

**Influence du climat sur la capacité isolante de la fourrure et de la peau chez le cerf de Virginie du Québec**

Par

Michel Crête<sup>1</sup>  
Donald W. Thomas<sup>2</sup>  
et  
Claude Daigle<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ministère des Ressources naturelles et de la Faune  
<sup>2</sup> Université de Sherbrooke

Février 2006

*Référence à citer :*

---

CRÊTE, M., D. W. THOMAS et C. DAIGLE. 2006. Influence du climat sur la capacité isolante de la fourrure et de la peau chez le cerf de Virginie du Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune et Université de Sherbrooke. 15 pages.

---

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2006.  
ISBN : 2-550-46433-8

**TABLE DES MATIÈRES**

	Page
TABLE DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	iv
1. INTRODUCTION.....	1
2. AIRE D'ÉTUDE .....	3
3. MÉTHODES.....	5
4. RÉSULTATS .....	7
5. DISCUSSION.....	10
6. CONCLUSION .....	12
REMERCIEMENTS .....	13
RÉFÉRENCES .....	14

## LISTE DES FIGURE ET TABLEAUX

	Page
Figure 1. Zones de chasse au Québec en 2004-2005. ....	3
Tableau 1. Caractéristiques du climat (1944-1990) et des populations de cerfs de Virginie des trois aires d'études échantillonnées. ....	4
Tableau 2. Densité moyenne de la fourrure estivale et automnale prélevées sur le dos de cerfs de Virginie de trois régions du Québec (g/cm <sup>2</sup> (S.E.; n)).....	7
Tableau 3. Épaisseur moyenne de la peau estivale et automnale chez des cerfs de Virginie de trois régions du Québec (mm (S.E.; n)) .....	8
Tableau 4. Résistance thermique moyenne de la peau estivale et automnale chez des cerfs de Virginie de trois régions du Québec (°C/mW (S.E.; n)).....	9
Tableau 5. Résistance thermique moyenne de la combinaison peau et fourrure estivale et automnale chez des cerfs de Virginie de trois régions du Québec (°C/mW (S.E.; n)).....	9

## 1. INTRODUCTION

Les mammifères herbivores vivant sous un climat nordique ont développé des mécanismes leur permettant de maintenir une température corporelle constante durant l'hiver alors que la ressource alimentaire est moins grande. La capacité isolante de la fourrure constitue l'un des éléments clés du budget énergétique de ces animaux puisqu'elle détermine les pertes énergétiques causées par l'écart entre la température corporelle et celle du milieu ambiant. Cette adaptation prend deux formes. La fourrure de certains mammifères subit une transformation saisonnière majeure, passant d'une fourrure adaptée (densité, longueur, couleur) aux contraintes thermiques de l'été à une fourrure hivernale plus résistante à la température. À plus long terme, les mammifères sont soumis à des pressions évolutives qui favorisent des éléments comportementaux et physiologiques propres au climat dans lequel ils vivent. Les animaux ne sont toutefois pas tous en mesure d'adapter leur fourrure aux conditions climatiques. Steudel *et al.* (1994) ont démontré que les grands mammifères (i.e. *Cervus elaphus*) possèdent cette capacité, alors que les petits mammifères (i.e. *Peromyscus maniculatus* et *Dicrostonyx groenlandicus*) en sont incapables en raison de contraintes mécaniques. Les petits mammifères vivant dans des environnements nordiques réagissent au froid saisonnier en profitant des propriétés isolantes du couvert de neige. À long terme, ces pressions évolutives ont favorisé les sujets de plus grande taille, ce phénomène étant bien connu sous l'appellation de règle de Bergmann, laquelle propose qu'un plus grand ratio « masse corporelle (production de chaleur)/surface corporelle (perte de chaleur) » serait avantageux pour vivre dans un habitat plus froid. Certains animaux mettent à profit, en complémentarité, plusieurs adaptations pour rivaliser avec la rigueur du climat. Geist (1987) indique que l'augmentation de la capacité isolante de la fourrure a plus d'impact sur le rythme métabolique que l'augmentation de la taille corporelle chez les mammifères évoluant sous des climats nordiques.

