



## Rapport final

### Projet intitulé :

Évaluer la relation entre les conditions environnementales d'été observées dans des étables laitières à celles mesurées par les stations météo locales dans deux régions du Québec

### Par :

Édith Charbonneau, Ph. D.

### Présenté à :

Centre de recherche en sciences animales de Deschambault/MAPAQ

Université Laval  
12 février 2018

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, dans le cadre du Programme d'appui au développement de l'agriculture et de l'agroalimentaire en région.



## TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES .....	3
OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE.....	4
PROTOCOL SUIVI DANS LE CADRE DU PROJET DE RECHERCHE.....	4
Stations météo considérées dans le projet .....	4
Position des capteurs sur les fermes.....	4
Calcul du THI.....	5
Analyses statistiques .....	5
RÉSULTATS.....	5
Données moyennes par mois par région .....	5
Corrélations entre les capteurs entre eux et avec la station météorologique .....	10
Effet du mois sur les résultats de corrélations.....	13
EFFET DE LA DISTANCE AVEC LA STATION ET DE LA POSITION DES CAPTEURS .....	16
CONCLUSION SUR LES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE.....	18
PARTICIPATION DE L'UNIVERSITÉ LAVAL SUR LE PROJET.....	19
RÉFÉRENCE .....	19

## OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

- Documenter la relation entre la température et l'humidité relative observées sur 6 fermes laitières utilisant la stabulation entravée aux données mesurées par une station météo d'environnement Canada localisée à proximité de la ferme.
- Valider l'intérêt de mesurer les conditions environnementales dans l'étable en temps réel afin d'améliorer le bien-être, la santé et la productivité des vaches et génisses.

## PROTOCOL SUIVI DANS LE CADRE DU PROJET DE RECHERCHE

Le projet intitulé « Évaluer la relation entre les conditions environnementales d'été observées dans des étables laitières à celles mesurées par les stations météo locales dans deux régions du Québec » a été officiellement accepté par le MAPAQ à la mi-juillet 2016. Dès la réponse positive confirmée, le processus d'achat de 18 capteurs de température et d'humidité (Onset U23-002 HOBO PRO v2) a été réalisé. Des prétests ont ensuite été effectués pour s'assurer qu'aucun capteur n'était défectueux. Parallèlement à ces tests, des abris pour protéger les capteurs situés à l'extérieur ont été conçus et les conseillers du MAPAQ qui avait été pressenti pour le suivi du projet, par M. Alain Fournier, ont été contactés.

Le projet prévoyait que six fermes participeraient à la collecte d'information, soit trois fermes près de la station météorologique de Mont-Joli et trois fermes près de celle de St-Hubert. Les six fermes initialement prévues au projet ont été recrutées par l'entremise de deux conseillers du MAPAQ, Hugues Fiola au Bas-St-Laurent et Gaëtan Bonneau en Montérégie. Des formulaires de consentement ont été signés par les producteurs pour démontrer leur acceptation à prendre part au projet.

L'accomplissement de toutes les étapes précédentes a permis la pose des sondes d'humidité et de température à la fin août. Considérant les circonstances qui ont entraîné la pose tardive des capteurs sur les fermes, il a été décidé par l'équipe d'effectuer une prise de données sur l'année complète plutôt que seulement pendant l'été 2016. Ainsi, chaque mois les données sur les fermes ont été récupérées par le conseiller du MAPAQ de chacune des régions à qui une base de récupération de données pour les capteurs a été prêtée (ces deux bases sont fournies par l'Université Laval). L'information était ensuite transmise à l'équipe de recherche. La compilation des données pour analyse a été effectuée pendant l'été 2017. À la fin de l'été, au mois d'août, les capteurs ont été récupérés sur les fermes.

### Stations météo considérées dans le projet

Deux stations météo ont été choisies pour permettre de capter l'information de deux secteurs agricoles importants en production laitière et variant de manière importante dans leur climat. Il était aussi nécessaire d'avoir l'information de station enregistrant les données de température et d'humidité. Les deux stations météo sélectionnées sont :

- Au Bas-St-Laurent : station météo d'Environnement Canada de Mont-Joli
- En Montérégie : station météo d'Environnement Canada de St-Hubert

### Position des capteurs sur les fermes

Sur chacune des fermes, deux capteurs étaient installés à l'intérieur de l'étable et un capteur était à l'extérieur près de l'étable. Le capteur 1 était toujours placé près de la ventilation principale, le capteur 2 était positionné à un endroit moins ventilé de l'étable (vérifier à l'aide d'un appareil portable), alors que le capteur 3 était celui à l'extérieur.

## Calcul du THI

Le stress thermique chez la vache laitière peut être évalué par un indice climatique, soit l'indice de température et d'humidité ou le « *temperature humidity index* » (THI). Cet indice combine l'effet de la température ambiante et de l'humidité relative sur l'animal. Plusieurs formules permettent de calculer le THI et la formule suivante rapportée par Kendall et al. (2009) a été utilisée avec succès dans le contexte climatique du Québec :

$$\text{THI} = [(1,8 \times T) + 32] - [(0,55 - (0,0055 \times \text{RH})) \times ((1,8 \times T) - 26)]$$

dans laquelle T représente la température ambiante en °C et RH l'humidité relative en %.

Un THI supérieur à 65 a été relié avec des problématiques de stress thermique.

## Analyses statistiques

Les procédures MEANS et CORR de SAS ont été utilisées pour effectuer l'analyse dans ce projet. La procédure GLIMMIX de SAS a été utilisée pour vérifier l'impact de la distance entre la ferme et la station météo la plus proche ainsi que la position du capteur dans l'étable.

## RÉSULTATS

### Données moyennes par mois par région

Les résultats moyens pour chacun des mois pour la température, l'humidité relative et le THI sont présentés par régions avec l'information par fermes et pour la station météo dans les tableaux suivants (Tableau 1, 2, 3, 4, 5 et 6). Pour la région du Bas-St-Laurent, dans le tableau 1, on note que la température varie pendant l'année. Elle est plus chaude l'été, plus faible l'hiver et intermédiaire pour l'automne et le printemps. L'été les températures à l'intérieur de l'étable ressemblent à ce qu'on trouve à l'extérieur, alors que l'hiver les températures sont plus stables à l'intérieur de l'étable comparativement à l'extérieur et elles sont rarement sous les 10°C comparativement aux températures plus froides de l'extérieur.

Tableau 1. **Température moyenne** par mois observée sur les différentes fermes du **Bas-St-Laurent** et à la station météorologique de Mont-Joli.

	Ferme 1		Ferme 2		Ferme 3		Station
	Intérieur <sup>1</sup>	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	
Août	20,7	19,7	20,6	19,8	20,5	19,3	17,2
Septembre	18,1	14,9	17,0	14,8	17,4	14,8	13,1
Octobre	14,7	7,7	13,0	7,5	13,7	7,7	7,7
Novembre	13,3	2,6	12,3	2,6	12,2	2,9	2,8
Décembre	11,4	-7,5	11,8	-7,7	12,4	-7,0	-6,9
Janvier	11,7	-8,1	10,5	-8,4	11,9	-7,8	-7,7
Février	11,0	-8,6	9,6	-9,0	12,0	-8,6	-8,5
Mars	10,9	-6,3	10,1	-7,0	11,7	-7,0	-6,9
Avril	12,6	6,2	12,3	2,5	12,3	2,0	1,5
Mai	14,2	17,5	14,3	10,3	13,0	9,4	8,7
Juin	18,1	18,4	18,3	16,4	17,5	16,4	15,0
Juillet	20,5	20,5	20,0	19,2	19,9	19,0	18,0

<sup>1</sup>Moyenne des deux capteurs à l'intérieur de la ferme.

L'humidité relative pour les fermes de cette même région semble plus stable à l'intérieur de l'étable qu'à l'extérieur (Tableau 2). Aussi, l'humidité relative dans l'étable semble plus élevée pendant les mois d'automne et d'hiver, surtout de novembre à janvier que pendant les mois d'été.

Tableau 2. **Humidité relative moyenne** par mois observée sur les différentes fermes du **Bas-St-Laurent** et à station la météorologique de Mont-Joli.

