



## Le stress thermique chez la vache laitière Holstein de Tunisie: effets sur les performances de production Heat stress in the Tunisian Holstein dairy cow: effects on production performance

Khaoula Attia<sup>1</sup>, Ikram ben Souf<sup>1</sup>, Cyrine Darej<sup>1</sup>, Naceur M'Hamdi<sup>1\*</sup>, Refka Khattab<sup>2</sup>, Ibrahim El-Akrem Znaidi<sup>2</sup>, Hichem Khemiri<sup>3</sup>, Moncef Kthiri<sup>3</sup> & Rachid Bouraoui<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Research Laboratory of Ecosystems & Aquatic Resources, National Agronomic Institute of Tunisia, Carthage University, 43 Avenue Charles Nicolle, Tunis 1082, Tunisia.

<sup>2</sup>Department of Animal Production, Higher Agronomic Institute of Chott-Meriem, University of Sousse, Tunisia

<sup>3</sup>ODESYANO, Beja

<sup>4</sup>Department of Animal Production, Higher School of Agriculture of Mateur, Carthage University, Tunisia

### Article info

Histoire :

Reçu le 10/02/2022

Accepté le 24/05/2022

Mots-Clés : Stress thermique, Vache laitière, Holstein, Tunisie.

\* Auteur correspondant

naceur\_mhamdi@yahoo.fr

### Article info

Article history:

Received 10/02/2022

Accepted 24/05/2022

Keywords: Heat stress, dairy cow, Holstein, Tunisia.



Copyright©2022 JOASD

\* Corresponding author

naceur\_mhamdi@yahoo.fr

**Conflict of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

### Résumé

Cette étude visait à évaluer l'effet du stress thermique subis par les vaches laitières Holstein en Tunisie. Les données de contrôles laitiers : PL, MG, MP et le SCS collectés entre 2013 et 2019 chez 947 vaches dans 23 troupeaux ont été combinées avec un THI calculé à partir des données météorologiques enregistrées entre 2013 et 2019. Le modèle non linéaire de Wood a été appliqué à la modélisation de la courbe de lactation. L'analyse de la variance a été appliquée pour tester les effets de trois niveaux de THI ( $THI > 72$ ;  $68 < THI < 72$  et  $THI < 68$ ) sur la production de lait, sa composition et les paramètres de la courbe de lactation. Les résultats ont montré des pertes dues au stress thermique. Une diminution du rendement en lait et du pourcentage de matières grasses et de protéines a été signalée. Ainsi, les rendements en matières grasses et en protéines ont eu tendance à diminuer régulièrement avec l'augmentation des valeurs de THI. Le rendement laitier variait de  $17,882 \pm 0,064$  ( $68 < THI < 72$ ) à  $16,503 \pm 0,035$  kg / j ( $THI > 72$ ), le pourcentage de matières grasses et de protéines variait de  $3,551 \pm 0,041$  à  $3,449 \pm 0,026$  et de  $3,246 \pm 0,031$  à  $3,113 \pm 0,029$  % pour  $68 < THI < 72$  et  $THI > 72$ , respectivement. Les modèles de score somatique ont été marqués par une augmentation (de 4,143 à 4,358) aux plages les plus élevées de  $THI > 72$ , et des valeurs diminuées (de 4,143 à 3,857) aux plages les plus basses de THI. L'effet du THI était très significatif ( $P < 0,05$ ) pour tous les paramètres de la courbe de lactation et du rendement laitier. Les rendements laitiers de pointe les plus élevés et le rendement total le plus élevé de 305 jours de lactation (Y305) ont été atteints par des vaches exposées au THI entre 68 et 72.

### Abstract

This study was aimed to evaluate the effect of heat stress exhibited by Holstein's dairy cows under Tunisian temperate climate. Milk, fat, protein, and somatic cell count test-day records collected between 2013 and 2019 from 947 cows in 23 herds were combined with THI calculated from meteorological data recorded between 2013 and 2019. The nonlinear model of Wood was applied to modelling lactation curve. Analysis of variance was applied to test the effects of three level of THI ( $THI > 72$ ;  $68 < THI < 72$  and  $THI < 68$ ) on milk production, its composition and lactation curve parameters. Results showed losses due to heat stress. A decrease in milk yield and fat and protein percentage was reported. So, fat and proteins yields tended to decrease steadily with increasing values of THI. Milk yield ranged from  $17,882 \pm 0,064$  ( $68 < THI < 72$ ) to  $16,503 \pm 0,035$  kg/j ( $THI > 72$ ), fat and proteins percentage ranged from  $3,551 \pm 0,041$  to  $3,449 \pm 0,026$  and from  $3,246 \pm 0,031$ %, to  $3,113$  ( $0,029$ ) for  $68 < THI < 72$  and  $THI > 72$ , respectively. Somatic score patterns were marked by increased (from 4,143 to 4,358) at highest ranges of  $THI > 72$ , and decreased values (from 4,143 to 3,857) at lowest ranges of THI. The effect of THI was highly significant ( $P < 0.05$ ) for all parameters of the lactation curve and milk yield. The highest peak milk yields and the highest total yield of 305 days of lactation (Y305) were achieved by cows exposed to THI between 68 and 72.