Les cervidés évoluant dans des environnements saisonniers atteignent des tailles corporelles plus petites lorsqu'ils font face à une importante compétition pour la

nourriture durant la saison de croissance des végétaux (Lesage *et al.* 2001). Ainsi, même s'ils endurent les hivers les plus rigoureux au Québec, les cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*) de l'île d'Anticosti (zone 20) sont les plus petits cerfs du Québec en raison de l'extrême compétition pour la nourriture à laquelle ils sont soumis (Boucher *et al.* 2004). Paradoxalement, les cerfs vivant à proximité sur le continent dans un contexte climatique similaire, mais en l'absence de compétition alimentaire importante, sont les plus grands au Québec (Lesage *et al.* 2001; Boucher *et al.* 2004).

Dans le cadre d'un programme de recherche visant à mieux comprendre les relations entre la capacité de support des habitats et les densités de cerfs de Virginie, nous avons étudié différents éléments de leur croissance et de leur métabolisme. Dans le présent volet de nos travaux, nous avons émis l'hypothèse que les capacités isolantes de leur fourrure durant l'hiver augmentent selon un gradient latitudinal au Québec. Compte tenu d'un rythme métabolique accru en raison de leur plus petite taille corporelle (Degen and Kam 1995) et du climat plus froid dans lequel ils évoluent, nous avons prédit que la capacité isolante de la fourrure des cerfs de l'île d'Anticosti serait supérieure à celle des autres populations de cerfs du Québec.

## 2. AIRE D'ÉTUDE

Nous avons récolté des échantillons de peau de cerf de Virginie recouverts de fourrure dans trois secteurs, soit dans la zone de chasse 5 en Montérégie, au Bas-Saint-Laurent dans la zone 2 et dans la zone de chasse 20, située sur l'île d'Anticosti. Les trois aires d'études sont distribuées le long d'un gradient latitudinal de 800 km de l'aire de répartition du cerf au Québec.

