

Le stress thermique environnemental dans l'espèce bovine :

1. Caractéristiques générales et méthodes d'évaluation

Christian Hanzen ^{1*} Pauline Delhez ² Emilie Knapp ²
Jean-Luc Hornick ¹ Djalel Eddine Gherissi ³

Mots-clés

Bovin, température de l'air, humidité, stress thermique, thermorégulation

© C. Hanzen et al., 2024



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Submitted: 05 February 2024

Accepted: 30 September 2024

Online: 22 November 2024

DOI: 10.19182/remvt.37379

Résumé

Contexte : La température moyenne à la surface du globe ne cesse d'augmenter. Elle entraîne notamment une augmentation de la fréquence des vagues de chaleur c'est-à-dire de périodes d'une durée de 3 à 6 jours durant lesquelles la température de l'air est supérieure à la température moyenne de la zone géographique concernée. Cette situation s'accompagne de multiples conséquences pour les populations humaines, végétales et animales. **Objectif** : Cette revue de littérature a pour objectif de récapituler les concepts fondamentaux régissant la régulation thermique chez les bovins. **Méthode** : Une recherche bibliographique a été réalisée dans PubMed. Elle s'est concentrée dans un premier temps sur les articles de synthèse puis a été complétée par les références des articles identifiés. **Résultats** : La régulation thermique implique une série de processus tels que la radiation, la convection, la conduction et l'évaporation. Ces processus vont, en fonction des caractéristiques de l'animal et de son environnement, contribuer à réduire ou à augmenter les effets du stress thermique. Le stress thermique se définit comme l'état de déséquilibre entre, d'une part, les facteurs qui contribuent à augmenter la température corporelle et d'autre part, ceux qui au contraire, contribuent à la diminuer. Cette situation de stress thermique se rencontre quand l'animal se trouve en-dehors de sa zone dite de neutralité thermique définie par des températures minimale et maximale critiques dont les valeurs dépendent de l'âge, la race, le niveau de production, l'état corporel, le stade de lactation, les bâtiments d'élevage, la couleur du poil et de la peau. Les effets de la température extérieure dépendent du degré d'humidité de l'environnement. Ils peuvent être évalués au moyen de divers index THI (Temperature Humidity Index). De plus en plus, des technologies émergent (imagerie en profondeur, thermographie par infrarouge, vidéosurveillance, accéléromètres, podomètres) et permettent de suivre les données météorologiques, l'environnement thermique des animaux, voire de détecter leurs signes de stress. **Conclusions** : Il est essentiel de sensibiliser les responsables de la santé animale aux effets du stress thermique sur la capacité des animaux à réguler leur température corporelle. Cette capacité peut être évaluée de manière toujours plus précise grâce à des index et des technologies qui permettent de mesurer et de comprendre les effets du stress thermique sur les animaux.

■ Comment citer cet article : Hanzen C., Delhez P., Knapp E., Hornick J.L., Gherissi D.E., 2024. Le stress thermique environnemental dans l'espèce bovine : 1. Caractéristiques générales et méthodes d'évaluation. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 77: 37379, doi: 10.19182/remvt.37379

■ INTRODUCTION

Les constats de l'Organisation météorologique mondiale (OMM, WMO World Meteorological Organization) sont sans appel : en 2022, la température moyenne sur la planète était supérieure d'environ 1,15 °C (1,02 à 1,27 °C) à sa valeur préindustrielle (période comprise entre 1850 et 1900). La période de 2015 à 2022 correspond aux huit années les plus chaudes jamais enregistrées (WMO, 2023). Selon le rapport de l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), la température globale devrait connaître une augmentation

1. Faculté de médecine vétérinaire, Département de gestion vétérinaire des Ressources Animales, Liège, Belgique.

2. RumeXperts, Faimes, Belgique.

3. Institut des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, Département des Sciences Vétérinaires, Université de Souk Ahras, Souk Ahras, Algérie.

* Auteur pour la correspondance

Tél. : +32 43 66 41 42 ; email : christian.hanzen@uliege.be

comprise entre 2,6 °C et 4,8 °C d'ici à 2100 (IPCC, 2023). Ce changement se traduit notamment par une augmentation de la fréquence des vagues de chaleur, c'est-à-dire de périodes de plus de 5 jours durant lesquelles la température est supérieure de 5 °C à la température moyenne observée de 1961 à 1990. La durée considérée (2 à 3 jours à plus de 5 jours) et la valeur seuil de température (25 °C à 40 °C) peuvent dépendre des régions au sein d'un même pays situé en zone tempérée, tropicale ou subtropicale (Frich et al., 2002 ; WMO, 2023).

Les conséquences de ce réchauffement sur le bien-être et les productions animales sont de plus en plus étudiées pour comprendre et mieux gérer ce qu'il est convenu d'appeler le stress thermique (Polsky et Von Keyserling, 2017 ; Silanikove et Koluman, 2015 ; Bernabucci et al., 2010). Les effets d'une telle évolution climatique dépendent de la zone considérée, du type d'animaux, de la race et de l'individu (Gauly et Ammer, 2020). Ces conséquences concernent également les productions végétales (Adams et al., 2010) et provoquent aussi l'augmentation du risque d'exposition aux agents pathogènes et aux parasites (Gauly et al., 2013).

La littérature consacrée au stress thermique et à ses implications dans l'espèce bovine ne cesse de s'étoffer. Compte tenu de l'importance de ce sujet, nous avons jugé opportun de réaliser une revue de la littérature qui comprendra quatre articles. Le premier de ces articles sera consacré à la régulation thermique corporelle par les bovins et au stress thermique. Les autres articles seront consacrés aux conséquences physiologiques et pathologiques générales, aux conséquences sur la reproduction et aux méthodes de lutte contre le stress thermique dans l'espèce bovine.