	Ferme 1		Ferme 2		Ferme 3		Station
	Intérieur <sup>1</sup>	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	
Août	66,4	69,0	65,7	68,3	67,7	69,7	73,6
Septembre	69,2	76,6	71,8	76,6	71,4	77,5	79,2
Octobre	68,2	81,2	69,0	81,3	70,7	82,5	76,6
Novembre	71,7	89,0	67,4	88,6	74,7	88,4	83,2
Décembre	72,6	87,0	75,2	86,2	86,1	85,8	76,9
Janvier	72,8	84,4	74,3	83,6	86,6	84,8	75,5
Février	70,8	79,2	71,6	78,7	87,1	79,7	72,5
Mars	68,5	90,6	65,9	75,5	81,9	77,0	70,1
Avril	66,6	78,2	61,6	80,0	74,8	83,0	79,2
Mai	67,8	57,7	65,9	74,1	72,9	78,7	76,0
Juin	67,3	67,1	66,0	68,9	70,7	71,1	69,3
Juillet	64,6	64,7	66,0	66,8	67,4	67,0	67,1

<sup>1</sup>Moyenne des deux capteurs à l'intérieur de la ferme.

Les résultats pour le THI au Bas-St-Laurent (Tableau 3) suivent les mêmes tendances que ceux des températures. En effet, les THI varient en cours d'année, étant plus élevés l'été que l'hiver. Par contre, les moyennes mensuelles de THI sont toujours supérieures à l'intérieur de l'étable qu'à l'extérieur de l'étable. Aussi, le THI moyen au Bas-St-Laurent reste sous la barre des 65, qui est le niveau où les vaches commencent à être à risque de subir les conséquences liées au stress thermique.

Tableau 3. **THI moyen** par mois observé sur les différentes fermes du **Bas-St-Laurent** et à la station météorologique de Mont-Joli.

	Ferme 1		Ferme 2		Ferme 3		Station
	Intérieur <sup>1</sup>	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	
Août	59,3	45,4	57,1	42,0	60,4	44,8	42,5
Septembre	59,5	46,4	57,6	43,8	61,0	46,0	43,6
Octobre	60,0	47,3	58,0	45,8	61,6	46,9	44,5
Novembre	60,5	47,7	58,7	47,4	62,1	47,5	45,4
Décembre	60,6	48,1	59,6	48,5	62,4	47,9	46,0
Janvier	57,3	43,5	56,2	41,1	58,4	41,0	42,2
Février	57,1	43,3	55,9	40,7	58,0	40,8	41,6
Mars	57,1	43,2	55,6	40,2	57,7	41,2	41,2
Avril	57,4	43,5	55,4	39,9	57,6	41,7	41,0
Mai	58,0	43,9	55,2	39,7	58,0	42,2	40,7
Juin	58,6	44,0	55,4	40,0	58,8	42,7	40,8
Juillet	59,0	44,4	56,2	40,7	59,6	43,5	41,5

<sup>1</sup>Moyenne des deux capteurs à l'intérieur de la ferme.

Pour la région de la Montérégie (Tableau 4, 5 et 6), les tendances suivent celles observées pour le Bas-St-Laurent avec, par contre, des résultats observés plus élevés pour les températures (Tableau 4) et le THI (Tableau 6). Ceci à mener à des THI moyens supérieurs à 65 pour les mois de juin à septembre pour toutes les fermes. Comme mentionné précédemment, un THI supérieur à 65 peut être associé à des problématiques de stress thermiques.

Tableau 4. **Température moyenne** par mois observée sur les différentes fermes de la **Montérégie** et à la station météorologique de St-Hubert.

	Ferme 1		Ferme 2		Ferme 3		Station
	Intérieur <sup>1</sup>	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	
Août	22,7	21,9	22,4	21,5	22,8	21,2	20,4
Septembre	19,1	17,8	19,2	17,2	20,2	16,9	17,1
Octobre	14,7	10,1	14,3	9,5	16,2	9,6	9,3
Novembre	13,4	4,5	12,2	4,0	14,1	4,1	4,4
Décembre	12,2	-3,1	11,0	-4,7	13,3	-4,2	-4,7
Janvier	12,1	-2,9	11,0	-5,2	13,9	-4,1	-6,0
Février	12,9	-3,2	11,0	-5,0	13,8	-4,1	-1,6
Mars	12,5	-3,2	10,9	-4,8	13,4	-4,7	-5,1
Avril	13,9	8,5	13,0	7,3	15,5	8,0	7,6
Mai	16,5	13,9	16,2	13,4	17,5	13,5	11,7
Juin	20,9	19,4	20,6	19,1	21,3	19,0	18,0
Juillet	22,3	21,0	21,9	20,8	22,2	20,2	20,2

<sup>1</sup>Moyenne des deux capteurs à l'intérieur de la ferme.

Tableau 5. **Humidité relative moyenne** par mois observée sur les différentes fermes de la **Montérégie** et à la station météorologique de St-Hubert.

	Ferme 1		Ferme 2		Ferme 3		Station
	Intérieur <sup>1</sup>	Extérieur <sup>2</sup>	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	
Août	69,3	70,4	70,1	72,6	69,7	73,4	72,5
Septembre	69,9	73,3	70,4	75,9	69,2	77,1	72,1
Octobre	70,4	79,4	69,0	80,7	68,4	80,6	76,2
Novembre	73,2	85,6	71,2	86,4	70,3	85,5	80,9
Décembre	79,8	89,4	72,1	83,5	74,1	83,9	76,9
Janvier	78,2	89,3	73,0	86,1	75,9	84,7	79,1
Février	72,0	83,6	71,5	81,3	74,1	80,2	73,3
Mars	71,5	78,0	70,4	73,7	70,3	73,0	65,5
Avril	67,2	76,3	68,8	78,1	66,6	77,1	73,4
Mai	67,5	72,3	68,2	73,9	66,0	72,8	70,9
Juin	68,9	71,0	69,4	73,9	68,0	72,1	70,8
Juillet	73,5	75,0	74,4	77,5	74,5	78,6	73,9

<sup>1</sup>Moyenne des deux capteurs à l'intérieur de la ferme.

Tableau 6. **THI moyen** par mois observé sur les différentes fermes de la **Montérégie** et à la station météorologique de St-Hubert.

	Ferme 1		Ferme 2		Ferme 3		Station
	Intérieur <sup>1</sup>	Extérieur <sup>2</sup>	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	
Août	70,4	69,2	69,9	68,7	70,6	68,4	62,8
Septembre	65,1	63,2	65,4	62,5	66,7	62,0	57,0
Octobre	56,8	51,0	57,9	50,0	60,6	50,1	47,3
Novembre	51,3	41,3	54,6	40,5	57,5	40,8	40,3
Décembre	50,3	28,3	52,7	26,9	56,3	27,6	28,4
Janvier	50,3	28,7	52,8	25,6	57,1	27,7	28,7
Février	53,4	29,2	52,8	26,9	57,0	28,4	34,5
Mars	55,0	30,3	52,7	28,8	56,4	29,3	31,7
Avril	57,2	48,5	55,8	46,6	59,5	47,6	43,8
Mai	61,0	56,8	60,4	56,2	62,5	56,2	49,4
Juin	67,6	65,4	67,2	65,0	68,1	64,7	62,4
Juillet	70,1	68,2	69,5	68,0	70,0	67,2	61,7

Pour les stress thermiques chez les animaux, le THI maximum (valeur la plus élevée de la journée) est un indicateur important des risques pour les animaux. Les figures 1 et 2 représentent les variations de THI maximal pendant l'année mesurées avec chacun des capteurs, et ce, dans chacune des régions. Ces figures permettent de visualiser les résultats obtenus par mois. Il est possible de remarquer que les capteurs extérieurs sont ceux avec les données les plus près de ce qui est observé en station météorologique. Par contre, les différences observées s'amenuisent pendant les mois d'été, moment où les stress thermiques sont les plus présents.

Les capteurs ont montré des THI potentiellement problématiques pour les vaches de la mi-juin à la fin août au Bas-St-Laurent et de la mi-mai à la mi-septembre pour la Montérégie. Aussi, cette période semble plus étendue lorsque ce sont les données à l'intérieur des fermes qui sont observées plutôt que celles des stations météorologiques. Ce serait donc un point à considérer dans les futurs projets touchants les risques de stress thermiques. Ce résultat est aussi un indicateur que les producteurs laitiers seraient mieux de faire un suivi spécifique de la température et de l'humidité sur leur ferme plutôt que de se fier uniquement aux données de stations météorologiques dans le but de prévenir des problématiques sur leurs animaux.