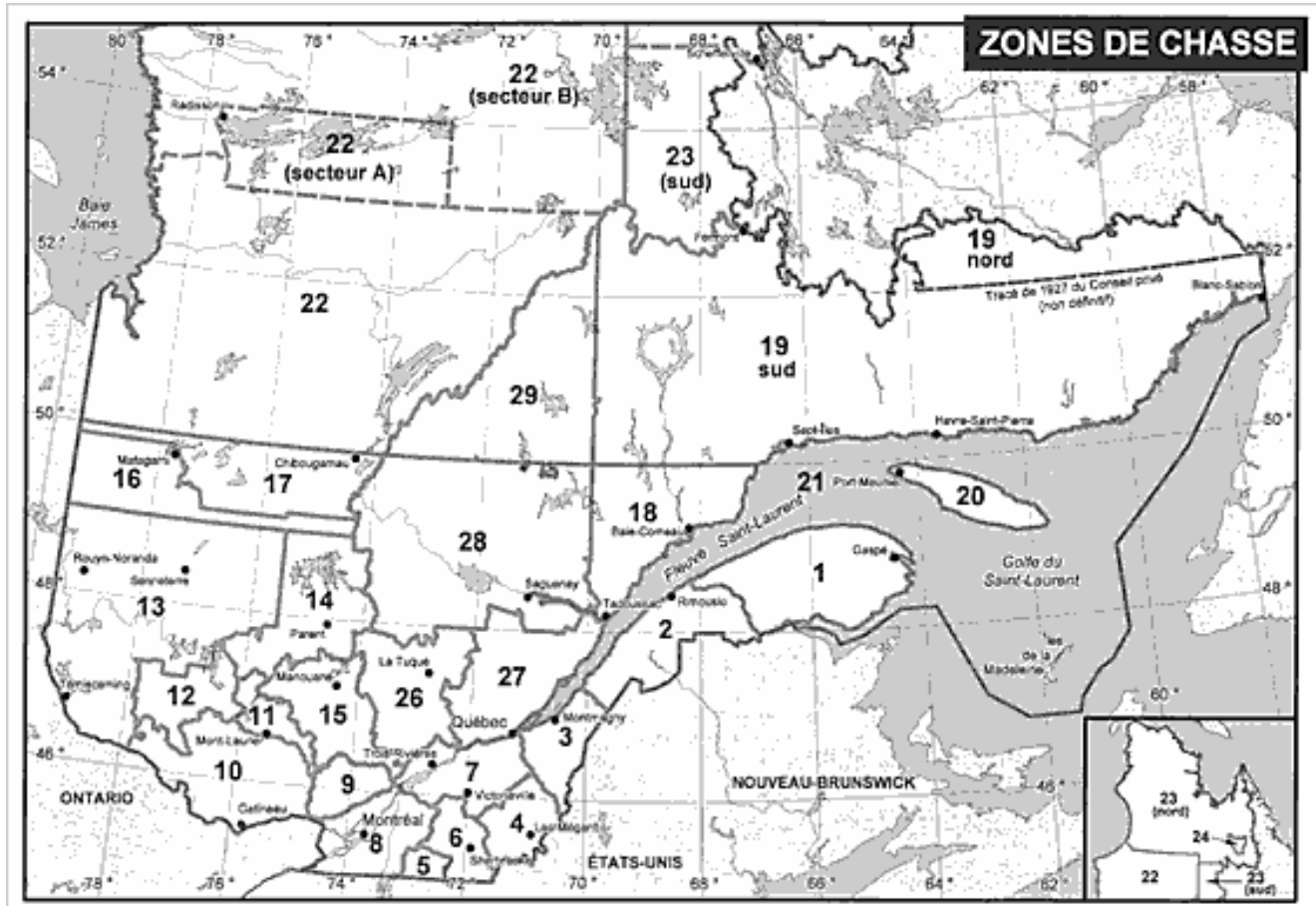


Figure 1. Zones de chasse au Québec en 2004-2005.

La zone de chasse 5 présente les étés les plus chauds et les hivers les moins rigoureux, avec une température moyenne en juillet et janvier de 19,4 °C et - 10,1 °C (tableau 1; Environnement Canada 2004). Les densités de cerfs y ont augmenté depuis le début des années 1970, avec comme conséquence une augmentation de la compétition pour la nourriture et une réduction de la taille des cerfs au cours des dernières années. À l'autre extrême, les températures moyennes pour les mêmes périodes sont de 14,8 °C et - 13,6 °C dans la zone 20. Le cerf de Virginie fut introduit dans ce secteur au début du 20<sup>e</sup> siècle. La population a connu une croissance rapide et est demeurée élevée au cours des dernières décennies. Le climat de la zone 2 est intermédiaire durant l'été et similaire à celui de la zone 20 durant l'hiver. Les cerfs y vivent à basses densités et atteignent les plus grandes tailles du Québec, soit approximativement le double de celles observées pour les plus petits dans la zone 20 (Lesage *et al.* 2001; Boucher *et al.* 2004).

Tableau 1. Caractéristiques du climat (1944-1990) et des populations de cerfs de Virginie des trois aires d'études échantillonnées.

	Zone 5	Zone 2	Zone 20
Latitude	45,30°	47,50°	49,70°
Domaine forestier	Feuillu	Mélangé	Boréal
Température moyenne juillet (°C)	19,4	17,7	14,8
Température moyenne janvier (°C)	- 10,1	- 13,3	- 13,6
Degré-jours (> 5 °C)	1996	1470	1005
Chute de neige annuelle (cm)	242	354	406
Mesure annuelle de pluie (mm)	992	757	630
Densité hivernale des populations (cerfs/km <sup>2</sup> )	10,8	0,3	14,9
Masse des mâles adultes éviscérés (kg)	83	115	59

### 3. MÉTHODES

Pour évaluer les caractéristiques de la peau et de la fourrure estivale, nous avons prélevé des échantillons de peau recouverte de fourrure sur 13 cerfs victimes d'accidents routiers dans les zones 5 et 2 entre la mi-juin et la fin juillet 1997. Les échantillons de peau et de fourrure automnale ont été prélevés sur 33 animaux récoltés par des chasseurs des trois aires d'études durant la première moitié du mois de novembre 1997. Les animaux retenus pour les prélèvements étaient tous âgés de plus d'un an. Nous avons noté le sexe de chaque cerf et prélevé deux carrés de peau d'environ 30 x 30 cm, le premier dans le milieu du dos et le second sur le flanc. Ces échantillons de peau recouverte de fourrure étaient saupoudrés de borax sur le côté peau et conservés à - 20,0 °C dans un sac de plastique hermétique.