■ LA REGULATION THERMIQUE

Principes généraux

Les bovins sont capables de maintenir dans une plage de variation étroite leur température centrale, comprise entre 38 °C et 39,5 °C, quelles que soient les variations de la température ambiante. Ils sont qualifiés d'homéothermes. La thermorégulation comprend les mécanismes qui permettent à l'organisme de maintenir une température corporelle optimale pour l'ensemble des réactions biochimiques et enzymatiques de son métabolisme, compte tenu de l'environnement dans lequel il se trouve (Nakamura et Morrison, 2008). Les mécanismes qui contribuent à contrôler les flux de température, à savoir la radiation, la convection, la conduction et l'évaporation dépendent de divers facteurs tels que la taille de l'animal, la nature de son pelage, l'épaisseur de la graisse sous-cutanée, le niveau de production et le nombre de glandes sudoripares (Kadzere et al., 2002 ; Fournel et al., 2017 ; Collier et al., 2019 ; Collier et Gebremedhin, 2015).

La chaleur captée par radiation dépend de la température de l'animal mais également de sa couleur. Ainsi, les animaux au pelage noir en absorbent davantage que ceux au pelage blanc (Finch et Western, 1977).

Si l'air ambiant est plus froid, la dissipation de la température peut également se faire par radiation sous forme de rayonnement infra-rouge. Le remplacement de l'air chaud entourant l'animal par un air plus froid contribue à une dissipation de la température corporelle par convection. La conduction implique un contact physique direct entre l'animal et le sol par exemple. Le choix de la litière revêt dans ce contexte une importance certaine (Cummins, 1998). En position debout, position préférée par les animaux lors de stress thermique (Macfarlane et al., 1958), la majorité du corps est entouré d'air qui a une faible capacité à absorber la chaleur (Youssef, 1985). En position couchée sur un sol humide et frais, le transfert de chaleur sera bien plus important. Le halètement est un autre exemple de perte de chaleur par conduction. Une augmentation de la fréquence respiratoire à travers les sinus augmente le flux sanguin carotidien et l'apport sanguin à la muqueuse

nasale. Cette augmentation du flux sanguin fournit du sang refroidi via la veine faciale pour abaisser la température cérébrale (Blix et al., 2011). Le halètement, la bouche ouverte, provoque une perte de chaleur respiratoire en raison de l'augmentation du flux sanguin vers la langue. Si la température ambiante est excessive, se déclenche un processus d'évaporation impliquant une augmentation de la fréquence respiratoire mais davantage encore de la transpiration cutanée (Atrian et Shahryar, 2012 ; McLean, 1963). La dissipation de la chaleur par évaporation dépend de la surface de peau disponible, de la vitesse du vent, de la température de l'air et de l'humidité (Silanikove, 2000). Lorsque les températures de l'air sont élevées et que l'humidité relative est faible, la perte de chaleur par évaporation est un processus très efficace. Cependant, à mesure que l'humidité augmente, le processus devient moins efficace en raison du gradient de température changeant entre l'animal et l'environnement (Silanikove, 2000 ; da Silva et al., 2007 ; Kerr, 2015). Ce phénomène de transpiration apparaît lorsque la température est supérieure à 20 °C (Berman et al., 1985).

Acclimatation et adaptation

Par adaptation, il faut comprendre les changements génotypiques observables sur plusieurs générations (Bernabucci et al., 2010 ; Collier et al., 2019). Ainsi, la résistance plus élevée au stress thermique classiquement observée entre les races de type *Bos taurus* et *Bos indicus* résulte de leur évolution dans des environnements différents et l'acquisition par les secondes de gènes de thermotolérance (Hansen, 2004). De même, l'exposition de vaches à un stress thermique durant leur gestation induit des effets épigénétiques qui se transmettent à leur descendance (Recce et al., 2021).

L'acclimatation concerne les changements phénotypiques observés lors de stress thermique. Elle se traduit par diverses réactions non seulement physiologiques comme l'augmentation des fréquences cardiaque et respiratoire, des températures rectale et cutanée et de la transpiration, mais aussi cellulaires, endocriniennes, métaboliques, biochimiques voire comportementales qui selon les cas s'observent dans les minutes, jours ou semaines après un stress thermique (Rashamol et al., 2019 ; Alameen et Abdelatif, 2012). L'importance relative des réactions d'acclimatation dépend de l'espèce, de la race et du niveau de production (Silanikove, 2000 ; Kadzere et al., 2002 ; Collier et al., 2015). Nombre d'entre elles sont initiées par des thermorécepteurs principalement localisés au niveau des terminaisons nerveuses et des vaisseaux de la peau mais aussi au niveau des zones préoptiques de l'hypothalamus qui centralise les informations. L'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien est au cœur des réactions neuro-endocriniennes de la thermorégulation. Il contrôle la synthèse et la libération de divers neurotransmetteurs et hormones qui constituent autant de marqueurs biochimiques d'un stress thermique. Ainsi, un stress thermique s'accompagne d'une diminution de la concentration des hormones thyroïdiennes, de l'aldostérone, de l'hormone de croissance et des glucocorticoïdes et de l'augmentation de la prolactine et de la leptine (Bernabucci et al., 2010 ; Collier et al., 2015 ; Idris et al., 2021 ; Afsal et al., 2018).

Les réactions comportementales sont volontaires et vont permettre à l'animal de lutter contre l'hypothermie par l'adoption de positions spécifiques ou de regroupement, l'augmentation de l'activité physique et de l'ingestion d'énergie ou au contraire de lutter contre l'hyperthermie par la recherche d'ombre, la réduction des déplacements et de l'ingestion, le halètement et l'adoption de positions spécifiques (Mota-Rojas et al., 2021).

■ LE STRESS THERMIQUE

Définition

Le stress peut se manifester par l'incapacité d'un animal à s'adapter à son environnement pour exprimer son potentiel génétique (Dobson et

Smith, 2000). Le stress thermique se caractérise par un état de déséquilibre entre les facteurs qui contribuent à augmenter la température corporelle d'un animal et ceux qui au contraire contribuent à la diminuer, il en résulte une incapacité à maintenir une température corporelle optimale (Alves et al., 2014). Cette situation survient quand l'animal se trouve en dehors de sa zone de neutralité thermique définie par une température critique inférieure (TCI) et une température critique supérieure (TCS) (figure 1). Cette zone correspond à une production minimale de chaleur lorsque la température corporelle est normale (zone d'homéothermie comprise entre 38 à 39,5 °C) (Kadzere et al., 2002 ; Blich et Johnson, 1973). Elle se subdivise en trois zones (Kerr, 2015). La température corporelle normale se maintient en zone 1 par une pilo-érection, de la vasoconstriction et des changements comportementaux. En zone 2, appelée aussi zone de confort thermique, la production est optimale. Chez la vache laitière, cette zone est comprise entre 2 et 15 °C. En zone 3, la température corporelle normale se maintient par de la transpiration, de la vasodilatation, du halètement et une augmentation de la consommation d'eau (figure 1).