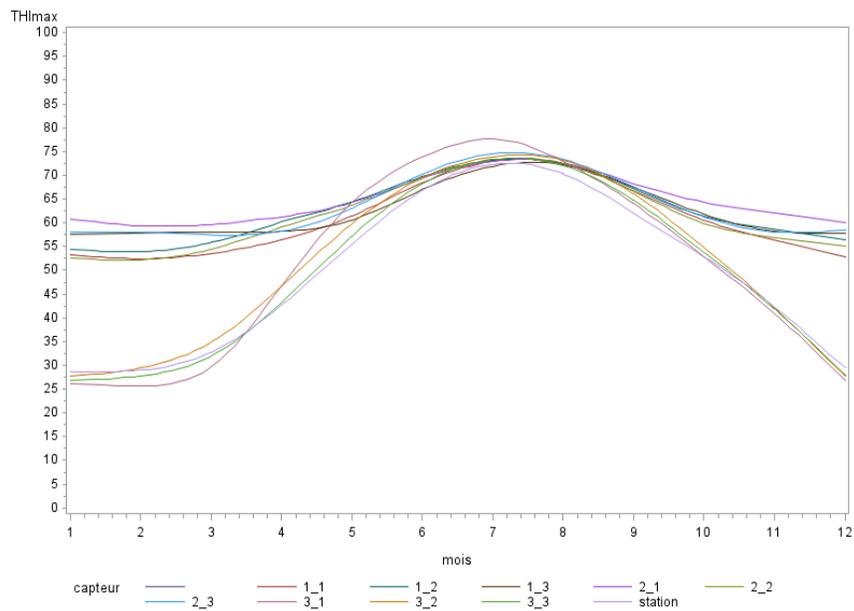


Figure 1. **THI maximal** en fonction des capteurs sur les fermes du **Bas-St-Laurent**. Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Mont-Joli). Le deuxième chiffre indique la ferme.

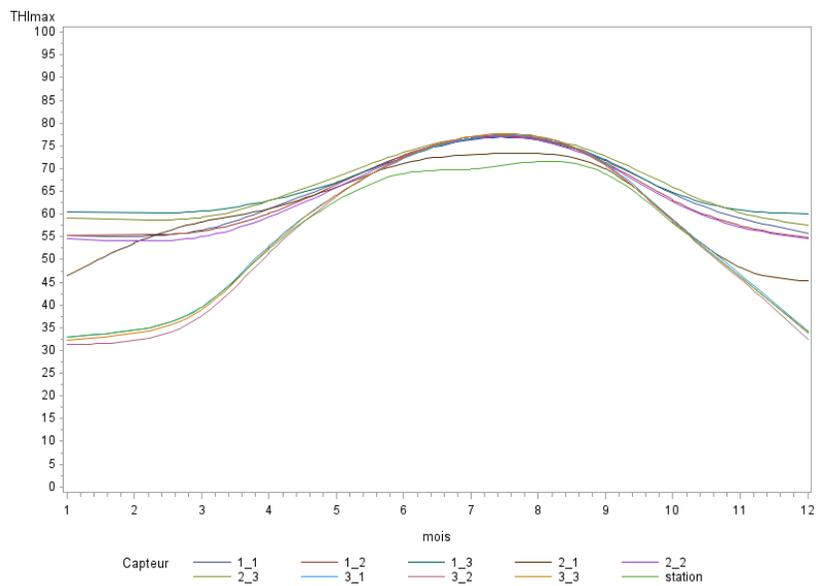


Figure 2. **THI maximal** en fonction des capteurs sur les fermes de la **Montérégie**. Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre indique la ferme.

## Corrélations entre les capteurs entre eux et avec la station météorologique

Des corrélations ont été utilisées pour mieux comprendre les relations entre les données mesurées à l'étable entre elles et celles des stations météorologiques pour les résultats de température, d'humidité relative et de THI. Les résultats de ces analyses pour les valeurs maximales dans la journée sont présentés dans les tableaux 7, 8 et 9 pour le Bas-St-Laurent et les tableaux 10, 11 et 12 pour la Montérégie. Il est possible de constater dans les deux régions que les corrélations pour la température maximale sont élevées entre les capteurs sur une même ferme ainsi qu'entre les capteurs et la station météorologique (Tableaux 7 et 10). Les variations observées sont donc corrélées entre elles pour les données de température.

Pour les données d'humidité relative maximale dans la journée (Tableaux 9 et 11), les corrélations entre les deux capteurs à l'intérieur de l'étable sont élevées. Par contre, bien que significatives, les corrélations sont plus faibles entre les données des capteurs à l'intérieur de l'étable et celles de l'extérieur de l'étable ou à la station météorologique. Au Bas-St-Laurent, on observe même certaines corrélations sous 0,40, qui est souvent le seuil utilisé pour déterminer si une relation est assez forte pour être considérée. Il semble y avoir un effet relié à l'étable, qui devra être plus approfondie, associé à ce résultat. Ces résultats permettent toutefois déjà de conclure qu'il y a probablement plus de variation en ce qui a trait à l'humidité entre l'intérieur de l'étable et la station météorologique que pour la température.

Finalement, pour les données de THI (Tableaux 9 et 12), on observe une fois de plus des corrélations très élevées entre tous les capteurs d'une même ferme ainsi qu'entre les capteurs et la station météorologique. Il y a donc une très bonne relation entre les valeurs de stations météorologiques et celles obtenues sur les fermes.

### Bas-St-Laurent

Tableau 7. **Corrélations**<sup>1</sup> entre les données de **température maximale** observées par les capteurs sur les fermes du **Bas-St-Laurent** ainsi qu'avec la station météorologique de Mont-Joli.

	Capt.1 F1 <sup>2</sup>	Capt.2 F1	Capt.3 F1	Capt.1 F2	Capt.2 F2	Capt.3 F2	Capt.1 F3	Capt.2 F3	Capt.3 F3	Station
Capt.1 F1	<b>1,00</b> <sup>3</sup>									
Capt.2 F1	<b>0,97</b>	<b>1,00</b>								
Capt.3 F1	<b>0,85</b>	<b>0,81</b>	<b>1,00</b>							
Capt.1 F2	0,94	0,92	0,85	<b>1,00</b>						
Capt.2 F2	0,94	0,92	0,86	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>					
Capt.3 F2	0,92	0,87	0,95	<b>0,91</b>	<b>0,91</b>	<b>1,00</b>				
Capt.1 F3	0,93	0,95	0,76	0,91	0,91	0,83	<b>1,00</b>			
Capt.2 F3	0,94	0,95	0,80	0,92	0,93	0,85	<b>0,96</b>	<b>1,00</b>		
Capt.3 F3	0,92	0,89	0,95	0,91	0,91	0,99	<b>0,85</b>	<b>0,87</b>	<b>1,00</b>	
<b>Station</b> <sup>4</sup>	<b>0,91</b>	<b>0,88</b>	<b>0,95</b>	<b>0,89</b>	<b>0,90</b>	<b>0,98</b>	<b>0,83</b>	<b>0,86</b>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>

<sup>1</sup>Toutes les corrélations sont significatives à  $P < 0.001$ ;

<sup>2</sup>Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre, précédé d'un F, indique la ferme;

<sup>3</sup>Les données en gras montrent les relations entre les capteurs sur une même ferme;

<sup>4</sup>Les données en bleu sont les relations avec la station météorologique.

Tableau 8. **Corrélations**<sup>1</sup> entre les données d'**humidité relative maximale** observées par les capteurs sur les fermes du **Bas-St-Laurent** ainsi qu'avec la station météorologique de Mont-Joli.