Les peaux ont par la suite été tannées par un taxidermiste local et un échantillon circulaire de 8 cm de diamètre a été coupé dans chaque peau. Ces derniers ont servi à mesurer la résistance à la température de cette combinaison peau et fourrure de la façon suivante : à l'aide d'une mince couche de colle, chaque échantillon était fixé sur une plaque de cuivre de 2 mm d'épaisseur munie d'un fil chauffant de nickel-cadmium sur le côté opposé. La plaque chauffante était ensuite placée dans un bloc de Styrofoam de 15 cm d'épaisseur de façon à ce que le dessous et les côtés de la plaque soient entourés pour limiter la transmission indirecte de chaleur du système chauffant au thermocouple situé 5 cm au-dessus de l'échantillon de peau et de fourrure pour mesurer la température de l'air ambiant. Un système informatisé relié à un thermocouple de type T maintenait la température de la plaque à 37 °C ( $\pm 0,1$  °C) en appliquant des pulsations de 12 V à l'élément chauffant. Lorsque le système atteignait la stabilité, l'ordinateur calculait le flux de chaleur en milliwatts à l'aide de la formule  $mW = V^2/R$ ,  $V^2$  correspondant à la moyenne du voltage au carré appliqué au fil chauffant et R à la résistance de ce dernier. Dans le but de considérer la chaleur perdue au travers de l'isolant de Styrofoam, nous avons remplacé la préparation de peau et fourrure sur la plaque par un cylindre de Styrofoam de 15 cm d'épaisseur et mesuré à nouveau le flux de chaleur produit par le système. La différence entre les flux de chaleur mesurés avec et sans la préparation de peau et

fouurrure représentait précisément le flux de chaleur attribuable à notre échantillon. Nous avons calculé la conductivité thermique en  $\text{mW}/^{\circ}\text{C}$ ,  $^{\circ}\text{C}$  correspondant au gradient de température entre la plaque chauffante et la température de l'air environnant. La résistance thermique est l'inverse de la conductivité thermique et s'exprime en  $^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ . Après avoir mesuré la résistance thermique de l'échantillon de peau et de fouurrure, nous avons rasé la fouurrure et mesuré à nouveau le flux de chaleur, cette procédure nous permettant de différencier la résistance thermique de la peau de celle de la fouurrure. La fouurrure rasée était pesée et l'épaisseur de la peau mesurée à des fins de comparaison entre les aires d'études. Nous sommes conscients que les mesures effectuées sur des échantillons de peau et de fouurrure tannée ne représentaient pas la résistance thermique de la peau et de la fouurrure de cerfs vivants. Nos méthodes permettent toutefois de comparer chacun des groupes d'échantillons.

Nous avons utilisé ANOVA avec mesures répétées (Proc GLM, SAS 1999) pour déterminer si la densité de la fouurrure, l'épaisseur de la peau, la résistance thermique de la peau, ainsi que celle de la peau et de la fouurrure combinées variaient en fonction de l'aire d'étude, de la saison, du sexe et de l'endroit où le prélèvement a été effectué sur le cerf. Trois variables dépendantes ont subi des transformations logarithmiques pour normaliser les résidus. Nous avons utilisé l'inverse de l'épaisseur de la peau pour les mêmes raisons. Les modèles ANOVA ont considéré toutes les interactions possibles sauf dans le cas de données manquantes. Le test LSD (LSMEANS statement, SAS 1999) a servi aux comparaisons par paires.

#### 4. RÉSULTATS

Il n'a pas été possible de prélever tous les échantillons souhaités pour cette étude en raison du moratoire sur la chasse aux femelles dans la zone 2 et de l'impossibilité de récupérer les cerfs victimes d'accidents routiers dans la zone 20. Même si notre ensemble de données est conséquemment incomplet, il nous a semblé important d'en tirer le maximum d'information.

Pour la plupart des combinaisons saisons et régions, la densité moyenne de la fourrure était similaire sur les échantillons prélevés sur le dos et sur les flancs des cerfs. Dans certains cas, les différences étaient toutefois importantes, avec comme résultat des interactions significatives ( $P < 0,05$ ) impliquant les parties du corps visées par les prélèvements. Pour cette raison, nous avons limité nos comparaisons de la densité de la fourrure à l'égard des saisons et des régions aux échantillons en provenance du dos des cerfs (tableau 2). Pour toutes les comparaisons possibles, la densité de la fourrure automnale était 2-4 fois supérieure à celle de l'été ( $P < 0,001$ ). La densité de la fourrure estivale des mâles était similaire dans les zones 5 et 2 ( $P < 0,673$ ; 0.8-0.9 g/50cm<sup>2</sup>). Il nous a été impossible de faire des comparaisons pour les femelles de ces zones en raison d'un nombre insuffisant d'échantillons. La densité de la fourrure automnale des cerfs mâles de la zone 2 était supérieure à celle des deux autres secteurs ( $P < 0,001$ ), alors qu'elle était semblable entre ces derniers tant pour les mâles que pour les femelles.