## 1. INTRODUCTION

L'élévation des températures combinée à l'augmentation du nombre d'animaux de production et l'intensification de l'agriculture (Renaudeau et al. 2012), y compris (mais sans s'y limiter) celle des économies émergentes est une issue environnementale majeure. En effet, le stress thermique est devenu un défi important pour l'industrie laitière mondiale. Etant donné que les vaches laitières ont déjà des charges thermiques internes élevées dues à une production laitière élevée (Chebel et al. 2004), les effets de l'accumulation de chaleur incrémentielle sont exacerbés lorsque les valeurs de température et d'humidité augmentent dans l'environnement (West, 2003). De nos jours, le stress thermique est devenu l'un des plus grands défis auxquels sont confrontés les producteurs laitiers dans de nombreuses régions du monde. Par ailleurs, le stress thermique représente un problème critique mettant en danger le bien-être animal et la productivité dans les élevages laitiers. Toutefois, les études d'impacts du changement climatique ont été basées sur un modèle numérique conçu pour comprendre les effets des conditions de stress thermique sur des animaux individuels. Les résultats ont contribué, d'une manière significative, à améliorer la gestion du troupeau en prêtant des indications pour définir des traitements ciblés en fonction des caractéristiques de la vache. La connaissance de la sensibilité au stress thermique permet d'identifier les animaux les plus vulnérables au stress thermique dû à la température et à l'humidité élevées (Johnson et al. 1963) et donc de mettre en œuvre des stratégies spécifiques afin d'atténuer leurs réponses critiques (M'Hamdi et al. 2012). Les animaux, comme les humains, souffrent dans des conditions de chaleur et d'humidité extrêmes. Pour les animaux d'élevage, les conditions météorologiques extrêmes peuvent nuire à la productivité et à leur bien-être (M'Hamdi et al. 2013). L'effet sur les bovins laitiers peut être relativement facilement déterminé car avec la traite deux fois par jour, toute baisse de rendement peut être rapidement identifiée et a un effet immédiat sur les revenus

généralisés. Les conséquences physiologiques mesurables comprennent: la réduction de l'ingestion, la croissance, la fertilité, la production laitière ainsi que la mortalité éventuelle (O'Brien et al. 2010, et Crescio et al. 2010). Ces effets réduisent la productivité du troupeau, avec des conséquences sur la viabilité économique (St-Pierre et al. 2003). En outre, à l'échelle du troupeau, la sensibilité dépend de la race, de la valeur génétique du troupeau. Généralement les vaches à haut potentiel génétique (généralement celles sélectionnées pour un rendement laitier élevé) étant proportionnellement plus affectées par le stress thermique (Bryant et al. 2007). Certaines races de bovin semblent être mieux acclimatées à des températures plus chaudes, certains bovins de boucherie adaptés aux climats subtropicaux étant mieux à même de résister à des périodes prolongées de stress thermique modéré (Boonprong et al. 2008). Par conséquent, un animal devient soumis à un stress thermique lorsqu'il est incapable de dissiper la chaleur interne dans son environnement. Les animaux hébergés dans des climats à température élevée ou à température élevée combinée à une humidité relative élevée ont un risque de stress thermique plus élevé. Chez les bovins laitiers, la recherche suggère que le stress thermique se produit lorsque l'indice d'humidité et de la température (THI) dépasse 68 (Collier et al. 2006). L'objectif principal de ce travail, est d'étudier l'effet du THI sur la production laitière et les paramètres de la courbe de lactation des vaches laitières Holstein en Tunisie.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Données de la production laitière

L'ensemble de données utilisées dans la présente étude comprenait 65536 contrôles journaliers provenant de 947 vaches ayant des lactations complètes. Les données proviennent du contrôle laitier fourni par le Centre National d'Amélioration Génétique de Sidi Thabet (CNAG Sidi Thabet, Tunisie). Les données étaient disponibles pour les 10 premières lactations. Ces données sont collectées de 2013 à 2019 dans 23 troupeaux. Cet échantillon a été épuré afin

d'éliminer les données aberrantes. Ainsi, les lactations ayant moins de 10 contrôles consécutifs et les contrôles réalisés moins de 5 jours après le début de la lactation ont été éliminés. Les enregistrements avec le rendement en lait, le pourcentage de protéines ou le pourcentage de gras absent ou biologiquement inacceptable (un rendement en lait moins de 5 Kg ou un pourcentage de protéines ou de gras nul ont été exclus. Par contre aucune restriction n'a été appliquée sur le comptage des cellules somatiques. Lorsque le premier contrôle de la lactation a eu lieu 60 jours après le début de la lactation, la lactation entière a été éliminée afin de bien caractériser le pic de la lactation. L'intervalle de traite considérée a été limité à la durée standard de 305 jours après le vêlage. Le comptage des cellules somatiques a été log transformé selon la formule d'Ali et Shook (1980):  $SCS = \log_2 (CCS/100000) + 3$

## 2.2. Données climatiques

Les données météorologiques ont été obtenues à partir de site de TerraClimate; [http://www.climatologylab.org/terraclimat\\_e.html](http://www.climatologylab.org/terraclimat_e.html), développé à l'Université de Idaho, par Abatzoglou et al. (2018). Il s'agit d'un ensemble de données climatiques mensuelles et du bilan hydrique mondiales à partir de l'année 1958, extraites sous format CSV. Cet outil fournit des données importantes pour les études écologiques et hydrologiques à l'échelle mondiale qui nécessite une résolution spatiale élevée. Nous avons retenu, seulement les données comprenaient la température quotidienne maximale, minimale et moyenne, et les enregistrements d'humidité relative quotidienne moyenne. Les variables météorologiques utilisées dans cette étude incluait la température maximale quotidienne et l'humidité relative moyenne quotidienne. Le THI a été calculé en utilisant la formule développée par le National Oceanic and Atmospheric Administration (1976):

$$THI = (1,8 \times T_{max} + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times HR) \times (1,8 \times T_{max} - 26)]$$

Avec:  $T_{max}$  et HR sont la température quotidienne maximale (°C) et l'humidité relative moyenne (%), respectivement.