	Capt.1 F1 <sup>2</sup>	Capt.2 F1	Capt.3 F1	Capt.1 F2	Capt.2 F2	Capt.3 F2	Capt.1 F3	Capt.2 F3	Capt.3 F3	Station
Capt.1 F1	<b>1,00</b> <sup>3</sup>									
Capt.2 F1	<b>0,94</b>	<b>1,00</b>								
Capt.3 F1	<b>0,55</b>	<b>0,58</b>	<b>1,00</b>							
Capt.1 F2	0,39	0,30	0,18	<b>1,00</b>						
Capt.2 F2	0,46	0,37	0,27	<b>0,95</b>	<b>1,00</b>					
Capt.3 F2	0,46	0,38	0,53	<b>0,66</b>	<b>0,73</b>	<b>1,00</b>				
Capt.1 F3	0,24	0,21**	0,32	0,88	0,91	0,89	<b>1,00</b>			
Capt.2 F3	0,42	0,40	0,44	0,76	0,77	0,73	<b>0,96</b>	<b>1,00</b>		
Capt.3 F3	0,43	0,35	0,51	0,62	0,69	0,97	<b>0,91</b>	<b>0,72</b>	<b>1,00</b>	
<b>Station</b> <sup>4</sup>	<b>0,68</b>	<b>0,60</b>	<b>0,52</b>	<b>0,19</b>	<b>0,25</b>	<b>0,58</b>	<b>0,17*</b>	<b>0,22</b>	<b>0,59</b>	<b>1,00</b>

<sup>1</sup>Les corrélations sans annotations sont significatives à  $P < 0.001$ ;

\*\*Les corrélations sont significatives à  $P < 0.01$ ;

\*Les corrélations sont significatives à  $P < 0.05$ ;

<sup>2</sup>Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre, précédé d'un F, indique la ferme;

<sup>3</sup>Les données en gras montrent les relations entre les capteurs sur une même ferme;

<sup>4</sup>Les données en bleu sont les relations avec la station météorologique.

Tableau 9. **Corrélations**<sup>1</sup> entre les données de **THI maximal** observées par les capteurs sur les fermes du **Bas-St-Laurent** ainsi qu'avec la station météorologique de Mont-Joli.

	Capt.1 F1 <sup>2</sup>	Capt.2 F1	Capt.3 F1	Capt.1 F2	Capt.2 F2	Capt.3 F2	Capt.1 F3	Capt.2 F3	Capt.3 F3	Station
Capt.1 F1	<b>1,00</b> <sup>3</sup>									
Capt.2 F1	<b>0,97</b>	<b>1,00</b>								
Capt.3 F1	<b>0,85</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>							
Capt.1 F2	0,93	0,91	0,85	<b>1,00</b>						
Capt.2 F2	0,94	0,91	0,86	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>					
Capt.3 F2	0,91	0,85	0,95	<b>0,91</b>	<b>0,91</b>	<b>1,00</b>				
Capt.1 F3	0,92	0,93	0,76	0,91	0,91	0,82	<b>1,00</b>			
Capt.2 F3	0,93	0,93	0,80	0,92	0,93	0,84	<b>0,96</b>	<b>1,00</b>		
Capt.3 F3	0,92	0,87	0,95	0,91	0,91	0,99	<b>0,84</b>	<b>0,87</b>	<b>1,00</b>	
<b>Station</b> <sup>4</sup>	<b>0,91</b>	<b>0,86</b>	<b>0,95</b>	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>	<b>0,97</b>	<b>0,83</b>	<b>0,86</b>	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>

<sup>1</sup>Toutes les corrélations sont significatives à  $P < 0.001$ ;

<sup>2</sup>Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre, précédé d'un F, indique la ferme;

<sup>3</sup>Les données en gras montrent les relations entre les capteurs sur une même ferme;

<sup>4</sup>Les données en bleu sont les relations avec la station météorologique.

## Montérégie

Tableau 10. **Corrélations**<sup>1</sup> entre les données de **température maximale** observées par les capteurs sur les fermes de la **Montérégie** ainsi qu'avec la station météorologique de St-Hubert.

	Capt.1 F1 <sup>2</sup>	Capt.2 F1	Capt.3 F1	Capt.1 F2	Capt.2 F2	Capt.3 F2	Capt.1 F3	Capt.2 F3	Capt.3 F3	Station
Capt.1 F1	<b>1,00</b> <sup>3</sup>									
Capt.2 F1	<b>0,92</b>	<b>1,00</b>								
Capt.3 F1	<b>0,96</b>	<b>0,86</b>	<b>1,00</b>							
Capt.1 F2	0,98	0,91	0,93	<b>1,00</b>						
Capt.2 F2	0,98	0,92	0,94	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>					
Capt.3 F2	0,96	0,85	0,99	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<b>1,00</b>				
Capt.1 F3	0,96	0,92	0,90	0,97	0,97	0,89	<b>1,00</b>			
Capt.2 F3	0,98	0,92	0,94	0,98	0,98	0,94	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>		
Capt.3 F3	0,96	0,85	0,99	0,92	0,93	0,99	<b>0,90</b>	<b>0,94</b>	<b>1,00</b>	
<b>Station</b> <sup>4</sup>	<b>0,95</b>	<b>0,87</b>	<b>0,99</b>	<b>0,91</b>	<b>0,93</b>	<b>0,99</b>	<b>0,88</b>	<b>0,93</b>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>

<sup>1</sup>Toutes les corrélations sont significatives à  $P < 0.001$ ;

<sup>2</sup>Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre, précédé d'un F, indique la ferme;

<sup>3</sup>Les données en gras montrent les relations entre les capteurs sur une même ferme;

<sup>4</sup>Les données en bleu sont les relations avec la station météorologique.

Tableau 11. **Corrélations**<sup>1</sup> entre les données d'**humidité relative maximale** observées par les capteurs sur les fermes de la **Montérégie** ainsi qu'avec la station météorologique de St-Hubert.

	Capt.1 F1 <sup>2</sup>	Capt.2 F1	Capt.3 F1	Capt.1 F2	Capt.2 F2	Capt.3 F2	Capt.1 F3	Capt.2 F3	Capt.3 F3	Station
Capt.1 F1	<b>1,00</b> <sup>3</sup>									
Capt.2 F1	<b>0,82</b>	<b>1,00</b>								
Capt.3 F1	<b>0,83</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>							
Capt.1 F2	0,84	0,92	0,74	<b>1,00</b>						
Capt.2 F2	0,81	0,93	0,76	<b>0,95</b>	<b>1,00</b>					
Capt.3 F2	0,72	0,80	0,93	<b>0,78</b>	<b>0,83</b>	<b>1,00</b>				
Capt.1 F3	0,92	0,90	0,81	0,90	0,88	0,75	<b>1,00</b>			
Capt.2 F3	0,84	0,92	0,78	0,91	0,90	0,79	<b>0,93</b>	<b>1,00</b>		
Capt.3 F3	0,70	0,81	0,93	0,74	0,80	0,96	<b>0,76</b>	<b>0,81</b>	<b>1,00</b>	
<b>Station</b> <sup>4</sup>	<b>0,55</b>	<b>0,74</b>	<b>0,81</b>	<b>0,67</b>	<b>0,73</b>	<b>0,90</b>	<b>0,63</b>	<b>0,71</b>	<b>0,91</b>	<b>1,00</b>

<sup>1</sup>Toutes les corrélations sont significatives à  $P < 0.001$ ;

<sup>2</sup>Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre, précédé d'un F, indique la ferme;

<sup>3</sup>Les données en gras montrent les relations entre les capteurs sur une même ferme;

<sup>4</sup>Les données en bleu sont les relations avec la station météorologique.

Tableau 12. **Corrélations**<sup>1</sup> entre les données de **THI maximal** observées par les capteurs sur les fermes de la **Montérégie** ainsi qu'avec la station météorologique de St-Hubert.