Tableau 2. Densité moyenne de la fourrure estivale et automnale prélevées sur le dos de cerfs de Virginie de trois régions du Québec (g/cm<sup>2</sup> (S.E.; n))

	Zone 5	Été Zone 2	Zone 5	Automne Zone 2	Zone 20
Mâle	0,88 (0,02; 3)	0,87 (0,07; 4)	3,29 (0,52; 4)	4,68 (0,47; 5)	3,76 (0,19; 6)
Femelle	0,49 (N.A.; 1)	1,47 (0,32; 2)	3,90 (0,27; 6)	-	3,78 (0,90; 3)

La peau du dos était toujours plus épaisse que celle du flanc ( $P < 0,001$ ). Durant l'été, l'épaisseur de la peau n'était pas différente entre les cerfs de la zone 5 et ceux de la zone 2 et ce, autant pour les mâles ( $P = 0,096$ ), que pour les femelles ( $P = 0,693$ ). À cette période, la peau des mâles était plus épaisse chez les mâles que chez les femelles (zone 5  $P < 0,003$ ; zone 2  $P < 0,048$ ). Pour deux des trois comparaisons possibles, la peau était plus épaisse à l'automne qu'à l'été (femelles zone 5 et mâles zone 2  $P < 0,001$ ). À l'automne, la peau des cerfs de la zone 2 était plus épaisse que celle des cerfs des zones 5 ( $P < 0,028$ ) et 20 ( $P < 0,002$ ).

Tableau 3. Épaisseur moyenne de la peau estivale et automnale chez des cerfs de Virginie de trois régions du Québec (mm (S.E.; n))

	Été		Automne		
	Zone 5	Zone 2	Zone 5	Zone 2	Zone 20
<b>Mâle</b>					
Dos	1,58 (0,11; 3)	1,43 (0,11; 4)	1,59 (0,13; 4)	2,26 (0,23; 5)	1,63 (0,13; 6)
Flanc	1,37 (0,27; 3)	1,12 (0,07; 3)	1,43 (0,10; 7)	1,85 (0,35; 5)	1,17 (0,06; 5)
<b>Femelle</b>					
Dos	1,10 (N.A.; 1)	1,13 (0,03; 2)	1,73 (0,14; 6)	-	1,38 (0,21; 3)
Flanc	1,02 (0,14; 3)	0,85 (0,05; 2)	1,45 (0,12; 6)	-	1,34 (0,13; 5)

La résistance thermique de la peau était très peu variable en regard de la saison, de la région, du lieu de prélèvement sur le cerf et de son sexe (tableau 4).

Tableau 4. Résistance thermique moyenne de la peau estivale et automnale chez des cerfs de Virginie de trois régions du Québec ( $^{\circ}\text{C}/\text{mW}$  (S.E.; n))

	Été		Automne		
	Zone 5	Zone 2	Zone 5	Zone 2	Zone 20
Mâle					
Dos	0,08 (0,02; 3)	0,07 (0,02; 4)	0,06 (<0,01; 3)	0,07 (0,01; 5)	0,06 (<0,01; 6)
Flanc	0,08 (0,02; 3)	0,07 (0,01; 3)	0,07 (0,01; 6)	0,07 (0,01; 5)	0,06 (<0,01; 5)
Femelle					
Dos	0,12 (N.A.; 1)	0,05 (0,01; 2)	0,08 (0,01; 6)	-	0,06 (<0,01; 3)
Flanc	0,07 (0,02; 3)	0,06 (<0,01; 2)	0,07 (0,01; 4)	-	0,06 (0,01; 5)

La résistance thermique de la combinaison peau et fourrure est passée de 0,05-0,11  $^{\circ}\text{C}/\text{mW}$  durant l'été à 0,23-0,43  $^{\circ}\text{C}/\text{mW}$  à l'automne ( $P < 0,001$ ). Les mesures n'étaient pas significativement différentes entre les sexes et les régions pour toutes les comparaisons possibles (tableau 5).

