92	93	95	96	98	99	101	102	104	106	107	109	110	112	113	115	115	
46.5	84	86	87	89	90	93	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	110	111	113	114	116	116	
47.0	85	86	88	89	91	93	94	96	98	99	101	102	104	106	107	109	111	112	114	115	117	117	
48.0	85	87	88	90	92	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	110	111	113	115	116	118	118	
48.5	85	87	89	90	92	94	96	97	99	101	102	104	106	107	109	111	112	114	116	117	119	119	
49.0	86	88	89	91	93	95	96	98	100	101	103	105	106	108	110	111	113	115	117	118	120	120	

- THI < 68 : aucun stress thermique
- THI entre 68 et 71 : seuil à partir duquel on observe les premiers signes de stress thermique : la fréquence respiratoire passe à 60 inspirations par minute, la température rectale dépasse les 38,5°C, la production laitière et les performances de reproduction commencent à être impactées
- THI entre 72 et 79 : stress thermique léger à modéré : la fréquence respiratoire dépasse les 75 inspirations par minute, la température rectale dépasse les 39°C
- THI entre 80 et 89 : stress thermique modéré à sévère : la fréquence respiratoire dépasse les 85 inspirations par minute, la température rectale dépasse les 40°C
- THI entre 90 et 98 : stress thermique sévère : la fréquence respiratoire atteint 120 à 140 inspirations par minute, la température rectale dépasse les 41°C
- THI supérieur à 99 : risque de mort

Source : Collier et al. (2012)

Annexe 2 : Améliorer le confort thermique des vaches laitières en bâtiment en période chaude, des solutions pratiques pour aménager les bâtiments

Dans le cadre du programme Climalait (programme multipartenarial sur l'adaptation au changement climatique initié et financé par le Cniel et mené entre 2015 et 2019), de nombreux éleveurs et conseillers ont partagé leurs questionnements quant aux solutions existantes pour limiter les situations de stress thermique de leurs animaux, notamment en bâtiment.

Afin de répondre à cet enjeu, le Cniel a initié et financé entre 2018 et 2020 un groupe de travail « Bâtiments d'élevage laitier de demain » en partenariat avec l'Institut de l'Élevage, les Chambres d'Agriculture, le GIE Elevages de Bretagne, le BTPL, le GDS France, la FRGTV Pays de Loire, la MSA, l'ISA Lille et ADICE. Ce programme comprenait notamment un axe de travail consacré à l'acquisition de connaissances pour l'amélioration du confort thermique des vaches laitières en bâtiment en période chaude, qui a permis :

- D'élaborer une méthode de diagnostic des conditions d'ambiance en période estivale, utilisant des indices de confort climatique (Heat Loaded Index),
- D'identifier les éléments clefs pour atténuer l'impact du stress thermique,
- De clarifier les messages sur la démarche à entreprendre pour limiter l'impact du stress thermique,
- De donner des recommandations de mise en œuvre des solutions rafraichissantes.



Les résultats de ce programme sur l'**adaptation des bâtiments d'élevage laitiers pour limiter les situations de stress thermique** sont disponibles ci-dessous :

- Le **plan d'action** pour adapter son bâtiment d'élevage laitier aux conditions chaudes estivales est disponible [ici](#),
- La **synthèse des résultats des travaux** est disponible [ici](#).

Annexe 3 : Synthèse bibliographique : Evaluation génétique de la résistance à la chaleur des bovins laitiers

Dans le cadre du programme Climalait, de nombreuses questions sont posées par les éleveurs et les conseillers sur l'adaptation des animaux face à la chaleur. Cette synthèse bibliographique (à consulter en cliquant [ici](#)) reprend les 4 principaux articles publiés entre 2016 et 2017 concernant le développement d'une évaluation génétique de la résistance à la chaleur des bovins laitiers en Australie.

Cette synthèse a été rédigée par Roxane Vallée (Idele) pour le Cniel.