Les températures critiques inférieures et supérieures sont respectivement de 13 et 26 °C chez le veau nouveau-né, de -5 °C et 26 °C chez le veau en croissance, de -25 °C et 25 °C chez la vache en lactation et de -14 °C et 25 °C chez la vache gestante et en tarissement (Collier et al., 2019 ; Berman et al., 1985 ; Hamada, 1971 ; Morgan, 1998).

Quelques facteurs d'influence

Les effets d'un stress thermique dépendent de multiples facteurs propres à l'animal (la race, l'âge, le métabolisme, le pelage) et/ou à son environnement (la température de l'air, le rayonnement solaire, la vitesse du vent et le degré d'humidité).

Comparées aux races de type *Bos taurus*, les races de type *Bos indicus* témoignent d'une plus grande adaptation au stress thermique (Beatty et al., 2006 ; Dikmen et al., 2018 ; Scheffler, 2022). Leur niveau de production plus faible, et donc leur activité métabolique moindre, tout comme leur pelage à poils lisses, et plus souvent moins colorés, en sont l'explication (Collier et al., 2019 ; Ravagnolo et al., 2000 ; Maia et al., 2005).

Le stress thermique affecte davantage les vaches adultes que les veaux ou les génisses, ces derniers générant moins de chaleur métabolique. Ils ont par ailleurs une surface cutanée plus grande par rapport à leur

masse corporelle (Wang et al., 2020). Une augmentation de la production laitière journalière (45 kg vs 35 kg) contribue à réduire de 5 °C le seuil de sensibilité au stress thermique (Berman, 2005). L'augmentation de la production laitière s'accompagne en effet de celle de la chaleur métabolique (Kadzere et al., 2002).

Les vaches exposées à une chaleur dans un environnement sans ombre voient leur production laitière diminuer de 1,5 kg/jour pour les vaches de robe blanche et de 3,3 kg/jour pour les vaches de robe noire (Hansen, 1990).

Les méthodes d'évaluation

Les paramètres visant à caractériser un stress thermique sont multiples et leur nombre ne cesse d'augmenter compte tenu du développement des méthodes d'enregistrement automatique et d'analyse des données (PLF : precision livestock farming) (Ji et al., 2020). Certains concernent l'environnement tels que la température ambiante, le degré d'humidité, la vitesse de l'air et la radiation solaire (Brown-Brandl et al., 2006). La combinaison de ces facteurs détermine la charge thermique susceptible d'affecter l'animal (Rashamol et al., 2019). D'autres sont plus spécifiques à l'animal et concernent sa température, sa fréquence respiratoire ou cardiaque, son comportement ou encore ses capacités de production ou de reproduction. Elles feront l'objet d'un article plus spécifique (Hanzen et al., 2024). La mise au point de modèles d'index identifiant les relations entre les paramètres environnementaux et les réactions comportementales, physiologiques et biochimiques constitue une démarche essentielle pour identifier les races thermosensibles ou au contraire thermotolérantes (Rashamol et al., 2019).

La mesure de la température de l'air (Dry bulb temperature : T° sèche de l'air ; Dew point temperature : T° au point de rosée ; Wet bulb temperature : T° au thermomètre-globe mouillé ou T° humide) et de son degré d'humidité relative constituent des paramètres de base qui ont permis la définition de multiples index appelés THI (Temperature Humidity Index) (Thom, 1959 ; Bianca, 1962 ; NRC, 1971 ; Mader et al., 2006). D'autres index ont progressivement été développés pour prendre en compte plusieurs paramètres environnementaux et/ou relatifs à l'animal et à son logement (St Pierre et al., 2003 ; Ji et al., 2020 ; Behera et al., 2020 ; Renaudeau et al., 2012 ; Herbut et al., 2018 ; Hahn et al., 2009 ; Berman et al., 2016). Le lecteur intéressé pourra consulter des publications qui en font une liste exhaustive (Rashamol

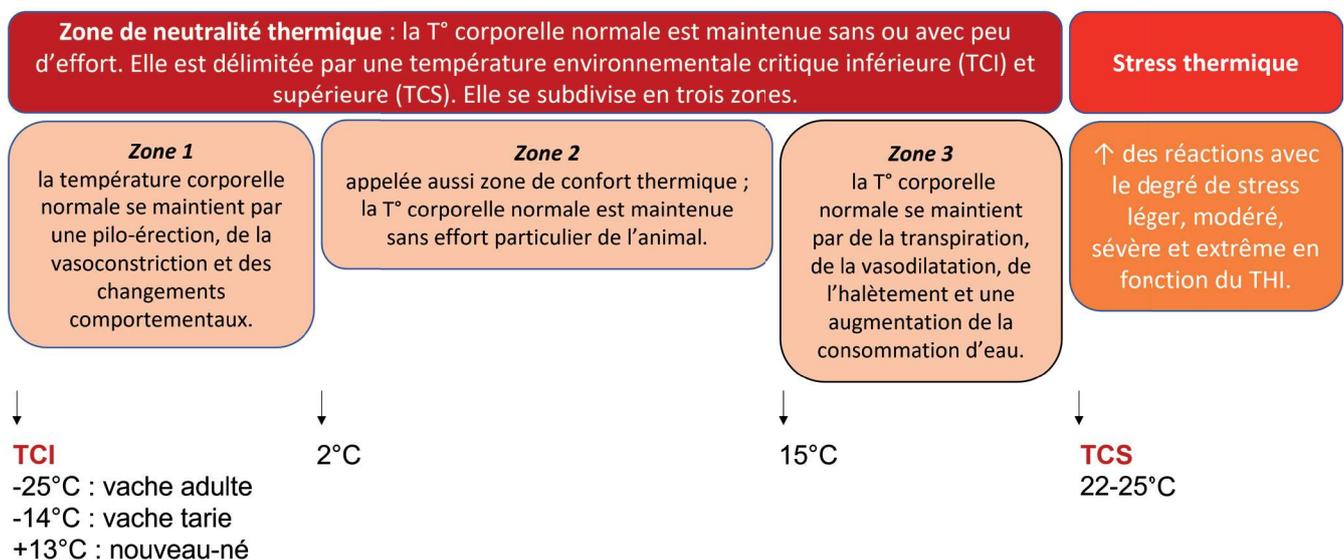


Figure 1 : Zones de neutralité et de stress thermique chez le bovin (adapté par Ch. Hanzen) /// Neutral and heat stress zones in cattle (adapted by Ch. Hanzen)