## 2.3. Modélisation et calcul des paramètres de la courbe de lactation

- Modèle de Wood (WD)

Le modèle de Wood (Wood, 1967) a été utilisé pour ajuster les courbes de lactation individuelles du rendement en lait, du pourcentage du gras (PG), du pourcentage de protéines (PP) et le score de cellules somatiques (SCS).

L'expression mathématique du modèle est de la forme suivante:

$$Y_t = atb (exp) - ct$$

Avec  $Y_t$  est la production laitière journalière (kg /jour) au jour t, Les paramètres a, b et c définissent l'échelle et la forme de la courbe de lactation. Ainsi, le paramètre a indique la production laitière initiale, b indique le taux de croissance jusqu'au pic de lactation et c indique le taux de décroissance après le pic de lactation. Les paramètres a, b et c ont été calculés par la méthode de régression non linéaire.

Le pic de lactation ou la production maximale est le point où la vache atteint la production laitière journalière la plus élevée durant la lactation. Il détermine l'allure de la lactation complète. Le pic de lactation ( $Y_{max}$ ):

$$Y_{max} = a (b/c) b (exp) - b$$

Le jour d'apparition du pic de lactation (temps max) :

$$\text{Temps max} = b/c$$

La persistance durant la lactation donne une idée sur la manière dont la production laitière se maintient durant la lactation. La persistance est calculée comme le pourcentage de la production d'un mois sur celle du mois précédant, Elle est en moyenne de 94 - 96%, Ce qui signifie qu'après le pic de lactation, la production laitière diminue de presque 4 à 6% d'un mois à l'autre. La persistance (p) est calculée comme suit :

$$P = - (b+1) \log (c)$$

## 2.4. Choix des valeurs initiales des paramètres du modèle WD

Toutes les procédures d'estimation non linéaire nécessitent des valeurs initiales des paramètres des modèles mathématiques et le choix de bonnes valeurs initiales est crucial. Cependant, actuellement il n'existe pas de procédure standard pour obtenir les

estimations initiales, Dans ce travail, nous avons estimé les paramètres initiaux du modèle en s'inspirant des travaux de Fadel (2004) qui consistent à accorder une grille de valeurs fixes au paramètre **a**. Les suppositions initiales pour ces paramètres ont été fixées en se basant sur l'information préalable disponible dans la bibliographie. Le paramètre **a** était de 15 à 30 pour le modèle WD. Les paramètres **b** et **c** ont été fixés à une seule valeur ( $b=0,1$  et  $c=0,02$ ).

## 2.5. Analyses statistiques des données

Les données ont fait l'objet d'une analyse descriptive avec la procédure means et une analyse de la variance avec la procédure GLM du logiciel SAS version 9.4 (Statistical Analysis System, Release 9.4 2012 ; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Les effets du THI sur la production et la composition du lait et les paramètres de la courbe de lactation ont été analysés par le modèle linéaire général suivant :

$$Y_{ij} = \mu + THLi + A_j + M_k + S_l + e_{ij}$$

Avec :  $Y_{ij}$  = les paramètres de la courbe de lactation, de la PL, MG, MP et SCS,  $\mu$  = la moyenne générale,  $THLi$   $i=1; 2$  et  $3$ ,  $A_j$  = effet année de vêlage ( $j=2013-2019$ ),  $M_k$  = effet du mois de vêlage ( $k=1-12$ ),  $S_l$  = effet du stade de lactation ( $l=1-3$ ) et  $e_{ij}$  = l'effet résiduel aléatoire avec une moyenne nulle.

## 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 3.1. Température ambiante moyenne (Tmoy en °C), l'humidité relative (HR en%) et l'index Température-Humidité (THI)

La température ambiante moyenne (°C), l'humidité relative (%) et l'indice d'humidité-température (THI) sont indiqués dans le Tableau 1. La température moyenne varie de 12,42°C au cours du mois de janvier, considéré le mois le plus froid à 28,59°C au cours du mois le plus chaud (août). Le THI varie de 62,61 pour le mois de janvier à 85,33 pour le mois d'août. En effet, le THI le plus élevé, pendant le mois d'août, indique un stress thermique plus élevé sur les vaches laitières au cours de cette période, suivi par juillet (84,59) et septembre (81,29) et le plus bas en janvier indiquant que les vaches sont exposées aux

effets négatifs du stress thermique. Les valeurs moyennes de THI inférieures à 68 confirment la présence de stress dû au froid pendant la période trois mois allant de janvier à mars et le mois de décembre. Les valeurs de THI comprises entre 68 et 72 indiquent que l'animal est dans sa zone de confort pendant les deux mois d'avril et novembre, ayant des valeurs moyennes de THI, 70,92 et 69,57, respectivement. L'évolution de THI en fonction de la saison (Fig. 1) montre que le THI a augmenté en fonction de l'augmentation de la température et de l'humidité relative. La Fig. 1 indique une charge de stress thermique positive de mai à octobre caractérisée par des valeurs THI qui dépassent le seuil critique de 72.

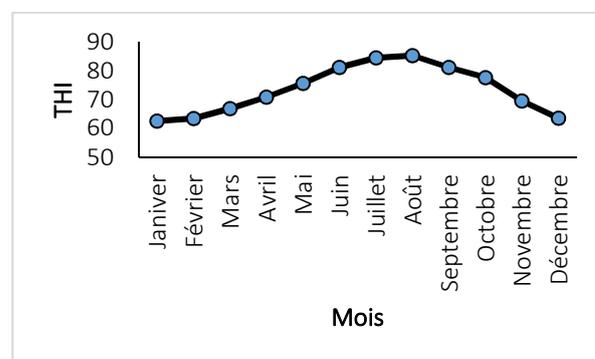


Fig. 1. Evolution mensuelle du THI en Tunisie.