Références bibliographiques

Références scientifiques

5^{ème} rapport du GIEC : <https://www.ipcc.ch/report/ar5/svr/>

- Al-Katanani et al. (1999) Factors Affecting Seasonal Variation in 90-Day Nonreturn Rate To First Service in Lactating Holstein Cows in a Hot Climate. *J. Dairy Sci.*, 82: 2611-2616
- Baumgard et al. (2014) Feeding and Managing Cows to Minimize Heat Stress. Tri-State Dairy Nutrition Conference
- Baumgard et al. (2007). The differential effects of heat stress vs. underfeeding on production and post-absorptive nutrient partitioning. In: 22nd Annual Southwest Nutrition and Management Conference, February 22-23 2007 Tempe. The University of Arizona, Tucson.
- Beede and Collier (1986) Potential Nutritional Strategies for Intensively Managed Cattle during Thermal Stress. *Journal of Animal Science*, Volume 62, Issue 2, 543–554
- Berman et al. (1985) Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J Dairy Sci.* 68(6):1488-95.
- Bernabucci et al. (2010) Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4:1167–1183.
- Bernabucci et al. (2015) Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 98 :1815–1827
- Berry et al. (1964) Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 7:329–331
- Bertocchi et al. (2014) Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature–humidity index relationship. *Animal*, 8:4, 667–674
- Blackshaw and Blackshaw (1994) Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34(2) 285 - 295
- Bohmanova et al.(2007) Temperature humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*. 90, 1947–1956
- Bouraoui et al. (2002) The relationship of temperature–humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research, EDP Sciences*, 51 (6), pp.479-491.
- Brown et al. (2015) Periconceptional Heat Stress of Holstein Dams Is Associated with Differences in Daughter Milk Production and Composition during Multiple Lactations. *PLoS ONE* 10(10): e0133574
- Calamari et al. (2012) Effects of different feeding time and frequency on metabolic conditions and milk production in heat-stressed dairy cows. *International Journal of Biometeorology*, 57(5)
- Chase (2014) Climate Change Impacts on Dairy Cattle. Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses
- Chebel et al. (2004). Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 84(3-4), 239-255
- Collier et al. (1982) Influences of Environment and Its Modification on Dairy Animal Health and Production. *J. Dairy Sci.* 65(11):2213-27
- Collier et al. (2012) Quantifying heat stress and its impact on metabolism and performance
- Collier et al. (2018) Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*. 9(1):12–19
- Conrad, J. (1985). Feeding of farm animals in hot and cold environments. In: YOUSEF, M.K. (ed.) Stress Physiology in Livestock, Vol. 2: Ungulates. CRC Press, Boca Raton, FL, U.S.A
- Conte et al. (2018) Feeding and nutrition management of heat-stressed dairy ruminants. *Italian Journal of Animal Science*. 17(3):604-620
- Cook et al. (2007) The Effect of Heat Stress and Lameness on Time Budgets of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. Volume 90, Issue 4, 1674-1682
- Coppock (1985) Energy nutrition and metabolism of the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 68:3403–3410
- Cowley et al. (2015) Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism. *J. Dairy Sci.* 98:2356–2368.
- de Andrade Ferrazza et al. (2017) Thermoregulatory responses of Holstein cows exposed to experimentally induced heat stress. *Journal of Thermal Biology*, Volume 66, 68-80
- De Rensis, F., Scaramuzzi, R.J. (2003) Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. *Theriogenology* 60, 1139–1151
- do Amaral (2009) Heat-stress abatement during the dry period: Does cooling improve transition into lactation? *J. Dairy Sci.* 92:5988–5999
- Finch et al. (1982) Sweating response in cattle and its relation to rectal temperature, tolerance of sun and metabolic rate. *The Journal of Agricultural Science*, 99(3), 479-487
- Gantner et al. (2017) Differences in response to heat stress due to production level and breed of dairy cows. *Int J Biometeorol.* 61(9):1675-1685
- Gao et al. (2017) The effects of heat stress on protein metabolism in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 100:5040–5049
- Gaughan et al. (2000) Respiration Rate - Is It a Good Measure of Heat Stress in Cattle? *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 13, 329–332.
- Hammami et al. (2013) Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. *J. Dairy Sci.* 96:1844–1855
- Hammami et al. (2015) Genetic analysis of heat stress effects on yield traits, udder health, and fatty acids of Walloon Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 98:4956-4968
- Hansen, P.J. (2013) Cellular and molecular basis of therapies to ameliorate effects of heat stress on embryonic development in cattle. *Anim. Reprod.* 10, 322–3
- Igono et al. (1992) Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.* 36:77–87.
- Kadzere et al. (2002) Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science* 77:59–91
- Karimi et al. (2015) Late-gestation heat stress abatement on performance and behavior of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:1–11
- Koch et al. (2016) Metabolic Response to heat stress in late-pregnant and early lactation dairy cows: Implications to liver-muscle crosstalk. *PLoS ONE* 11:1–20
- Lacetera et al. (1996) Body condition score, metabolic status and milk production of early lactating dairy cows exposed to warm environment. *Riv. Agric. Subtrop. Trop.* 90:43–55
- Lacetera (2018) Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers*. 9(1):26–31
- Laporta et al. (2017) In utero exposure to heat stress during late gestation has prolonged effects on the activity patterns and growth of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 100:2976–2984
- Lees et al. (2019) The Impact of Heat Load on Cattle. *Animals*. 9(6), 322
- Ludovico et al. (2015) Losses in milk production and quality due to milk somatic cell count and heat stress of Holsteins cows in temperate climate. *Semina : Ciencias Agrarias* 36(5):3455
- Massabie et al. (2013) Maîtrise des consommations d'eau en élevage : élaboration d'un référentiel, identification des moyens de réduction, construction d'une démarche de diagnostic. *Innovations Agronomiques*. 30, 87-101
- Majdoub-Mathlouthi et al. (2009) Effects of feeding *Saccharomyces cerevisiae* Sc 47 to dairy cows on milk yield and milk components, in Tunisian conditions. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 21, Article #73.
- Mallonée et al. (1985) Production and Physiological Responses of Dairy Cows to Varying Dietary Potassium during Heat Stress. *J. Dairy Sc.* 68(6), 1479-1487
- Mathevon et al. (1998) Environmental, Management, and Genetic Factors Affecting Semen Production in Holstein Bulls. *J. Dairy Sc.* 81(12), 3321-3330
- McDonald et al. (2020) Hot weather increases competition between dairy cows at the drinker. *J. Dairy Sc.* 103(4), 3447-3458
- Ménard et al. (2012) Evaluation de la consommation en eau en élevage bovins laitiers et mise au point d'un référentiel simplifié de l'abreuvement des vaches, génisses et veaux après sevrage. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 19. (p. 173-176).
- Min et al. (2015) Effects of heat stress on serum insulin, adipokines, AMP-activated protein kinase, and heat shock signal molecules in dairy cows. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*. 16(6):541-548
- Monteiro et al. (2016) In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *J. Dairy Sc.* 99(10), 8443-8450
- Moretti et al. (2017) Heat stress effects on Holstein dairy cows' rumination. *Animal*. 11(12):2320-2325
- Morignat et al. (2014) Assessment of the Impact of the 2003 and 2006 Heat Waves on Cattle Mortality in France. *PLoS ONE*. 9(3): e93176
- Morton et al. (2007) Effects of Environmental Heat on Conception Rates in Lactating Dairy Cows: Critical Periods of Exposure. *J. Dairy Sci.* 90:2271–2278