et al., 2019 ; Shephard et Maloney, 2023) et détaillent les contextes d'utilisation. Citons le Black Globe Humidity Index (BGHI : température, humidité et chaleur radiante) (Buffington et al., 1981), le Heat Load Index (HLI : température, humidité, chaleur radiante, vitesse du vent et évaporation) (Gaughan et al., 2008 ; Dash et al., 2016), le Comprehensive-Climate-Index (CCI : température, humidité, chaleur radiante et vitesse du vent) (Mader et al., 2010 ; Van Laer et al., 2015), l'Equivalent Temperature Index for Cattle (ETIC : température, humidité, chaleur radiante et vitesse du vent) (Wang et al., 2018a, 2018b), l'Accumulated Heat Load Units (AHLU) (Gaughan et al., 2008), ou encore l'Index of Thermal Stress for Cows (ITSC : température rectale, température cutanée, fréquence respiratoire, perte de chaleur cutanée et respiratoire par convection et par évaporation, gain de chaleur par radiation) (da Silva et al., 2015).

Ces index ont fait l'objet de comparaisons (da Silva et al., 2007 ; Bohmanova et al., 2007 ; Rashamol et al., 2019 ; Wang et al., 2018b). La multiplicité de ces index et la nature des facteurs pris ou non en compte rendent difficile la comparaison entre les études. Ces index ont été utilisés dans des zones climatiques fort différentes, qu'elles soient tempérées, tropicales ou subtropicales. Ils concernent également des races de bovins fort différentes, qu'elles appartiennent à l'espèce *Bos taurus* ou *Bos indicus*. Dans les deux cas, ces races témoignent d'une capacité d'adaptation différente (Barendse, 2017 ; Habeeb, 2020 ; Ji et al., 2020). D'une manière générale cependant, les auteurs s'accordent à reconnaître les effets négatifs du stress thermique si le THI est supérieur à 72 (Bianca, 1962 ; Kadzere et al., 2002 ; Schuller et al., 2013 ; Collier et al., 2012). Des seuils plus spécifiques ont été déterminés pour caractériser les divers niveaux

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

Tableau I : Valeurs de l'index Température-Humidité (THI) en fonction de la température de l'air ambiant et du taux d'humidité relative avec identification des plages à risques chez la vache laitière (Collier et al., 2012) : $THI = (T_{db} - (0.55 - (0.55 \times RH/100)) \times (T_{db} - 58))$. Plage jaune (THI 68 à 71) : la fréquence respiratoire est de 60 par minute et la température rectale est supérieure à 38,5 °C. Plage orange (THI 72 à 79) : la fréquence respiratoire est de 75 par minute et la température rectale est supérieure à 39 °C. Plage rouge (THI 80 à 89) : la fréquence respiratoire est de 85 par minute et la température rectale est supérieure à 40 °C. Plage violette (THI 90 à 98) : la fréquence respiratoire est de 120 à 140 par minute et la température rectale est supérieure à 39 °C // *Temperature-Humidity Index (THI) values as a function of ambient air temperature and relative humidity with identification of risk ranges in dairy cows (Collier et al., 2012): $THI = (T_{db} - (0.55 - (0.55 \times RH/100)) \times (T_{db} - 58))$. Yellow range (THI 68 to 71): respiratory rate is 60 per minute and rectal temperature is above 38.5°C. Orange range (THI 72 to 79): respiratory rate is 75 per minute and rectal temperature is above 39°C. Red range (THI 80 to 89): respiratory rate is 85 per minute and rectal temperature is over 40°C. Violet range (THI 90 to 98): respiratory rate is 120 to 140 per minute and rectal temperature is above 39°C.*

de stress thermique. Ils sont qualifiés de léger, modéré, sévère ou extrême quand respectivement ils sont inférieurs à 72, compris entre 72 et 79, entre 80 et 89 et supérieur à 89 (Armstrong et al., 1994 ; Collier et al., 2012) (tableau I). Ces seuils ont cependant été évalués sur de courtes périodes, avec un nombre restreint d'animaux et dans des conditions expérimentales comme des chambres climatiques qui ne reflètent pas celles des exploitations. Quelques exceptions méritent d'être mentionnées (Bernabucci et al., 2014 ; Bertocchi et al., 2014 ; Mbuthia et al., 2022). Une étude récente réalisée en Italie durant 9 ans sur 43.015 vaches Holstein de 157 fermes a mis en évidence l'intérêt d'adapter la période de calcul du THI (Sterup Moore et al., 2024). Ainsi, selon ces auteurs, une base annuelle de ce calcul devrait être adoptée pour les paramètres qualitatifs tels que la protéine, la matière grasse, l'urée et la caséine tandis qu'une base saisonnière serait plus adaptée pour évaluer l'effet sur la production laitière et le taux cellulaire. La spécificité des seuils concerne aussi le paramètre analysé. Ainsi, les taux cellulaires et de tank augmentent significativement lorsque le THI est supérieur à 73. De même les pourcentages de matières grasses et de protéines diminuent significativement quand le THI est supérieur à 65 (Bertocchi et al., 2014).

Par ailleurs, pour un seuil de stress donné, les valeurs des températures minimales et maximales diminuent avec l'augmentation du pourcentage d'humidité (Ravagnolo et al., 2000 ; Polsky et von Keyserlingk, 2017 ; Habeeb et al. 2018).