Il est à signaler que la charge THI fournit une mesure de la quantité de stress thermique qu'un animal subit (St-Pierre et al., 2003). L' THI critique supérieur au-dessus duquel les animaux souffrent de stress thermique varie selon l'âge et le niveau de production (Bouraoui et al. 2002). Ce seuil d' THI a été estimé à environ 70 pour les vaches laitières (St-Pierre et al., 2003). Toutefois, Johnson (1989) a suggéré un seuil critique de l'ordre de 72 pour les vaches Holstein. Les résultats de ce travail soutiennent les résultats de Hammami et al. (2013). En effet, les valeurs moyennes de THI au cours des années (Tableau 2) allant de 2013 (75,16) à 2019 (72,92) ont exposé ainsi la vache laitière, selon la classification Du Preez et al. (1990) à un stress thermique modéré à sévère. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par Ben Salem et Bouraoui (2009). Le stress observé

**Tableau 1.** Variations de la Température ambiante moyenne (Tmoy en °C), l’humidité relative (HR en%) et l’index Humidité-température (THI) en fonction des mois

Mois	N	Paramètre	Moy.	Min	Max	CV	ET
Janvier	216	T moy	12,42	6,15	66,00	33,42	4,15
		HR	74,00	37,01	92,00	13,95	10,33
		THI	62,61	53,17	74,10	5,77	3,61
Février	197	Tmoy	12,71	7,70	21,30	18,01	2,29
		HR	70,02	40,00	94,00	19,25	13,48
		THI	63,56	55,34	77,29	6,67	4,24
Mars	217	Tmoy	15,00	8,30	22,70	18,50	2,77
		HR	71,32	35,00	96,00	19,96	14,24
		THI	66,94	53,73	91,27	8,05	5,39
Avril	210	Tmoy	18,17	10,25	24,45	13,21	2,40
		HR	70,28	38,00	93,00	16,79	11,80
		THI	70,92	55,50	89,04	6,75	4,78
Mai	217	Tmoy	21,59	16,20	31,45	11,34	2,44
		HR	65,00	38,00	87,00	17,36	11,28
		THI	75,65	65,10	92,48	5,46	4,13
Juin	210	Tmoy	25,56	18,65	36,75	10,72	2,74
		HR	60,94	33,00	83,00	17,83	10,86
		THI	81,20	70,43	97,51	5,83	4,73
juillet	217	Tmoy	28,16	23,00	34,15	6,98	1,96
		HR	59,58	2,00	81,00	18,02	10,74
		THI	84,59	75,87	100,18	4,58	3,87
Août	217	Tmoy	28,59	23,80	34,85	6,74	1,92
		HR	62,38	41,00	87,00	15,53	9,69
		THI	85,33	76,03	100,53	4,90	4,18
Septembre	210	Tmoy	25,66	19,35	31,65	9,02	2,31
		HR	67,41	39,00	91,00	14,88	10,03
		THI	81,29	68,45	93,72	5,09	4,14
Octobre	217	Tmoy	22,70	17,25	28,75	10,15	2,30
		HR	71,21	38,00	93,00	16,82	11,97
		THI	77,69	65,50	95,22	5,94	4,61
Novembre	210	Tmoy	16,87	10,65	23,10	14,27	2,40
		HR	67,07	32,00	92,00	20,74	13,91
		THI	69,57	55,44	82,89	5,43	3,78
Décembre	217	Tmoy	13,20	7,80	22,70	20,05	2,64
		HR	69,17	32,00	93,00	19,40	13,42
		THI	63,59	52,78	74,00	6,57	4,17

s’explique en grande partie par les températures élevées enregistrées au cours des mois les plus chauds et qui dépassent la température critique supérieure de la zone de neutralité thermique chez la vache

Holstein. Des telles conditions climatiques traduisent un stress thermique qui affecte le bien-être animal et les performances productives.

**Tableau 2.** Evolution de la Température ambiante moyenne (Tmoy en °C), l’humidité relative (HR en%) et l’index Humidité-température (THI) entre 2013-2019

Année	N	Paramètre	Moy.	Min	Max	CV	ET
2013	365	Tmoy	20,50	7,80	36,75	34,13	6,99
		HR	75,51	33,00	96,00	14,74	11,13
		THI	75,19	53,99	100,53	14,78	11,11
2014	365	Tmoy	20,09	8,55	34,85	29,93	6,01
		HR	74,46	34,00	94,00	14,03	10,44
		THI	74,74	53,73	97,15	12,37	9,24
2015	364	Tmoy	19,95	6,15	66,00	34,95	6,97
		HR	72,39	37,01	92,00	14,71	10,65
		THI	73,96	52,78	97,84	13,52	10,00
2016	366	Tmoy	20,06	6,45	32,55	30,95	6,21
		HR	67,17	33,00	93,00	18,36	12,33
		THI	73,18	53,17	92,48	11,74	8,59
2017	365	Tmoy	20,13	8,05	34,25	29,97	6,03
		HR	60,45	32,00	87,00	18,89	11,42
		THI	72,81	55,37	93,31	11,29	8,22
2018	365	Tmoy	20,04	8,10	31,65	30,80	6,17
		HR	61,76	38,00	86,00	15,86	9,80
		THI	72,69	55,85	91,25	11,32	8,23
2019	365	Tmoy	19,91	7,70	33,10	31,12	6,19
		HR	59,74	32,00	91,00	18,16	10,85
		THI	72,92	54,94	90,53	11,19	8,16