- Nardone et al. (1997) Composition of colostrum from dairy heifers exposed to high air temperatures during late pregnancy and the early postpartum period. *J Dairy Sci.* 80(5):838-44.
- National Research Council (1981) Effect of Environment on Nutrient Requirement of Domestic Animals. *National Academy Press*. Washington, DC
- Picard-Hagen et al. (2016). Effet du stress thermique sur la fertilité des vaches et sur les paramètres séminologiques de taureaux d'insémination du Sud-Ouest de la France. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 23 (p. 113-116)
- Ravagnolo and Miztal (2002) Effect of Heat Stress On Nonreturn Rate in Holstein Cows: Genetic Analyses. *J. Dairy Sci.* 85:3092–3100
- Rhoads et al. (2009) Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science* 92(5):1986-97
- Saizi (2019) Heat tolerance level in dairy herds: A review on coping strategies to heat stress and ways of measuring heat tolerance. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology* 7(2):39-51
- Schneider et al. (1984) Influence of Dietary Sodium and Potassium Bicarbonate and Total Potassium on Heat-Stressed Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* Volume 67, Issue 11, 2546-2553
- Schüller et al. (2014) Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature-humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology* 81(8)
- Schütz et al. (2010) The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *J Dairy Sci.* 93(1):125-33
- Shearer (1999) Foot health from a veterinarian's perspective. *Proc. Feed Nutr. Manag. Cow Coll. Virg. Tech.* 33–43
- Shwartz et al. (2009) Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, Volume 92, Issue 3, 935–942
- Références techniques**
- BTPL, La cryoscopie : qu'est-ce que c'est ? [en ligne]. Web Agri, 12/01/2021. Consulté sur <https://www.web-agri.fr/vaches-laitieres/article/175165/la-cryoscopie-qu-est-ce-que-c-est->
- Bignon, E. Comment lutter contre le stress thermique sur le plan alimentaire ? [en ligne]. Réussir Lait, 08/05/2019. Consulté sur <https://www.reussir.fr/lait/comment-lutter-contre-le-stress-thermique-sur-le-plan-alimentaire>
- Stress thermique : anticiper pour ne pas subir [en ligne]. Seenovia, 12/06/2019. Consulté sur <https://www.seenovia.fr/actualites/detail-actualite/stress-thermique-anticiper-pour-ne-pas-subir.html>
- Ouhlen, C. Comment limiter le stress thermique chez les vaches ? [en ligne]. Eilyps. Consulté sur <http://www.eilyps.fr/comment-limiter-le-stress-thermique-chez-les-vaches/>
- Blanc, Y. Stress thermique chez la vache laitière : que faire ? [en ligne]. FIDOCL Conseil Elevage. Consulté sur <http://www.fidocl.fr/content/stress-thermique-chez-la-vache-laitiere-que-faire>
- Lait d'été et chaleur, limiter le stress thermique chez la vache laitière [en ligne]. FIDOCL Conseil Elevage. Consulté sur <http://www.fidocl.fr/content/lait-dete-et-chaaleur-limiter-le-stress-thermique-chez-la-vache-laitiere>
- Goron, J.-P. Changements climatiques : s'adapter au stress thermique [en ligne]. FIDOCL Conseil Elevage. Consulté sur <http://www.fidocl.fr/content/lait-go-ndeg30-ete-2019>
- Réduire l'impact du stress thermique chez la vache laitière [en ligne]. Feedia by Techna, 26/05/2016. Consulté sur <https://www.feedia-techna.com/fr/blog/stress-thermique-vache-lait-chaueur>
- Canicule : comment limiter le stress thermique ? [en ligne]. Bretagne Conseil Elevage Ouest, 26/06/2019. Consulté sur <https://www.bcel-ouest.fr/canicule-comment-limiter-le-stress-thermique/>
- Stratégies d'alimentation pour contrer les effets négatifs causés par la chaleur [en ligne]. Ontario Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales, 11/2011. Consulté sur <http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/dairy/facts/heatstress.htm>
- Hausse des températures : attention au stress thermique des vaches laitières [en ligne]. Bretagne Conseil Elevage Ouest, 25/06/2018. Consulté sur <https://www.bcel-ouest.fr/hausse-des-temperatures-attention-au-stress-thermique-des-vaches-laitieres/>
- Comment mesurer l'impact du stress thermique [en ligne]. Grands Troupeaux Magazine, 23/06/2019. Consulté sur <http://www.grands-troupeaux-mag.fr/le-stress-thermique-affecte-lefficacite-ruminale-des-vaches-laitieres/>
- Julien, C. Comment limiter l'impact du stress thermique sur les bovins ? [en ligne]. Web Agri, 25/06/2019. Consulté sur <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/sante-animale/article/aider-les-bovins-a-mieux-supporter-les-fortes-chaueurs-1184-149022.html>