Les systèmes automatiques de saisies et d'analyse des données, qu'elles soient météorologiques ou relatives à l'hébergement, à la physiologie ou au comportement de l'animal, se multiplient (Cuthbertson et al., 2019 ; Stewart et al., 2017 ; Becker et al., 2021 ; Islam et al., 2021 ; Rashamol et al., 2019). Elles se complètent par ailleurs de biotechnologies plus spécifiquement réservées à l'étude du génome et du transcriptome (Rashamol et al., 2019). Nous les présenterons de manière plus spécifique dans un second article (Hanzen et al., 2024). L'analyse de ces données au moyen de l'intelligence artificielle (deep et machine learning) (Qiao et al., 2020) va sans nul doute à l'avenir permettre le développement d'applications qui vont aider les éleveurs et les vétérinaires à prendre des décisions adaptées aux changements climatiques pour mieux gérer les pratiques d'alimentation et de reproduction des animaux.

■ CONCLUSION

Le changement climatique est une réalité qui impacte de plus en plus les productions animales. Ses effets sur le bien-être et les capacités de production et de reproduction sont l'objet d'études de plus en plus nombreuses en raison de leurs conséquences économiques. Ils dépendent de caractéristiques propres à l'animal mais aussi à son environnement. Cette situation impose aux agronomes et vétérinaires une prise de conscience qui doit les inviter à identifier aussi rapidement que possible les conséquences de ce phénomène dans un environnement donné. Pour ce faire, ils doivent être capables de mettre en place des outils et d'analyser les données collectées pour formuler des recommandations adaptées.

Remerciements

Mes remerciements s'adressent aux collègues qui ont participé à la rédaction de cet article ainsi qu'au personnel de la *Revue d'Élevage et Médecine Vétérinaire Tropicale* qui en a assuré la correction et la mise en page.

Financement

Ce travail de synthèse n'a bénéficié d'aucune subvention spécifique de la part d'un organisme de financement du secteur public, commercial ou à but non lucratif.

Conflits d'intérêts

L'étude a été réalisée sans aucun conflit d'intérêts.

Contributions des auteurs

CH et DEG ont participé à la conception et à la rédaction du présent travail. PD, EK, JLH ont révisé le manuscrit.

Ethique de la recherche

Cet article de synthèse essentiellement basé sur la littérature scientifique et des rapports d'expertise n'a pas fait l'objet de demande spécifique auprès d'un comité d'éthique.

Accès aux données de la recherche

Les données n'ont pas été déposés dans un dépôt officiel. Les données qui étayent les résultats de l'étude sont disponibles sur demande auprès des auteurs.

Déclaration de l'IA générative dans la rédaction scientifique

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

REFERENCES

- Adams D.R., Klopfenstein T.J., Erickson G.E., Griffin W.A., Luebke M.K., Greenquist M.A., Benton J.R., 2010. Effects of sorting steers by body weight into calf-fed, summer yearling, and fall yearling feeding systems. *Prof. Anim. Sci.*, **26**: 587-594, doi: 10.15232/S1080-7446(15)30655-0
- Afsal A., Sejian V., Bagath M., Krishnan G., Devaraj C., Bhatta R. 2018. Heat Stress and Livestock adaptation: neuro-endocrinal regulation. *Int. J. Vet. Anim. Med.*, **1**(2): 108, doi: 10.31021/ijvam.20181108
- Alameen A.O., Abdelatif A.M. 2012. Metabolic and endocrine responses of crossbred dairy cows in relation to pregnancy and season under tropical conditions. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*, **12**(8): 1065-1074, doi: 10.5829/idosi.ajeaes.2012.12.08.6619
- Alves B.G., Alves K.A., Martins M.C., Braga L.S., Silva T.H., Alves B.G., Santos R.M. et al., 2014. Metabolic profile of serum and follicular fluid from postpartum dairy cows during summer and winter. *Reprod. Fertil. Dev.*, **26**(6): 866-874, doi: 10.1071/RD13102
- Armstrong D.V., 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.*, **77**(7):2044-2050, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6
- Atrian P., Shahryar H.A., 2012. Heat stress in dairy cows (A review). *J. Zool.*, **2**:31-37
- Barendse W. 2017. Climate Adaptation of Tropical Cattle. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* **5**:133-150, doi: 10.1146/annurev-animal-022516-022921
- Beatty D.T., Barnes A., Taylor E., Pethick D., McCarthy M., Maloney S.K., 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J. Anim. Sci.*, **84**(4): 972-985, doi: 10.2527/2006.844972x
- Becker C.A., Aghalari A., Marufuzzaman M., Stone A.E., 2021. Predicting dairy cattle heat stress using machine learning techniques. *J. Dairy Sci.*, **104**(1): 501-524, doi: 10.3168/jds.2020-18653
- Behera R., Rai S., Karunakaran M., Mandal A., Mondal M., 2020. Temperature Humidity Index and Its Relationship with Production Traits of Dairy Cattle and Buffaloes – Review. *Int. J. Livest. Res.*, **10**(3): 38-48, doi: 10.5455/ijlr.20181026073415
- Berman A., Folman Y., Kaim M., Mamen M., Herz Z., Wolfenson D., Arieli A., et al., 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.*, **68**: 1488-1495, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(85)80987-5
- Berman A.J., 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.* **83**(6): 1377-1384, doi: 10.2527/2005.8361377x
- Berman A., Horovitz T., Kaim M., Gacitua H., 2016. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. *Int. J. Biomet.* **60**: 1453-1462, doi: 10.1007/s00484-016-1136-9
- Bernabucci U., Lacetera N., Baumgard L.H., Rhoads R.P., Ronchi B., Nardone A., 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, **4**(7): 1167-1183, doi: 10.1017/S175173111000090X