### 3.2. Performances laitières et caractéristiques des données

Le nombre moyen de lactation est de 4,18 ±1,08 avec un maximum de 10 lactations. La production laitière journalière moyenne est de 17,63±6,04 kg/vache/jour et varie de 5 à 30 kg/vache/jour. En termes de composition, les teneurs de MG et MP étaient, respectivement, 3,48±0,46 % et 3,16±0,38 %. Le score des cellules somatiques (SCS) est de 4,1±1,4. Nos résultats sont en accord avec ceux de Darej et al. (2019), Bouallègue et al. (2014; 2015), M’Hamdi et al. (2012; 2013).

### 3.3. Effets du THI sur le rendement laitier journalier, la composition (MG et MP) et le SCS

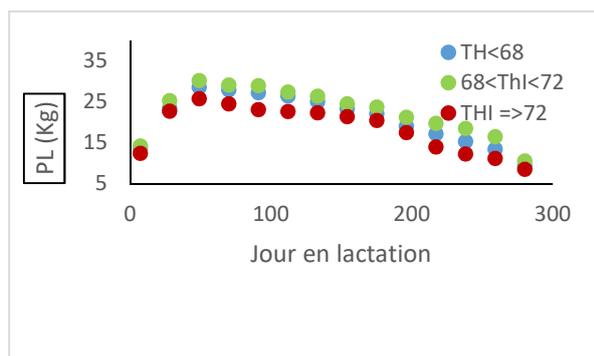
#### 3.3.1. Production laitière journalière

L’étude de l’effet de THI sur le rendement en lait et sur la composition du lait (Tableau 3) a montré que l’élévation de THI moyen à 72 a entraîné une baisse des rendements journaliers moyens de 7,7% et une baisse de

pourcentage de MG et MP, de l’ordre de 2,8 et 4,09%, respectivement (Fig. 2, 3 et 4). Ainsi, un THI <68 a engendré une baisse de 3; 0,1 et 1,6%, pour le rendement en lait, et les pourcentages de gras et protéines, respectivement. Toutefois, nous avons noté une augmentation des SCS de l’ordre 5,2% de pour un THI>72 et une baisse d’aux alentours de 6,9% pour un THI<68 (Fig. 5). Ainsi, le rendement laitier journalier est significativement affecté par le stress thermique. En effet, l’augmentation de THI a entraîné une diminution significative (P<0,001) de la production de lait, et cette réduction peut être facilement calculée à l’aide de la formule proposée par Berry et al. (1964). La baisse de la production laitière (kg/j) = -1,075 \*1,736 PL + 0,02474\*PL\*THI Avec ; PL est la production laitière journalière enregistrée dans la plage de températures de THI entre 68 et 72 et THI est l’indice moyen de température et d’humidité. Selon nos résultats (Fig. 2), il est clair que le rendement laitier journalier diminue avec l’augmentation de THI.

**Tableau 3.** Niveaux de signification des effets de THI sur la production et la qualité du lait

	Plage de THI			Valeur F	P > F
	THI<=68	68<THI<72	THI=>72		
<b>PL (kg)</b>	17,347 (0,037)	17,882 (0,064)	16,503 (0,035)	41,43	<0,001
<b>MG (%)</b>	3,517 (0,037)	3,551 (0,041)	3,449 (0,026)	220,19	<0,003
<b>MP (%)</b>	3,192 (0,022)	3,246 (0,031)	3,113 (0,029)	554,75	<0,001
<b>SCS</b>	3,857 (0,018)	4,143 (0,023)	4,358 (0,014)	39,40	<0,001



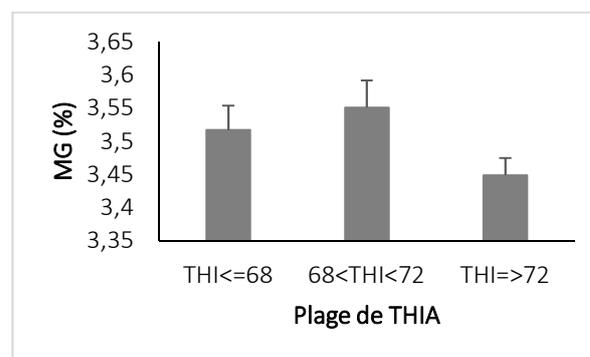
**Fig. 2.** Courbes de lactation chez les vaches soumises à trois niveaux de THI (THI>72; 68<THI<72 et THI>72).

Nos résultats sont en accord avec ceux de Cowley et al. (2015) qui ont rapporté que lorsque les THI sortent de la zone de confort thermique, les vaches laitières commencent à subir un stress thermique et à réduire le rendement en lait. De plus, Bernabucci et al. (2010) ont signalé une amélioration de la PL, lorsque les vaches sont revenues dans la zone confort thermique (68<THI<72), la production de lait a augmenté de 0,27 kg de lait par changement d'une unité de THI. Il est évident que le stress thermique a un impact sur divers paramètres de la production laitière, notamment en termes de réduction de la production laitière (Galán et al. 2018; Polsky et Von Keyserlingk, 2017; Zimelman et al. 2009 et Nienaber et Hahn, 2007).