	Capt.1 F1 <sup>2</sup>	Capt.2 F1	Capt.3 F1	Capt.1 F2	Capt.2 F2	Capt.3 F2	Capt.1 F3	Capt.2 F3	Capt.3 F3	Station
Capt.1 F1	<b>1,00</b> <sup>3</sup>									
Capt.2 F1	<b>0,90</b>	<b>1,00</b>								
Capt.3 F1	<b>0,96</b>	<b>0,88</b>	<b>1,00</b>							
Capt.1 F2	0,97	0,90	0,92	<b>1,00</b>						
Capt.2 F2	0,98	0,89	0,93	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>					
Capt.3 F2	0,96	0,87	0,99	<b>0,93</b>	<b>0,93</b>	<b>1,00</b>				
Capt.1 F3	0,96	0,87	0,89	0,97	0,97	0,88	<b>1,00</b>			
Capt.2 F3	0,98	0,90	0,93	0,98	0,98	0,93	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>		
Capt.3 F3	0,96	0,88	0,99	0,92	0,93	0,99	<b>0,89</b>	<b>0,93</b>	<b>1,00</b>	
<b>Station</b> <sup>4</sup>	<b>0,88</b>	<b>0,83</b>	<b>0,93</b>	<b>0,85</b>	<b>0,86</b>	<b>0,93</b>	<b>0,82</b>	<b>0,86</b>	<b>0,93</b>	<b>1,00</b>

<sup>1</sup>Toutes les corrélations sont significatives à  $P < 0.001$ ;

<sup>2</sup>Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre, précédé d'un F, indique la ferme;

<sup>3</sup>Les données en gras montrent les relations entre les capteurs sur une même ferme;

<sup>4</sup>Les données en bleu sont les relations avec la station météorologique.

### Effet du mois sur les résultats de corrélations

Les résultats précédents permettent de constater que globalement les grandes tendances mesurées sur les fermes et en stations météorologiques sont très reliées. Par contre, les résultats de moyenne démontrent qu'il y a plus de stabilité dans les températures dans l'étable qu'à l'extérieur en hiver. Il est donc pertinent de vérifier si les résultats sont stables entre les mois. Des corrélations par mois ont donc été réalisées. Les tableaux 13, 14, 15 et 16 montrent les résultats de ces corrélations pour un mois d'hiver et un mois d'été dans chacune des régions.

Comme on pouvait s'y attendre, les résultats de corrélations sont variables en fonction des mois. En plus de l'effet de la ferme, il est donc important de se référer au moment de l'année lors des analyses d'indicateurs météorologiques puisque les relations entre les données de fermes et les stations météorologiques varient dans le temps.

**Bas-St-Laurent**

Tableau 13. **Corrélations**<sup>1</sup> entre les données de **THI maximal** observées par les capteurs sur les fermes du Bas-St-Laurent ainsi qu'avec la station météorologique de Mont-Joli pour le mois de **février**.

	Capt.1 F1 <sup>2</sup>	Capt.2 F1	Capt.3 F1	Capt.1 F2	Capt.2 F2	Capt.3 F2	Capt.1 F3	Capt.2 F3	Capt.3 F3	Station
Capt.1 F1	<b>1,00</b> <sup>3</sup>									
Capt.2 F1	<b>0,83</b>	<b>1,00</b>								
Capt.3 F1	<b>0,72</b>	<b>0,54</b> <sup>**</sup>	<b>1,00</b>							
Capt.1 F2	0,69	0,38*	0,84	<b>1,00</b>						
Capt.2 F2	0,72	0,39*	0,87	<b>0,97</b>	<b>1,00</b>					
Capt.3 F2	0,67	0,48 <sup>**</sup>	0,96	<b>0,84</b>	<b>0,86</b>	<b>1,00</b>				
Capt.1 F3	---	---	---	---	---	---	<b>1,00</b>			
Capt.2 F3	---	---	0,36 <sup>†</sup>	---	---	---	<b>0,48</b> <sup>**</sup>	<b>1,00</b>		
Capt.3 F3	0,70	0,55 <sup>**</sup>	0,98	0,81	0,83	0,95	---	<b>0,37</b> <sup>†</sup>	<b>1,00</b>	
<b>Station</b> <sup>4</sup>	<b>0,73</b>	<b>0,54</b> <sup>**</sup>	<b>0,99</b>	<b>0,84</b>	<b>0,86</b>	<b>0,95</b>	---	<b>0,35</b> <sup>†</sup>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>

<sup>1</sup>Les corrélations sans annotations sont significatives à  $P < 0.001$ ; <sup>\*\*</sup>Les corrélations sont significatives à  $P < 0.01$ ; <sup>\*</sup>Les corrélations sont significatives à  $P < 0.05$ ; <sup>†</sup>Les corrélations sont associées à une tendance avec  $0.05 < P < 0.10$ ;

<sup>2</sup>Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre, précédé d'un F, indique la ferme;

<sup>3</sup>Les données en gras montrent les relations entre les capteurs sur une même ferme;

<sup>4</sup>Les données en bleu sont les relations avec la station météorologique.

Tableau 14. **Corrélations**<sup>1</sup> entre les données de **THI maximal** observées par les capteurs sur les fermes du Bas-St-Laurent ainsi qu'avec la station météorologique de Mont-Joli pour le mois d'**août**.

	Capt.1 F1 <sup>2</sup>	Capt.2 F1	Capt.3 F1	Capt.1 F2	Capt.2 F2	Capt.3 F2	Capt.1 F3	Capt.2 F3	Capt.3 F3	Station
Capt.1 F1	<b>1,00</b> <sup>3</sup>									
Capt.2 F1	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>								
Capt.3 F1	<b>0,62</b>	<b>0,52</b>	<b>1,00</b>							
Capt.1 F2	0,91	0,91	0,46 <sup>**</sup>	<b>1,00</b>						
Capt.2 F2	0,93	0,92	0,59	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>					
Capt.3 F2	0,89	0,87	0,56	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	<b>1,00</b>				
Capt.1 F3	0,91	0,92	0,50	0,96	0,95	0,92	<b>1,00</b>			
Capt.2 F3	0,95	0,95	0,56	0,94	0,96	0,92	<b>0,96</b>	<b>1,00</b>		
Capt.3 F3	0,91	0,90	0,59	0,94	0,95	0,91	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	<b>1,00</b>	
<b>Station</b> <sup>4</sup>	<b>0,69</b>	<b>0,68</b>	<b>0,58</b>	<b>0,69</b>	<b>0,77</b>	<b>0,79</b>	<b>0,74</b>	<b>0,81</b>	<b>0,81</b>	<b>1,00</b>

<sup>1</sup>Les corrélations sans annotations sont significatives à  $P < 0.001$ ; <sup>\*\*</sup>Les corrélations sont significatives à  $P < 0.01$ ; <sup>\*</sup>Les corrélations sont significatives à  $P < 0.05$ ; <sup>†</sup>Les corrélations sont associées à une tendance avec  $0.05 < P < 0.10$ ;

<sup>2</sup>Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre, précédé d'un F, indique la ferme;

<sup>3</sup>Les données en gras montrent les relations entre les capteurs sur une même ferme;

<sup>4</sup>Les données en bleu sont les relations avec la station météorologique.

## Montérégie

Tableau 15. **Corrélations**<sup>1</sup> entre les données de **THI maximal** observées par les capteurs sur les fermes de la **Montérégie** ainsi qu'avec la station météorologique de St-Hubert pour le mois de **février**.

	Capt.1 F1 <sup>2</sup>	Capt.2 F1	Capt.3 F1	Capt.1 F2	Capt.2 F2	Capt.3 F2	Capt.1 F3	Capt.2 F3	Capt.3 F3	Station
Capt.1 F1	<b>1,00</b> <sup>3</sup>									
Capt.2 F1	<b>0,73</b>	<b>1,00</b>								
Capt.3 F1	<b>0,94</b>	<b>0,79</b>	<b>1,00</b>							
Capt.1 F2	---	---	---	<b>1,00</b>						
Capt.2 F2	0,52**	0,60	0,56**	---	<b>1,00</b>					
Capt.3 F2	0,91	0,79	0,98	---	<b>0,54</b> **	<b>1,00</b>				
Capt.1 F3	---	0,36 <sup>t</sup>	0,38*	---	---	---	<b>1,00</b>			
Capt.2 F3	0,64	0,62	0,64	---	---	0,60	<b>0,55</b> **	<b>1,00</b>		
Capt.3 F3	0,95	0,73	0,97	---	0,51**	0,93	<b>0,45</b> *	<b>0,63</b>	<b>1,00</b>	
<b>Station</b> <sup>4</sup>	<b>0,93</b>	<b>0,74</b>	<b>0,98</b>	---	<b>0,57</b> **	<b>0,96</b>	<b>0,35</b> <sup>t</sup>	<b>0,59</b>	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>

<sup>1</sup>Les corrélations sans annotations sont significatives à  $P < 0.001$ ; \*\*Les corrélations sont significatives à  $P < 0.01$ ; \*Les corrélations sont significatives à  $P < 0.05$ ; <sup>t</sup>Les corrélations sont associées à une tendance avec  $0.05 < P < 0.10$ ;

<sup>2</sup>Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre, précédé d'un F, indique la ferme;

<sup>3</sup>Les données en gras montrent les relations entre les capteurs sur une même ferme;

<sup>4</sup>Les données en bleu sont les relations avec la station météorologique.