- Skinner, J.D. and Louw, G.N. (1966) Heat stress and spermatogenesis in *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *J. Appl. Physiol.*, 21, 1784–1790
- Smith et al. (2013) Short communication: Comparison of the effects of heat stress on milk and component yields and somatic cell score in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 99:1495–1500
- Smith et al. (2016) Short communication: Effect of cross ventilation with or without evaporative pads on core body temperature and resting time of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 96 :3028–3033
- Soriani et al. (2016) Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *J. Dairy Sci.* 96 :5082–5094
- Summer et al. (2019) Impact of heat stress on milk and meat production. *Anim. Front.* 9(1):39–46.
- Tao et al. (2012) Effect of late-gestation maternal heat stress on growth and immune function of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 95:7128–7136.
- Vitali et al. (2009) Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92(8):3781–3790
- Vitali et al. (2020) Heat load increases the risk of clinical mastitis in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 103(9)
- Wheelock et al (2010) Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 93:644–655
- Wolfenson et al. (2000) Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. *Animal Reproduction Science*, 60–61,535–547
- Zhu et al. (2016) Effects of Supplemental Levels of *Saccharomyces cerevisiae* Fermentation Product on Lactation Performance in Dairy Cows under Heat Stress. *Asian-Australas J Anim Sci.*29(6):801–806
- Zimelman et al. (2009) A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. *Proceedings of the Southwest Nutrition Conference* (ed. RJ Collier), pp. 158–169
- Vergonjeanne, R. Les vaches françaises perdraient 2,4 kg de lait par jour en été [en ligne]. Web Agri, 18/06/2015. Consulté sur <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/sante-animale/article/les-vaches-francaises-perdraient-2-7-kg-de-lait-par-jour-en-ete-1184-110479.html>
- Zerbib, C. Comment protéger les vaches de la chaleur : 5 conseils à suivre [en ligne]. Animalaxy, 02/07/2019. Consulté sur <https://animalaxy.fr/comment-protger-les-vaches-de-la-chaueur-5-conseils-a-suivre/>
- Hausse des températures : attention au stress thermique des vaches laitières [en ligne]. Lait Solutions, 30/11/2017. Consulté sur <https://www.lait-solutions.com/fiches-conseils/stress-thermique-vache-laitiere/>
- Vergonjeanne, R. Le « Baca » ? Quèsaco ? [en ligne]. Web Agri, 05/04/2012. Consulté sur <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/alimentation/article/le-baca-quesaco-1172-79298.html>
- La réussite de votre ration « vaches taries » : quelques clés qui vous permettent de favoriser la lactation future [en ligne]. Vital Concept Agriculture, 24/06/2014. Consulté sur <https://www.vital-concept-agriculture.com/blog/baca/>
- Rouillé, B. et Lamy J.-M. Utilisation de levures dans l'alimentation des vaches laitières [en ligne]. IDELE, Collection Résultats, 02/2012. Consulté sur http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/idelesolr/recommends/utilisation-de-levures-dans-lalimentation-des-vaches-laitieres.html
- Fargier, F. Stress thermique Impact sur les ruminants [en ligne] Journée d'échanges sur la ventilation des bâtiments d'élevage, 04/12/2019. Consulté sur https://cniel-infos.com/GED_CNIEL/365327918350/1_stress_thermique_et_perturbations_physiologiques_colloque_4_12_2019.pdf
- Capdeville, J et Fagoo, B. Contre le coup de chaud des vaches laitières, des solutions pratiques pour les bâtiments [en ligne] Journée d'échanges sur la ventilation des bâtiments d'élevage, 04/12/2019. Consulté sur https://cniel-infos.com/GED_CNIEL/365328018350/2_Ventilation_des_batiments_en_periode_chaue_colloque_4_12_019.pdf
- Jouassard, L. Acides gras et acétonémie : indicateurs de la santé de mon troupeau [en ligne] FIDOCL Conseil Elevage. Consulté sur <http://www.fidocl.fr/content/acides-gras-et-acetonemie-indicateurs-de-la-sante-de-mon-troupeau>
- Dubois, P. Tracer l'énergie et le méthane grâce aux Acides Gras du lait [en ligne] FIDOCL Conseil Elevage. Consulté sur <http://www.fidocl.fr/content/tracer-lenergie-et-le-methane-grace-aux-acides-gras-du-lait>