### 3.3.2. Matières grasses

L'analyse de la variance a montré que la MG est significativement affectée (P<0.003) par le stress thermique (Fig. 3). Nos résultats sont similaires à ceux de Summer et al. (2019) et Bernabucci et al. (2015) qui rapporté une diminution marquée et significative des matières grasses en été (3,2%) par rapport aux

valeurs observées en hiver (3,80%) et au printemps (3,61%). De plus, Summer et al. (1999) ont observé une diminution de la teneur en matières grasses pendant l'été par rapport à l'automne, allant d'un minimum en juin-août (3,36 à 3,38 %) à un maximum en novembre (3,67%). Selon les résultats de la présente étude, l'effet du stress thermique sur la teneur en matières grasses n'est pas clair et des résultats controversés ont été rapportés. Abeni et al. (1993) ont trouvé des valeurs plus faibles de la teneur en matières grasses lorsque la valeur de l'THI était supérieure à 75 (3,46% pour un THI <75 contre 3,17 % pour un THI > 75, respectivement). Par contre une étude faite par Cowley et al. (2015) n'a trouvé aucune différence significative pour la teneur en matières grasses entre les vaches dans des conditions normales et celles soumises à un stress thermique.



**Fig. 3.** Effets du THI sur la teneur en matière grasse du lait

### 3.3.3. Matières Protéiques

Le stress thermique diminue non seulement la production de lait, mais affecte également la teneur en protéines du lait. Les résultats de l'ANOVA ont montré un effet hautement significatif (P<0.001) du niveau de THI sur le pourcentage de protéines. En effet, l'augmentation ou la diminution de THI a

engendré une diminution des protéines du lait (Fig. 4).

Le pourcentage moyen de protéine dans la zone de confort thermique ( $68 < \text{THI} < 72$ ) est de  $3,246 \pm 0,031$ , il diminue une fois le THI dépasse une valeur de 72 pour atteindre une valeur moyenne de  $3,113 \pm 0,029$  %. Nos résultats sont en accord avec ceux de Nasr et al. (2017) et Bertocchi et al. (2014) qui ont montré que la teneur en protéines du lait a diminué de manière significative en raison de l'augmentation du THI ( $P < 0,01$ ). Dans le même contexte, une étude faite par Ravagnolo et al. (2000) aux États-Unis a montré que la teneur en protéines du lait a diminué de 9 g pour chaque unité d'augmentation de la THI au-dessus de 72. Une autre étude sur les composants du lait en Méditerranée a montré que, lorsque le THI moyen passait de 68 à 78, la teneur en protéines du lait passait de 2,96 à 2,88%.

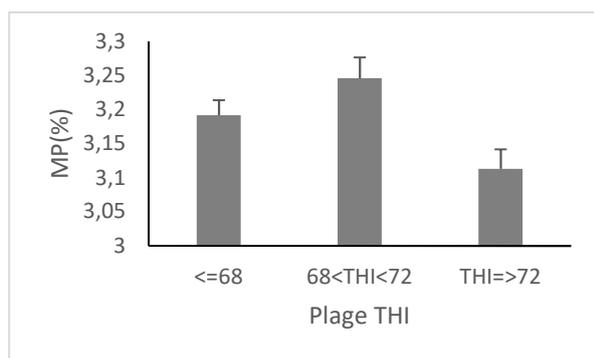


Fig. 4. Effets du THI sur la teneur en protéines du lait

### 3.3.4. Cellules somatiques

Le SCS du lait est l'indicateur le plus important de l'inflammation des mamelles, et est principalement influencé par la prévalence et l'incidence de la mammite. Les résultats de la présente étude ont montré que l'augmentation des valeurs THI était associée à l'augmentation du SCS (Fig. 5).

En effet le SCS a varié entre  $3,857 \pm 0,018$  pour un  $\text{THI} < 68$  et  $4,358 \pm 0,014$  pour un THI qui dépasse 72. Calculé sur la base de comptages des cellules somatique (CCS) et non sur SCS, Bouraoui et al. (2002) ont indiqué des effets négatifs du stress thermique sur le CCS en passant du printemps à l'été. En revanche, nos résultats

sont en accord avec ceux de Nasr et al. (2017) qui ont constaté une augmentation saisonnière significative du nombre de cellules somatiques. Dans le même contexte, Bertocchi et al. (2014) et Ikonen et al. (2004) ont rapporté une corrélation positive entre le THI et le SCS, et ont montré un changement significatif à un THI entre 57,3 et 72,8.

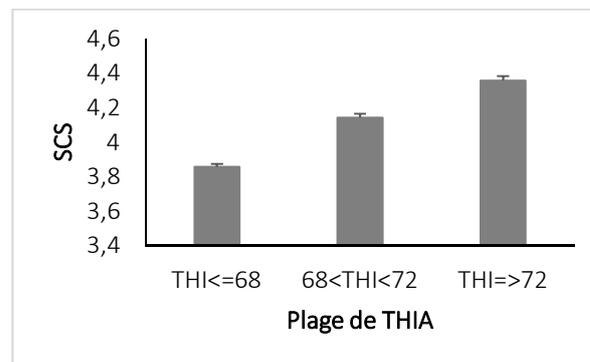


Fig. 5. Effets du THI sur le score des cellules somatiques

### 3.4. Effet du THI sur les paramètres de la courbe de lactation

Les paramètres **a**, **b** et **c** (Tableau 4) de la courbe de lactation sont respectivement de 15,72; 0,204 et 0,483. Le paramètre **a** diminue avec le THI, surtout à partir d'un  $\text{THI} > 72$ . Le paramètre décrivant la phase ascendante (**b**) de la courbe de lactation tend également à diminuer avec le THI. Par contre, le paramètre **c**, qui contrôle le taux de décroissance après le pic de lactation augmente avec l'élévation de THI. Egalement, le pic de lactation et la persistance sont négativement associés au THI. Une augmentation de THI a engendré une diminution de ces paramètres. Toutefois, la date de pic est retardée avec un  $\text{THI} > 72$ . En effet, les vaches qui ne sont pas soumises à un stress thermique ( $68 < \text{THI} < 72$ ) ont atteint le pic après 41 jours, et celles qui vivent dans un environnement chaud ( $\text{THI} > 72$ ), ont atteint leur pic après 44 jours pour avoir une production maximale de l'ordre de 23 kg de lait par jours avec en moyenne un écart de 4,5 kg pour un THI dans la zone de thermo neutralité. Par conséquent, la production laitière Y305 est significativement influencée par l'élévation de THI (Tableau 4).