Tableau 16. **Corrélations**<sup>1</sup> entre les données de **THI maximal** observées par les capteurs sur les fermes de la **Montérégie** ainsi qu'avec la station météorologique de St-Hubert pour le mois d'**août**.

	Capt.1 F1 <sup>2</sup>	Capt.2 F1	Capt.3 F1	Capt.1 F2	Capt.2 F2	Capt.3 F2	Capt.1 F3	Capt.2 F3	Capt.3 F3	Station
Capt.1 F1	<b>1,00</b> <sup>3</sup>									
Capt.2 F1	<b>0,52</b>	<b>1,00</b>								
Capt.3 F1	<b>0,96</b>	<b>0,56</b>	<b>1,00</b>							
Capt.1 F2	0,80	0,61	0,85	<b>1,00</b>						
Capt.2 F2	0,81	0,60	0,85	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>					
Capt.3 F2	0,80	0,57	0,84	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>1,00</b>				
Capt.1 F3	0,85	0,59	0,87	0,93	0,95	0,93	<b>1,00</b>			
Capt.2 F3	0,84	0,63	0,85	0,92	0,94	0,91	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>		
Capt.3 F3	0,82	0,53	0,85	0,93	0,94	0,92	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	<b>1,00</b>	
<b>Station</b> <sup>4</sup>	<b>0,22</b> <sup>t</sup>	<b>0,38</b> **	<b>0,25</b> <sup>t</sup>	<b>0,39</b> **	<b>0,39</b> **	<b>0,38</b> **	<b>0,40</b> **	<b>0,43</b>	<b>0,35</b> **	<b>1,00</b>

<sup>1</sup>Les corrélations sans annotations sont significatives à  $P < 0.001$ ; \*\*Les corrélations sont significatives à  $P < 0.01$ ; \*Les corrélations sont significatives à  $P < 0.05$ ; <sup>t</sup>Les corrélations sont associées à une tendance avec  $0.05 < P < 0.10$ ;

<sup>2</sup>Le premier chiffre indique le capteur (capteur 1 = à l'intérieur près de la ventilation de la ferme; capteur 2 = à l'intérieur dans une partie moins ventilée de la ferme; capteur 3 = à l'extérieur de la ferme; Station = station météorologique de Saint-Hubert). Le deuxième chiffre, précédé d'un F, indique la ferme;

<sup>3</sup>Les données en gras montrent les relations entre les capteurs sur une même ferme;

<sup>4</sup>Les données en bleu sont les relations avec la station météorologique.

## EFFET DE LA DISTANCE AVEC LA STATION ET DE LA POSITION DES CAPTEURS

Les distances entre la station météo et les fermes du Bas-St-Laurent variaient de  $\pm 5$  km pour la ferme 1 à  $\pm 10$  km pour les fermes 2 et 3. Le tableau 17 présente les résultats des comparaisons statistiques entre les différents capteurs pour les températures (minimales, maximales et moyennes), l'humidité (minimales, maximales et moyennes) et le THI (minimaux, maximaux et moyens). Le tableau 18 reprend ces données, mais seulement pour la période estivale de juin à juillet. Les tableaux 19 et 20 présentent la même information, mais pour la région de la Montérégie. Les fermes de la Montérégie sont à  $\pm 20$  km (ferme 1),  $\pm 30$  km (ferme 3) et  $\pm 50$  km (ferme 2) de la station météo.

Les résultats obtenus permettent d'arriver à deux constats. Le premier est que la distance de la ferme par rapport à la station météo n'est pas le seul facteur influençant la représentativité de cette dernière pour les conditions de température et d'humidité sur les fermes. Il demeure donc pertinent pour les producteurs laitiers d'avoir de l'information sur les conditions directement à la ferme pour assurer un suivi adéquat de la température et de l'humidité. Le deuxième point important de l'analyse est que la position du capteur dans l'étable (capteur 1 vs 2) affecte les résultats obtenus. Ainsi, dans plusieurs étables, une seule mesure à un endroit spécifique du bâtiment n'est peut-être pas représentative de l'environnement de toute l'étable. Aussi, il pourrait être opportun pour les producteurs laitiers de positionner différemment leurs animaux l'été pour favoriser les vaches plus vulnérables aux stress thermiques (hautes productrices et les vaches fraîches vélées) aux endroits plus frais de l'étable.

Tableau 17. **Comparaison** entre les mesures des températures minimales (Tmin), maximales (Tmax), moyennes (Tmoy), des humidités relatives minimales (Hrmin), maximales (Hrmax), moyennes (Hrmoy), et des indices de température et d'humidité minimaux (THlmin), maximaux (THlmax) et moyens (THlmoy) obtenues avec les différents capteurs pendant la durée de l'expérience pour le **Bas-Saint-Laurent**.

Variables <sup>1</sup>	Ferme 1			Ferme 2			Ferme 3			Station météo
	Capt.1	Capt.2	Capt.3	Capt.1	Capt.2	Capt.3	Capt.1	Capt.2	Capt.3	
Tmin	10,2 <sup>e</sup>	14,3 <sup>a</sup>	2,9 <sup>f</sup>	12,7 <sup>b</sup>	11,1 <sup>d</sup>	1,0 <sup>hg</sup>	11,2 <sup>d</sup>	11,9 <sup>c</sup>	1,6 <sup>g</sup>	0,7 <sup>h</sup>
Hrmin	59,6 <sup>de</sup>	60,5 <sup>dc</sup>	66,1 <sup>a</sup>	56,5 <sup>f</sup>	57,5 <sup>f</sup>	61,6 <sup>c</sup>	61,2 <sup>c</sup>	66,5 <sup>a</sup>	64,9 <sup>b</sup>	58,7 <sup>e</sup>
THlmin	51,9 <sup>d</sup>	57,8 <sup>a</sup>	40,0 <sup>f</sup>	55,7 <sup>b</sup>	53,3 <sup>c</sup>	38,2 <sup>g</sup>	48,1 <sup>e</sup>	54,1 <sup>c</sup>	38,7 <sup>g</sup>	38,6 <sup>g</sup>
Tmax	16,8 <sup>c</sup>	19,3 <sup>a</sup>	10,8 <sup>e</sup>	18,0 <sup>b</sup>	17,2 <sup>c</sup>	10,9 <sup>e</sup>	14,4 <sup>d</sup>	18,3 <sup>b</sup>	10,1 <sup>f</sup>	9,6 <sup>f</sup>
Hrmax	79,6 <sup>e</sup>	75,7 <sup>g</sup>	87,8 <sup>c</sup>	78,6 <sup>f</sup>	79,7 <sup>e</sup>	90,3 <sup>a</sup>	83,8 <sup>d</sup>	84,8 <sup>d</sup>	91,2 <sup>a</sup>	89,3 <sup>b</sup>
THlmax	61,8 <sup>c</sup>	65,6 <sup>a</sup>	51,2 <sup>fe</sup>	63,8 <sup>b</sup>	62,5 <sup>c</sup>	51,8 <sup>e</sup>	57,8 <sup>d</sup>	64,3 <sup>b</sup>	50,4 <sup>fg</sup>	49,8 <sup>g</sup>
Tmoy	13,4 <sup>c</sup>	16,8 <sup>a</sup>	6,8 <sup>d</sup>	13,5 <sup>c</sup>	16,8 <sup>a</sup>	6,9 <sup>d</sup>	12,6 <sup>c</sup>	15,2 <sup>b</sup>	5,9 <sup>e</sup>	5,2 <sup>f</sup>
Hrmoy	69,6 <sup>f</sup>	68,1 <sup>gh</sup>	77,0 <sup>b</sup>	67,9 <sup>h</sup>	69,0 <sup>gf</sup>	77,3 <sup>b</sup>	72,5 <sup>e</sup>	76,0 <sup>c</sup>	78,6 <sup>a</sup>	74,9 <sup>d</sup>
THlmoy	56,3 <sup>c</sup>	61,4 <sup>a</sup>	44,9 <sup>e</sup>	56,5 <sup>c</sup>	61,5 <sup>a</sup>	45,7 <sup>e</sup>	54,9 <sup>d</sup>	58,9 <sup>b</sup>	43,9 <sup>f</sup>	43,5 <sup>f</sup>

<sup>1</sup>Les valeurs d'une ligne avec un exposant a-g différent diffèrent significativement (P < 0,05)

Tableau 18. **Comparaison** entre les mesures des températures minimales (Tmin), maximales (Tmax), moyennes (Tmoy), des humidités relatives minimales (Hrmin), maximales (Hrmax), moyennes (Hrmoy), et des indices de température et d'humidité minimaux (THlmin), maximaux (THlmax) et moyens (THlmoy) obtenues avec les différents capteurs pendant l'été (juin, juillet et août) pour le **Bas-Saint-Laurent**.