Cette revue de littérature a été sollicitée par le Cniel suite au programme « Climalait ». Dans le cadre de ce programme sur l'adaptation des élevages laitiers au changement climatique, initié et financé par le Cniel et mené entre 2015 et 2019, de nombreuses questions ont été remontées par les éleveurs et les conseillers sur les leviers pour limiter les situations de stress thermique pour les animaux d'élevage. Ce document fait la synthèse des connaissances actuelles concernant les conséquences du stress thermique sur les vaches laitières et notamment sur la production laitière.

Travaux financés par le Cniel.

Rédaction : Roxane VALLÉE (Institut de l'Élevage).

Relecture :

- Bertrand FAGOO (Institut de l'Élevage),
- Groupe experts « alimentation » de FCEL,
- Groupe experts « reproduction » de FCEL,
- Groupe experts « qualité du lait » de FCEL.



Avec la participation du Cniel : Nadine BALLOT, Jean CHAREF.

Avec nos remerciements à Agnès LEJARD (FCEL) et aux membres des groupes experts FCEL, ainsi qu'à Bertrand FAGOO (Idele).



Pour aller plus loin :

- Résultats de **Climalait**, programme multipartenarial initié et financé par le Cniel sur l'**adaptation des élevages laitiers au changement climatique** : [les fiches de synthèse par zone disponibles ici](#).
- Résultats des travaux du programme « **Bâtiments d'élevage laitier de demain** », programme multipartenarial financé par le Cniel sur l'**adaptation des bâtiments d'élevage laitiers pour limiter les situations de stress thermique** :
 - [Le plan d'action disponible ici](#),
 - [La synthèse des résultats des travaux disponible ici](#).