- Bernabucci U., Biffani S., Buggiotti L., Vitali A., Lacetera N., Nardone A. 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, **97**(1): 471-486, doi: 10.3168/jds.2013-6611
- Bertocchi L., Vitali A., Lacetera N., Nardone A., Varisco G., Bernabucci U. 2014. Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature-humidity index relationship. *Animal*, **8**(4):667-674, doi: 10.1017/S1751731114000032
- Bianca W., 1962. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature*, **195**: 251-252, doi: 10.1038/195251a0
- Bligh J., Johnson K.G., 1973. Glossary of terms for thermal physiology. *J. Appl. Physiol.*, **35**(6): 941-961, doi: 10.1152/jappl.1973.35.6.941
- Blix A.S., Walløe L., Folkow L.P., 2011. Regulation of brain temperature in winter-acclimatized reindeer under heat stress. *J. Exp. Biol.* **214**(22): 3850-3856, doi: 10.1242/jeb.057455
- Bohmanova J., Misztal I., Cole J.B. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J. Dairy Sci.*, **90**(4): 1947-1956, doi: 10.3168/jds.2006-513
- Brown-Brandl T.M., Eigenberg R.A., Nienaber J.A. 2006. Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livest. Sci.*, **105**(1-3): 57-68, doi: 10.1016/j.livsci.2006.04.025
- Buffington D.E., Collazo-Arocho A., Canton G.H., Pitt D., Thatcher W., Collier R.J., 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions ASAE*, **24**(3): 0711-0714, doi: 10.13031/2013.34325
- Collier R.J., Laun W.H., Rungruang S., Zimbleman R.B., 2012. Quantifying heat stress and its impact on metabolism and performance. in Proceedings of the Florida Ruminant Nutrition Symposium, Gainesville, University of Florida, USA, 74-83
- Collier R.J., Gebremedhin K.G., 2015. Thermal biology of domestic animals. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, **3**: 513-532., doi: 10.1146/annurev-animal-022114-110659
- Collier R.J., Baumgard L.H., Zimbleman R.B., Xiao Y., 2019. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Anim. Front.*, **9**(1): 12-19, doi: 10.1093/af/vfy031
- Cummins K., 1998. Bedding plays role in heat abatement. *Dairy Herd Manag.*, **35**(6):20
- Cuthbertson H., Tarr G., González L.A., 2019. Methodology for data processing and analysis techniques of infrared video thermography used to measure cattle temperature in real time. *Comput. Electron. Agric.* **167**: 105019, doi: 10.1016/j.compag.2019.105019
- da Silva R.G., Morais D.A.E.F., Guilhermino M.M., 2007. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. *Rev. Bras. Zootec.* **36**(4 suppl): 1192-1198, doi: 10.1590/S1516-35982007000500028
- da Silva R.G., Maia A.S., de Macedo Costa L.L., 2015. Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. *Int. J. Biometeorol.* **59**(5): 551-559, doi: 10.1007/s00484-014-0868-7
- Dash S., Chakravarty A.K., Singh A., Upadhyay A., Singh M., Yousuf S., 2016. Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. *Vet. World*, **9**(3): 235-244, doi: 10.14202/vet-world.2016.235-244
- Dikmen S., Mateescu R.G., Elzo M.A., Hansen P.J., 2018. Determination of the optimum contribution of Brahman genetics in an Angus-Brahman multibreed herd for regulation of body temperature during hot weather. *J. Anim. Sci.* **96**(6): 2175-2183, doi: 10.1093/jas/sky133
- Dobson H., Smith R.F., 2000. What is stress and how does it affect reproduction? *Anim. Reprod. Sci.*, **60-61**: 743-752, doi: 10.1016/S0378-4320(00)00080-4
- Finch V.A., Western D., 1977. Cattle colors in pastoral herds: natural selection or social preference? *Ecology*, **58**(6): 1384-1392, doi: 10.2307/1935090
- Fournel S., Ouellet V., Charbonneau É. 2017. Practices for alleviating heat stress of dairy cows in humid continental climates: A literature review. *Animals*, **7**(5): 37, doi: 10.3390/ani7050037
- Frich A., Alexander L.V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank A.M.G., et al. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res.*, **19**: 193-212, doi: 10.3354/cr019193
- Gaughan J.B., Mader T.L., Holt S.M., Lisle A., 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, **86**(1): 226-234, doi: 10.2527/jas.2007-0305
- Gauly M., Bollwein H., Breves G., Brügemann K., Dänicke S., Das G., Demeler J. et al., 2013. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe – a review. *Animal*, **7**(5): 843-859, doi: 10.1017/S1751731112002352
- Gauly M., Ammer S., 2020. Challenges for dairy cow production systems arising from climate changes. *Animal*, **14**(suppl 1): s196-s203, doi: 10.1017/S1751731119003239
- Habeeb A.A., Gad A.E., Atta M.A., 2018. Temperature-Humidity Indices as Indicators to Heat Stress of Climatic Conditions with Relation to Production and Reproduction of Farm Animals. *Int. J. Biotechnol. Recent. Adv.*, **1**(1): 35-50, doi: 10.18689/ijbr-1000107
- Habeeb M. 2020. Impact of Heat Stress of Hot Summer Season in Tropical and Subtropical Countries and How Reduce the Adverse Effects on Farm Animals. *Int. J. Nutr. Sci.* **5**(1): 1042.
- Hahn G.L., Gaughan J.B., Mader T.L., Eigenberg R.A., 2009. Thermal Indices and Their Applications for Livestock Environments. In: DeShazer (Ed. J.A.), *Livestock Energetics and Thermal Environmental Management*, 113-130., doi: 10.13031/2013.28298
- Hamada T., 1971. Estimation of lower critical temperatures for dry and lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **54**(11): 1704-1705, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(71)86093-9
- Hansen P.J., 1990. Effects of coat colour on physiological responses to solar radiation in Holsteins. *Vet. Rec.*, **127**(13): 333-334.
- Hansen P.J. 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim. Reprod. Sci.* **82-83**: 349-360. doi: 10.1016/j.anireprosci.2004.04.011
- Hanzen C., Delhez P., Hornick J.L., Lessire F., Gherissi D.E., 2024. Le stress thermique environnemental dans l'espèce bovine. 2. Effets physiologiques, pathologiques, comportementaux, alimentaires et sur la production laitière. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **77**: 37380, doi: 10.19182/remvt.37380
- Herbut P., Angrecka S., Walczak J., 2018. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle – a review. *Int. J. Biometeorol.*, **62**: 2089-2097, doi: 10.1007/s00484-018-1629-9
- Idris M., Uddin J., Sullivan M., McNeill D.M., Phillips C.J.C., 2021. Non-Invasive Physiological Indicators of Heat Stress in Cattle. *Animals*, **11**(1): 71, doi: 10.3390/ani11010071
- IPCC (International Panel on climate change), 2023. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> (consulté septembre 2023)
- Islam M.A., Lomax S., Doughty A., Islam M.R., Jay O., Thomson P. Clark C., 2021. Automated Monitoring of Cattle Heat Stress and Its Mitigation. *Front. Anim. Sci.*, **2**: 737213, doi: 10.3389/fanim.2021.737213
- Ji B., Banhazi T., Perano K., Ghahramani A., Bowtell L., Wang C., Li B., 2020. A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. *Biosyst. Eng.*, **199**: 4-26, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2020.07.009
- Kadzere C.T., Murphy M.R., Silanikove N., Maltz E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livest. Prod. Sci.*, **77**(1): 59-91, doi: 10.1016/S03016226(01)00330-X
- Kerr S.R., 2015. FS157E Livestock Heat Stress: Recognition, Response, and Prevention. Washington State University, USA, 10 p., <https://hdl.handle.net/2376/5277>
- Macfarlane W.V., Morris R.J.H., Howard B., 1958. Heat and water in tropical Merino sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, **9**(2): 217-228, doi: 10.1071/AR9580217
- Mader T.L., Davis M.S., Brown-Brandl T., 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, **84**(3): 712-719, doi: 10.2527/2006.843712x
- Mader T.L., Johnson L.J., Gaughan J.B., 2010. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *J. Anim. Sci.*, **88**(6): 2153-2165, doi: 10.2527/jas.2009-2586
- Maia A.S.C., da Silva R.G., Bertipaglia E.C.A., 2005. Environmental and genetic variation of the effective radiative properties of the coat of Holstein cows under tropical conditions. *Livest. Prod. Sci.* **92**(3): 307-315, doi: 10.1016/j.livprodsci.2004.09.004
- Mbuthia J.M., Eggert A., Reinsch N., 2022. Cooling temperature humidity index-days as a heat load indicator for milk production traits. *Front. Anim. Sci.*, **3**: 946592, doi: 10.3389/fanim.2022.946592
- McLean J.A. 1963. The regional distribution of cutaneous moisture vaporization in the Ayrshire calf. *J. Agric. Sci.*, **61**(2): 275-279, doi: 10.1017/S0021859600006031
- Morgan K., 1998. Thermoneutral zone and critical temperatures of horses. *J. Therm. Biol.* **23**(1): 59-61, doi: 10.1016/S0306-4565(97)00047-8
- Mota-Rojas D., Pereira A.M.F., Wang D., Martínez-Burnes J., Ghezzi M., Hernández-Avalos I., Lendez P., et al., 2021. Clinical Applications and Factors Involved in Validating Thermal Windows Used in Infrared Thermography in Cattle and River Buffalo to Assess Health and Productivity. *Animals*, **11**(8): 2247, doi: 10.3390/ani11082247