Variables <sup>1</sup>	Ferme 1			Ferme 2			Ferme 3			Station météo
	Capt.1	Capt.2	Capt.3	Capt.1	Capt.2	Capt.3	Capt.1	Capt.2	Capt.3	
Tmin	15,5 <sup>c</sup>	16,4 <sup>a</sup>	14,9 <sup>d</sup>	15,9 <sup>b</sup>	15,0 <sup>d</sup>	13,7 <sup>e</sup>	13,7 <sup>e</sup>	16,0 <sup>ba</sup>	13,4 <sup>e</sup>	10,3 <sup>f</sup>
Hrmin	53,2 <sup>cb</sup>	53,7 <sup>b</sup>	53,3 <sup>fed</sup>	50,9 <sup>ed</sup>	50,2 <sup>fe</sup>	48,8 <sup>f</sup>	52,0 <sup>cbd</sup>	56,2 <sup>a</sup>	51,6 <sup>ced</sup>	50,2 <sup>fe</sup>
THlmin	59,5 <sup>c</sup>	60,7 <sup>a</sup>	58,5 <sup>d</sup>	60,1 <sup>b</sup>	58,9 <sup>d</sup>	57,2 <sup>e</sup>	57,1 <sup>e</sup>	60,2 <sup>ba</sup>	56,7 <sup>e</sup>	53,5 <sup>f</sup>
Tmax	23,3 <sup>ed</sup>	24,2 <sup>cd</sup>	25,9 <sup>a</sup>	24,3 <sup>cbd</sup>	24,2 <sup>cd</sup>	24,3 <sup>cbd</sup>	23,2 <sup>f</sup>	24,6 <sup>b</sup>	23,9 <sup>f</sup>	22,6 <sup>g</sup>
Hrmax	80,3 <sup>e</sup>	78,1 <sup>f</sup>	80,1 <sup>e</sup>	81,0 <sup>ed</sup>	81,9 <sup>d</sup>	85,9 <sup>b</sup>	84,2 <sup>c</sup>	81,0 <sup>ed</sup>	87,3 <sup>b</sup>	90,1 <sup>a</sup>
THlmax	73,1 <sup>c</sup>	73,3 <sup>c</sup>	76,4 <sup>a</sup>	73,8 <sup>cb</sup>	73,8 <sup>cb</sup>	74,3 <sup>b</sup>	72,3 <sup>b</sup>	74,4 <sup>b</sup>	73,3 <sup>c</sup>	71,8 <sup>d</sup>
Tmoy	19,7 <sup>b</sup>	20,2 <sup>a</sup>	19,6 <sup>b</sup>	19,7 <sup>b</sup>	20,2 <sup>a</sup>	19,6 <sup>b</sup>	20,2 <sup>a</sup>	20,4 <sup>a</sup>	18,5 <sup>c</sup>	16,8 <sup>d</sup>
Hrmoy	66,6 <sup>dc</sup>	65,7 <sup>d</sup>	65,7 <sup>d</sup>	66,7 <sup>dc</sup>	66,5 <sup>dc</sup>	68,0 <sup>bc</sup>	68,1 <sup>bc</sup>	69,1 <sup>ba</sup>	69,3 <sup>ba</sup>	70,8 <sup>a</sup>
THlmoy	65,6 <sup>b</sup>	66,5 <sup>a</sup>	65,4 <sup>b</sup>	65,7 <sup>b</sup>	66,5 <sup>a</sup>	65,5 <sup>b</sup>	66,5 <sup>a</sup>	66,9 <sup>a</sup>	63,7 <sup>c</sup>	61,6 <sup>d</sup>

<sup>1</sup>Les valeurs d'une ligne avec un exposant a-g différent diffèrent significativement (P < 0,05)

Tableau 19. **Comparaison** entre les mesures des températures minimales (Tmin), maximales (Tmax), moyennes (Tmoy), des humidités relatives minimales (Hrmin), maximales (Hrmax), moyennes (Hrmoy), et des indices de température et d'humidité minimaux (THlmin), maximaux (THlmax) et moyens (THlmoy) obtenues avec les différents capteurs pendant la durée de l'expérience pour la **Montérégie**.

Variables <sup>1</sup>	Ferme 1			Ferme 2			Ferme 3			Station météo
	Capt.1	Capt.2	Capt.3	Capt.1	Capt.2	Capt.3	Capt.1	Capt.2	Capt.3	
Tmin	14,2 <sup>b</sup>	13,9 <sup>b</sup>	5,4 <sup>d</sup>	12,5 <sup>c</sup>	12,4 <sup>c</sup>	4,3 <sup>e</sup>	14,1 <sup>b</sup>	15,2 <sup>a</sup>	4,7 <sup>e</sup>	4,5 <sup>e</sup>
Hrmin	62,7 <sup>a</sup>	62,1 <sup>a</sup>	62,2 <sup>a</sup>	57,8 <sup>e</sup>	60,2 <sup>c</sup>	61,3 <sup>b</sup>	58,7 <sup>d</sup>	60,3 <sup>c</sup>	60,9 <sup>c</sup>	55,9 <sup>f</sup>
THlmin	57,5 <sup>b</sup>	54,2 <sup>c</sup>	44,3 <sup>d</sup>	55,1 <sup>c</sup>	55,1 <sup>c</sup>	43,1 <sup>e</sup>	57,6 <sup>b</sup>	58,9 <sup>a</sup>	43,2 <sup>e</sup>	43,1 <sup>e</sup>
Tmax	19,3 <sup>b</sup>	17,5 <sup>d</sup>	14,1 <sup>e</sup>	19,0 <sup>cb</sup>	18,6 <sup>c</sup>	13,4 <sup>f</sup>	20,4 <sup>a</sup>	20,3 <sup>a</sup>	13,7 <sup>fe</sup>	12,1 <sup>g</sup>
Hrmax	80,6 <sup>fg</sup>	81,9 <sup>d</sup>	92,3 <sup>a</sup>	80,0 <sup>g</sup>	81,0 <sup>e</sup>	92,3 <sup>a</sup>	81,3 <sup>e</sup>	78,4 <sup>h</sup>	91,6 <sup>b</sup>	90,8 <sup>c</sup>
THlmax	65,8 <sup>b</sup>	62,9 <sup>d</sup>	57,2 <sup>e</sup>	65,5 <sup>cb</sup>	64,8 <sup>c</sup>	56,2 <sup>fg</sup>	67,6 <sup>a</sup>	67,4 <sup>a</sup>	56,8 <sup>fe</sup>	55,7 <sup>g</sup>
Tmoy	16,8 <sup>b</sup>	15,2 <sup>d</sup>	9,7 <sup>e</sup>	15,9 <sup>c</sup>	15,8 <sup>c</sup>	8,8 <sup>f</sup>	17,2 <sup>ba</sup>	17,7 <sup>a</sup>	8,9 <sup>f</sup>	8,7 <sup>f</sup>
Hrmoy	72,3 <sup>c</sup>	70,8 <sup>d</sup>	78,0 <sup>a</sup>	70,0 <sup>e</sup>	71,3 <sup>d</sup>	78,2 <sup>a</sup>	71,0 <sup>d</sup>	70,0 <sup>e</sup>	77,9 <sup>a</sup>	73,8 <sup>b</sup>
THlmoy	61,4 <sup>b</sup>	58,9 <sup>d</sup>	49,9 <sup>g</sup>	60,2 <sup>c</sup>	60,0 <sup>c</sup>	48,8 <sup>f</sup>	62,2 <sup>ba</sup>	62,8 <sup>a</sup>	49,1 <sup>f</sup>	39,2 <sup>f</sup>

<sup>1</sup>Les valeurs d'une ligne avec un exposant a-h différent diffèrent significativement (P < 0,05)

**Tableau 20. Comparaison** entre les mesures des températures minimales (Tmin), maximales (Tmax), moyennes (Tmoy), des humidités relatives minimales (Hrmin), maximales (Hrmax), moyennes (Hrmoy), et des indices de température et d’humidité minimaux (THImin), maximaux (THImax) et moyens (THImoy) obtenues avec les différents capteurs pendant l’été (juin, juillet et août) pour la **Montérégie**.