**Tableau 4.** Niveaux de signification de l'effet de THI sur les paramètres de la courbe de lactation

Caractère	Niveau de THI	Niveau de THI	Paramètres de la courbe de lactation						
			a	b	c	Pic	Date pic	Persistan	Y <sub>305</sub>
PL	68<THI< 72	59 448	14,81 <sup>b</sup>	0,196 <sup>b</sup>	0,482 <sup>b</sup>	24,48 <sup>b</sup>	42,97 <sup>b</sup>	6,39 <sup>b</sup>	5899 <sup>a</sup>
	THI>72	44 216	16,86 <sup>a</sup>	0,244 <sup>a</sup>	0,451 <sup>c</sup>	27,92 <sup>a</sup>	41,32 <sup>c</sup>	7,48 <sup>a</sup>	6317 <sup>b</sup>
	THI <68	80 809	12,35 <sup>c</sup>	0,173 <sup>c</sup>	0,532 <sup>a</sup>	23,36 <sup>c</sup>	44,53 <sup>a</sup>	5,65 <sup>c</sup>	5375 <sup>b</sup>

L'effet de THI a été hautement significatif (P <0,05) pour tous les paramètres de la courbe de lactation et du rendement en lait. Les rendements en lait au pic et le rendement total de 305 jours de lactation (Y<sub>305</sub>) les plus élevés ont été atteints par les vaches exposées à des THI est compris entre 68 et 72. Nos résultats sont confirmés par ceux de Hammami et al. (2013) et Bohmanova et al. (2007) qui ont rapporté les mêmes constats.

#### 4. CONCLUSION

L'indice température-humidité (THI) est souvent utilisé comme indice d'évaluation environnementale important pour évaluer le stress thermique dans la production laitière. Le stress thermique, même à faible niveau, peut avoir un impact significatif sur la production et le bien-être des troupeaux laitiers. Le stress thermique a entraîné une diminution du rendement en lait, des pourcentages de matières grasses et de protéines apparaissent significativement plus bas sous l'effet de stress thermique. Le score de cellules somatiques du lait a augmenté significativement, un indicateur partiellement affecté par un THI dépassant 72. De même, la courbe de lactation a montré d'écarts plus importants, sous une valeur accrue de THI. Les données de la présente étude ont indiqué que les vaches laitières étaient exposées à des conditions de stress thermique sous un climat tempéré telle que la Tunisie, non seulement pendant les mois d'été. Les pertes de rendement en lait dues au stress thermique ont été confirmées.

#### REFERENCES

Abatzoglou, J.T., S.Z. Dobrowski, S.A. Parks, K.C. Hegewisch, (2018), Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from