- Nakamura K., Morrison S.F., 2008. A thermosensory pathway that controls body temperature. *Nat. Neurosci.*, **11**: 62-71, doi: 10.1038/nn2027
- NRC (National Research Council), 1971. A Guide to Environmental Research on Animals. The National Academic Press, Washington DC, USA, 382 p. doi: 10.17226/20608
- Polsky L., von Keyserlingk M.A.G., 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.*, **100**(11): 8645-8657, doi: 10.3168/jds.2017-12651
- Qiao Y., Su D., Kong H., Sukkarieh S., Lomax S., Clark C., 2020. Data augmentation for deep learning based cattle segmentation in precision livestock farming. *IEEE Int. Conf. Autom. Sci. Eng.*, **92**: 979-984, doi: 10.1109/CASE48305.2020.9216758
- Rashamol V.P., Sejian V., Pragna P., et al., 2019. Prediction models, assessment methodologies and biotechnological tools to quantify heat stress response in ruminant livestock. *Int. J. Biometeorol.*, **63**: 1265-1281 doi: 10.1007/s00484-019-01735-9
- Ravagnolo O., Misztal I., Hoogenboom G., 2000. Genetic Component of Heat Stress in Dairy Cattle, Development of Heat Index Function. *J Dairy Sci.*, **83**(9): 2120-2125, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75094-6
- Recce S., Huber E., Notaro U.S., Rodríguez F.M., Ortega H.H., Rey F., Signorini M.L., et al., 2021. Association between heat stress during intra-uterine development and the calving-to-conception and calving-to-first-service intervals in Holstein cows. *Theriogenology*, **162**: 95-104, doi: 10.1016/j.theriogenology.2021.01.002
- Renaudeau D., Collin A., Yahav S., De Basilio V., Gourdine J.L., Collier R.J., 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, **6**(5): 707-728, doi: 10.1017/S1751731111002448
- Scheffler T.L., 2022. Connecting Heat Tolerance and Tenderness in *Bos indicus* Influenced Cattle. *Animals*, **12**(3): 220, doi: 10.3390/ani12030220
- Schüller L.K., Burfeind O., Heuwieser W., 2013. Short communication: comparison of ambient temperature, relative humidity, and temperature-humidity index between on-farm measurements and official meteorological data. *J. Dairy Sci.*, **96**(12): 7731-7738, doi: 10.3168/jds.2013-6736
- Shephard R.W., Maloney S.K., 2023. A review of thermal stress in cattle. *Austr. Vet. J.* **101**(11): 417-429, doi: 10.1111/avj.13275
- Silanikove N., 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.*, **67**(1-2): 1-18, doi: 10.1016/S0301-6226(00)00162-7
- Silanikove N., Koluman N., 2015. Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Rumin. Res.*, **123**(1): 27-34, doi: 10.1016/j.smallrumres.2014.11.005
- Sterup Moore S., Costa A., Penasa M., De Marchi M., 2024. Effects of different temperature-humidity indexes on milk traits of Holstein cows: A 10-year retrospective study. *J. Dairy Sci.*, **107**(6): 3669-3687, doi: 10.3168/jds.2023-23723
- Stewart M., Wilson M.T., Schaefer A.L., Huddart F., Sutherland M.A., 2017. The use of infrared thermography and accelerometers for remote monitoring of dairy cow health and welfare. *J. Dairy Sci.*, **100**(5): 3893-3901, doi: 10.3168/jds.2016-12055
- St-Pierre N.R., Cobanov B., Schnitkey G., 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.*, **86**(suppl): E52-E77, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5
- Thom E.C., 1959. The discomfort index. *Weatherwise*, **12**(2): 57-61, doi: 10.1080/00431672.1959.9926960
- Van Laer E., Moons C.P.H., Ampe B., Sonck B., Vandaele L., De Campenere S., Tuytens F.A.M., 2015. Effect of summer conditions and shade on behavioural indicators of thermal discomfort in Holstein dairy and Belgian Blue beef cattle on pasture. *Animal*, **9**(9): 1536-1546, doi: 10.1017/S1751731115000804
- Wang X., Schmidt Bjerg B., Choi C.Y., Zong C., Zhang G., Zong C., 2018a. A review and quantitative assessment of cattle-related thermal indices. *J. Thermal Biol.*, **77**: 24-37, doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.08.005
- Wang X., Hongding G., Gebremedhin K.G., Schmidt Bjerg B., Van Os J., Tucker C.B., Zhang G., et al., 2018b. A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC). *J. Thermal Biol.*, **76**: 165-170, doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.07.013
- Wang J., Li J., Wang F., Xiao J., Wang Y., Yang H., Li S., et al., 2020. Heat stress on calves and heifers: a review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* **11**: 79-86, doi: 10.1186/s40104-020-00485-8
- WMO (World Meteorological Organization). 2023. <https://public.wmo.int/fr/media/cest-officiel-les-huit-dernieres-annees-sont-bien-les-plus-chaudes-jamais-enregistrees-dans-le-monde>
- Yousef M.K., 1985. *Stress Physiology in Livestock* CRC Press, Boca Raton, FL.