Variables <sup>1</sup>	Ferme 1			Ferme 2			Ferme 3			Station météo
	Capt.1	Capt.2	Capt.3	Capt.1	Capt.2	Capt.3	Capt.1	Capt.2	Capt.3	
Tmin	19,3 <sup>b</sup>	18,0 <sup>d</sup>	16,5 <sup>f</sup>	17,5 <sup>e</sup>	18,5 <sup>c</sup>	15,8 <sup>g</sup>	18,0 <sup>d</sup>	19,6 <sup>a</sup>	16,0 <sup>g</sup>	15,2 <sup>h</sup>
Hrmin	58, <sup>7</sup>	55,6 <sup>cb</sup>	53,2 <sup>e</sup>	53,4 <sup>ed</sup>	57,9 <sup>a</sup>	54,5 <sup>cd</sup>	56,1 <sup>b</sup>	58,6 <sup>a</sup>	54,6 <sup>cd</sup>	52,4 <sup>e</sup>
THImin	64,8 <sup>b</sup>	62,9 <sup>d</sup>	60,8 <sup>f</sup>	62,2 <sup>e</sup>	63,7 <sup>c</sup>	59,9 <sup>g</sup>	63,0 <sup>d</sup>	65,3 <sup>a</sup>	60,2 <sup>g</sup>	59,1 <sup>h</sup>
Tmax	26,2 <sup>ba</sup>	24,2 <sup>e</sup>	26,1 <sup>bc</sup>	26,3 <sup>ba</sup>	26,0 <sup>bc</sup>	25,9 <sup>c</sup>	26,1 <sup>bc</sup>	26,4 <sup>a</sup>	26,0 <sup>bc</sup>	24,8 <sup>d</sup>
Hrmax	80,0 <sup>e</sup>	83,6 <sup>c</sup>	89,2 <sup>b</sup>	83,5 <sup>c</sup>	83,2 <sup>dc</sup>	91,5 <sup>a</sup>	82,5 <sup>d</sup>	80,2 <sup>e</sup>	90,0 <sup>b</sup>	91,7 <sup>a</sup>
THImax	76,9 <sup>b</sup>	73,9 <sup>d</sup>	77,8 <sup>a</sup>	77,4 <sup>ba</sup>	76,9 <sup>b</sup>	77,7 <sup>a</sup>	76,9 <sup>b</sup>	77,3 <sup>ba</sup>	77,7 <sup>a</sup>	75,7 <sup>c</sup>
Tmoy	22,6 <sup>b</sup>	21,8 <sup>d</sup>	21,1 <sup>f</sup>	21,6 <sup>e</sup>	22,1 <sup>c</sup>	20,7 <sup>g</sup>	21,7 <sup>ed</sup>	22,8 <sup>a</sup>	20,4 <sup>h</sup>	19,8 <sup>i</sup>
Hrmoy	70,1 <sup>c</sup>	70,5 <sup>c</sup>	71,7 <sup>b</sup>	70,4 <sup>c</sup>	71,7 <sup>b</sup>	74,2 <sup>a</sup>	70,6 <sup>c</sup>	70,4 <sup>c</sup>	74,4 <sup>a</sup>	72,2 <sup>b</sup>
THImoy	70,3 <sup>b</sup>	69,0 <sup>d</sup>	68,0 <sup>f</sup>	68,7 <sup>e</sup>	69,6 <sup>c</sup>	67,6 <sup>g</sup>	68,9 <sup>d</sup>	70,6 <sup>a</sup>	67,2 <sup>h</sup>	66,3 <sup>i</sup>

<sup>1</sup>Les valeurs d’une ligne avec un exposant a-i différent diffèrent significativement (P < 0,05)

## CONCLUSION SUR LES RÉSULTATS DE L’ÉTUDE

Plusieurs points intéressants sont ressortis de cette étude. Il semble y avoir une plus grande stabilité dans la température à l’intérieur de l’étable qu’à l’extérieur. C’est un point très positif en hiver, mais cela pourrait nuire au rafraîchissement des vaches en été. Aussi, les valeurs de THI semblent généralement supérieures dans les étables qu’aux stations météorologiques. Il est donc possible que nous sous-estimions les risques de stress thermique pour les vaches lorsque les valeurs de stations météorologiques sont utilisées. En plus, la comparaison entre les fermes permet de constater qu’une distance plus faible entre une ferme et la station météorologique n’est pas garante d’une valeur plus fiable de la station météorologique. Ce sera à considérer dans les recherches futures et, surtout, pour les producteurs laitiers lors du suivi de leurs vaches.

Les résultats des corrélations montrent que l’utilisation des données de stations météorologiques est probablement acceptable pour les études à long terme sur le climat puisqu’elle donne une bonne idée des variations de THI sur les fermes. Par contre, ces données sont probablement moins fiables pour un suivi précis sur la ferme tel que démontré par les corrélations plus faible ou même non significative entre les stations et la ferme pour un mois précis.

Certaines fermes présentent aussi des différences entre les capteurs à l’intérieur de leur étable. Il faut donc favoriser plus d’une prise de données par étable pour prendre des décisions éclairées. Il serait aussi souhaitable de favoriser les vaches plus vulnérables aux stress thermiques aux endroits les plus frais de l’étable. Finalement, comme l’humidité relative semble plus élevée à l’intérieur qu’à l’extérieur à partir du mois de novembre et ce, pour l’hiver. Il y aurait potentiellement un lien à faire avec certaines maladies respiratoires dans une étude subséquente.

## PARTICIPATION DE L'UNIVERSITÉ LAVAL SUR LE PROJET

Andréa L. Bellavance, étudiante au Baccalauréat en agronomie (a contribué pour env. 220 h sur le projet) :

- Coordination avec l'équipe du CRSAD;
- Prétest des capteurs;
- Prise de contact avec les conseillers;
- Conception des abris pour les capteurs à l'extérieur;
- Pose des capteurs sur les fermes;
- Suivi avec les conseillers;
- Visite des sites, lorsque nécessaire (ex. bris d'un capteur);
- Compilation des résultats envoyés par les capteurs;
- Participation à l'analyse de données.

Anick Raby, étudiante au Baccalauréat en agronomie (a contribué pour env. 45 h sur le projet) :

- Pose des capteurs sur les fermes;
- Compilation des informations des stations météorologiques pendant la période de l'été 2016.

Sébastien Fournel, stagiaire postdoctoral (a contribué pour env. 10 h sur le projet) :

- Aide pour les prétests des capteurs;

Véronique Ouellet, étudiante au doctorat (a contribué pour env. 50 h sur le projet) :

- Aide pour l'acquisition des capteurs;
- Formation à l'utilisation du matériel utilisé;
- Aide à la compilation et l'analyse des données.

Édith Charbonneau, professeure (a contribué pour env. 50 h sur le projet) :

- Responsable du bon déroulement de l'étude à l'Université Laval;
- Supervision de l'équipe de recherche;
- Formation des étudiantes sur le projet;
- Rédaction des rapports.

## RÉFÉRENCE

Kendall, P.E. et J.R. Webster. 2009. Season and status affects the circadian body temperature rhythm of dairy cows. *Livest. Sci.* 125: 155–160.