1958-2015, Scientific Data.: <http://www.climatologylab.org/terraclimate.html>  
 Ali A. K. et Shook G.E., (1980). An optimum transformation for somatic cell concentration in ilk. *J. Dairy Sci.*, 63: 487-490  
 Ben Salem M. et Bouraoui R. (2009). Heat stress in Tunisia: Effect on dairy cows and potential means of alleviating it. *South African Journal of Animal Science* 39 (supplement 1):256-259  
 Berman, A. (2003). Effects of body surface area estimates on predicted energy requirements and heat stress. *J. Dairy sci.* 86:3605-3610.  
 Berman, A., Y. Folman, M. Kaim, M. Mamen, Z. Herz, D. Wolfenson, A. Arieli, and Y. Graber. (1985). Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 68:1488-1495.  
 Bernabucci U. Lacetera N.L. Baumgard H. Rhoads R.P. Ronchi B. Nardone A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal.* 2010; 4: 1167-1183  
 Bernabucci, U., L. Basiricò, P. Morera, D. Dipasquale, A. Vitali, F. Piccioli Cappelli, and L. Calamari, (2015). Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows, *J, Dairy Sci*, 98:1815-1827  
 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, pp. 471-486  
 Berry, I,L,, M,D, Shanklin, and H,D, Johnson, (1964), Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity, *Trans, Am, Soc, Agric, Eng*, 7:329-331.  
 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.
- Bohmanova, J., I. Misztal, and J.B. Cole. (2007). Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J. Dairy Sci.* 90:1947-1956. doi:10.3168/jds.2006-513
- Boonprong S, Choothesa A, Sribhen C, Parvizi N and Vajrabukka C (2008) Productivity of Thai Brahman and Simmental-Brahman crossbred (Kabinburi) cattle in central Thailand *Int. J. Biometeorol.* 52 409-15
- Bouallegue, M., N. M'hamdi, M.B. Hamouda and B. Haddad, (2014). Study of non-genetic factors on the shape of lactation curves for milk yield, fat and protein percents of Holstein-Friesian cows under hot Mediterranean climate. *Arch. Zootechnica*, 17: 55-75
- Bouallegue, M., R. Steri, N. M'Hamdi and M.B. Hamouda, (2015). Modelling of individual lactation curves of Tunisian Holstein-Friesian cows for milk yield, fat and protein contents using parametric, orthogonal and spline models. *J. Anim. Feed Sci.*, 24: 11-18
- Bouraoui, R., Lahmar, M., Majdoub, A., Djemali, M. and Belyea, R. (2002) The relationship of temperature-humidity index THI milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.*, 51(6): 479-491.
- Bryant J R, López-Villalobos N, Pryce J E, Holmes C W and Johnson D L (2007) Quantifying the effect of thermal environment on production traits in three breeds of dairy cattle in New Zealand *N. Z. J. Agric. Res.* 50 327-38.
- Chebel R C, Santos J E P, Reynolds J P, Cerri R L A, Juchem S O and Overton M (2004) Factor affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 84: 239-255.
- Collier, R.J., G.E. Dahl, and M.J. VanBaale. (2006). Major advances associated wTHI environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89:1244-1253.
- Cowley, F.C., D.G. Barber, A.V. Houlihan, and D.P. Poppi, (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
- Crescio M I, Forastiere F, Maurella C, Ingravalle F and Ru G. (2010) Heat-related mortality in dairy cattle: a case crossover study *Prev. Vet. Med.* 97 191-7
- Darej, C., M'Hamdi, N., Attia, K., Hamzaoui, S., M'hamdi, H., Mrabet, K. et Bouraou, R., (2019). Effets des pratiques d'élevage sur le bien-être animal et la qualité du lait chez la vache Holstein en Tunisie. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 65(2), 4066-4076
- Du Preez, J. H., Hatting, P. J., Giesecke, W. H., and Eisenberg, B. E. (1990). Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions. III. Monthly temperature-humidity index mean values and their significance in the performance of dairy cattle. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 57, 243-248.
- Fadel J.G. (2004) Technical note: estimating parameters of nonlinear segmented models *J. Dairy Sci* 87 169 173
- Galán, E., Llonch, P., Villagrà, A., Levit, H., Pinto, S., and del Prado, A. (2018). A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. *PLOS ONE*, 13(11), e0206520.
- Hammami H, Bormann J, M'Hamdi N, Montaldo HH, Gengler N. (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
- Ikonen, T., Morri, S., Tyrisevä, A. M., Ruottinen, O., and Ojala, M. (2004). Genetic and phenotypic correlations between milk coagulation properties, milk production traits, somatic cell count, casein content, and pH of milk. *Journal of Dairy Science*, 87, 458-467,
- Johnson H D, Ragsdale A C, Berry I L and Shanklin M D (1963). Environmental physiology and shelter engineering, wTHI special reference to domestic animals: LXVI. Temperature humidity effects including influence of acclimation in feed and water consumption of Holstein cattle *Univ. Missouri Agri. Exp. Stn. Res. Bull.* 66 43

- Johnson HD, Shanklin MD, Hahn L. (1989). Productive adaptability indices of Holstein cattle to environmental heat. Proceedings of Agriculture and Forest and Meteorology Conference. 291-297.
- M'Hamdi, N., M. Bouallegue, S. Frouja, R. Aloulou, S.K. Brar and M.B. Hamouda, (2012). Effects of Environmental Factors on Milk Yield, Lactation Length and Dry Period in Tunisian Holstein Cows. In: Milk production, Chaiyabutr, N., InTech Publisher, New York,
- Nasr, M. A. and M. S. El-Tarabany. (2017). Impact of three THI levels on somatic cell count, milk yield and composition of multiparous Holstein cows in a subtropical region. *Journal of Thermal Biology* 64:73-77.
- Nienaber JA, and Hahn GL. (2007) Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int J Biometeorol*; 52: 149–157..
- O'Brien M D, Rhoads R P, Sanders S R, Duff G C and Baumgard L H (2010). Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle *Domest. Anim. Endocrinol.* 38 86–94
- Polsky L, von Keyserlingk MAG. (2017) Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J Dairy Sci.*: 100: 8645–8657.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Ravagnolo O, Misztal I, Hoogenboom G., (2000). Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. *J Dairy Sci*; 83:2120.
- Renaudeau D, Collin A, Yahav S, Basilio V, Gourdine J L and Collier R J (2012) Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* 6, 707–728.
- Statistical Analysis System, Release 9.4 (2012) SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).
- St-Pierre N R, Cobanov B and Schnitkey G 2003 Economic losses from heat stress by US livestock industries *J. Dairy Sci.* 86 E52–77
- Summer, A,, Lora, I,, Formaggioni, P,, & Gottardo, F, (2019). Impact of heat stress on milk and meat production, *Animal Frontiers*, 9(1), 39–46.
- Summer, A,, P, Formaggioni, F, Tosi, E, Fossa, and P, Mariani, (1999), Effects of the hot-humid climate on rennet-coagulation properties of milk produced during summer months of 1998 and relationships THI the housing systems in the rearing of Italian Friesian cows, *Ann, Fac, Med, Vet,, Univ, Parma* 19:167–179,
- West, J. W., B. G. Mullinix, and J. K. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:232–242.
- Wood, P,D,P,, 1967, Alegabreic model of the lactation curve in cattle, *Nature*, 216: 164-165
- Zimbelman RB, Rhoads RP, Rhoads ML, Duff GC, Baumgard LH, Collier RJ. 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. In: Tempe AZ. J R. Collier E, editor. Proceedings of the Southwest Nutrition and Management Conference, Arizona. Tucson: The University of Arizona; 2009. pp. 158– 168