Summary

Hanzen C., Delhez P., Knapp E., Hornick J.L., Gherissi D.E. Environmental heat stress in cattle: 1. General characteristics and assessment methods

Background: The average global surface temperature is rising steadily. Such a situation contributes to increase the frequency of heat waves, i.e. periods of 3 to 6 days during which the air temperature is higher than the average temperature of the geographical area concerned. This situation has multiple consequences for human, plant and animal populations. **Aim:** The objective of this literature review is to explore the principles of thermal regulation in the bovine. **Methods:** A bibliographic search was carried out in PubMed. It focused initially on review articles. The references of the identified articles were then added. **Results:** This intricate process involves a range of mechanisms, including radiation, convection, conduction and evaporation. These mechanisms, contingent upon the animal's characteristics and its immediate surroundings, play a crucial role in mitigating or increasing the effects of thermal stress – a state of imbalance between factors that induce an increase in body temperature and those that act in the opposite direction. Thermal stress arises when the animal is outside its so-called thermal neutrality zone, defined by critical minimum and maximum temperatures whose values depend on age, breed, production level, body condition, stage of lactation, rearing buildings, coat color, and skin pigmentation. The effects of outside temperature depend on the degree of humidity in the environment. These can be assessed using various THI (Temperature Humidity Index) indicators. Notably, the development of cutting-edge technologies (e.g., in-depth imaging, infrared thermography, video surveillance) is expanding our capacity to monitor meteorological data, the thermal environment of animals, and even the manifestation of stress-related signs. **Conclusions:** It is essential to make those responsible for animal health aware of the consequences of heat stress on animals' ability to regulate body temperature. This ability can be assessed with ever greater precision thanks to indexes and technologies that make it possible to measure and understand the effects of heat stress on animals.

Keywords: Cattle, air temperature, humidity, heat stress, thermoregulation

Resumen

Hanzen C., Delhez P., Knapp E., Hornick J.L., Gherissi D.E. Estrés térmico ambiental en el ganado vacuno: 1. características generales y métodos de evaluación

Contexto: La temperatura media en la superficie del globo no deja de aumentar. Comporta especialmente un aumento de la frecuencia de las olas de calor, es decir, de períodos con una duración de 3 a 6 días durante los cuales la temperatura del aire es superior a la temperatura media de la zona geográfica afectada. Esta situación viene acompañada por múltiples consecuencias para las poblaciones humanas, vegetales y animales. **Objetivo:** Este estudio tiene como objetivo recapitular los conceptos fundamentales que rigen la regulación térmica en los bovinos. **Método:** Se realizó una investigación bibliográfica en PubMed, que se concentró primeramente en los artículos de síntesis y posteriormente se completó con las referencias de los artículos identificados. **Resultados:** Se encuentran implicados una serie de procesos tales como la radiación, la convección, la conducción y la evaporación. Estos procesos, en función de las características del animal y de su entorno, contribuirán a reducir o a aumentar los efectos del estrés térmico. El estrés térmico se define como el estado de desequilibrio entre, por un lado, los factores que contribuyen a aumentar la temperatura corporal y, por otro lado, los que contribuyen a reducirla. La situación de estrés térmico se encuentra cuando el animal está fuera de su zona llamada de neutralidad térmica, definida por las temperaturas mínima y máxima críticas, cuyos valores dependen de la edad, la raza, el nivel de producción, el estado corporal, el estadio de lactancia, los edificios de cría, el color del pelo y el color de la piel. Los efectos de la temperatura exterior dependen del grado de humedad del entorno. Se pueden evaluar mediante diversos índices THI (índice de temperatura y humedad). Cada vez más, emergen tecnologías (imágenes de profundidad, termografía por infrarrojo, videovigilancia, acelerómetros, podómetros...) que permiten seguir los datos meteorológicos, el entorno térmico de los animales, incluso detectar sus signos de estrés. **Conclusiones:** Es esencial sensibilizar a los responsables de la salud animal sobre las consecuencias del estrés térmico en la capacidad de regulación de la temperatura corporal de los animales. Esta capacidad puede evaluarse cada vez con mayor precisión gracias a índices y tecnologías que permiten medir y comprender los efectos del estrés térmico en los animales.

Palabras clave: Ganado bovino, temperatura del aire, humedad, estrés térmico, termorregulación