Tableau 5. Résistance thermique moyenne de la combinaison peau et fourrure estivale et automnale chez des cerfs de Virginie de trois régions du Québec ( $^{\circ}\text{C}/\text{mW}$  (S.E.; n))

	Été		Automne		
	Zone 5	Zone 2	Zone 5	Zone 2	Zone 20
Mâle					
Dos	0,07 (0,01; 3)	0,09 (0,01; 4)	0,32 (0,18; 4)	0,23 (0,05; 5)	0,33 (0,10; 6)
Flanc	0,11 (0,04; 3)	0,08 (0,02; 3)	0,25 (0,05; 7)	0,23 (0,06; 5)	0,30 (0,05; 5)
Femelle					
Dos	0,10 (N.A.; 1)	0,05 (<0,01; 2)	0,25 (0,07; 6)	-	0,43 (0,19; 3)
Flanc	0,07 (0,01; 3)	0,09 (0,02; 2)	0,24 (0,04; 5)	-	0,30 (0,06; 5)

## 5. DISCUSSION

Le métabolisme de base des cerfs de la zone 20 est supérieur à celui des autres aires d'études en raison de leur plus petite taille corporelle. Ce phénomène oblige les cerfs à ingérer plus de nourriture et/ou des aliments de plus grande qualité par kg de masse corporelle que ceux des 2 autres secteurs et cela, dans un contexte de rareté de la nourriture (Boucher *et al.* 2004). À cette pression sélective pour économiser de l'énergie s'ajoute celle créée par le climat dans lequel ces animaux évoluent. Dans ce contexte, notre hypothèse de départ selon laquelle les cerfs de la zone 20 profiteraient d'un pelage plus résistant à la température que ceux des autres secteurs était plausible. Il nous a été impossible d'identifier des différences régionales à cet égard.

La fourrure des cerfs de la zone 2 était plus dense que celles des 2 autres secteurs et leur peau était plus épaisse. Toutefois ces différences ne se sont pas traduites par une amélioration mesurable de la résistance à la température. Elles pourraient plutôt être le reflet de leur plus grande taille et/ou d'une meilleure nutrition.

Jacobsen (1980) a comparé les propriétés isolantes des pelages d'été et d'hiver chez le cerf de Virginie. Ses résultats démontrent une résistance à la température de la combinaison peau et fourrure d'hiver trois fois plus grande que celle mesurée pour l'été, des différences de la même ampleur que celles trouvées par nos travaux. La résistance à la température de la peau s'ajoute à celle de la fourrure. Bubenik (1996) a trouvé une relation inverse entre l'épaisseur de l'épiderme et la capacité isolante de la fourrure, les pattes étant la partie du corps avec la fourrure la plus mince mais la peau la plus épaisse. Nos résultats indiquent peu de changements saisonniers des propriétés isolantes de la peau et l'amélioration de résistance thermique que nous observons est essentiellement produite par les changements à la fourrure.

Les adaptations au climat pourraient se faire, non pas en regard des températures moyennes minimales et maximales tel que nous l'avons prévu, mais en réaction aux températures extrêmes. Les températures hivernales les plus froides enregistrées

aux stations météorologiques les plus près de nos aires d'études sont du sud vers le nord - 37,0 °C, - 37,8 °C et - 43,3 °C, alors que les plus chaudes sont 17,5 °C, 11,0 °C et 22,2 °C. (Environnement Canada 2004, stations de Granby, Notre-Dame-du-Lac et Sept-Îles). La température minimale critique pour les faons de cerfs de Virginie varie de - 10 °C à - 21 °C (Jensen *et al.* 1999). Parker et Robbins (1984) considèrent que le cerf mulet (*Odocoileus hemionus*), une espèce similaire en taille, atteint la neutralité thermique lorsque la température de son environnement varie entre 5 °C et - 20 °C. La température chute régulièrement sous les - 20 °C partout dans l'aire de répartition du cerf au Québec. Les cerfs doivent alors faire appel à des mécanismes comportementaux et physiologiques. Les cerfs muets (Parker et Robbins 1984) tout comme les orignaux (*Alces alces*, Renecker *et al.* 1978) utilisent la piloérection et les tremblements pour maintenir leur température constante dans ces circonstances. Du point de vue comportemental, les cerfs se couchent avec les pattes repliées sous eux et la tête tournée le long du flanc pour réduire la surface corporelle exposée à l'air froid (Holter *et al.* 1975). Leur pelage absorbe les rayons du soleil et ils chercheront à en tirer avantage si ce dernier est présent.

Durant l'hiver, les cerfs doivent aussi évacuer les surplus de chaleur lors d'épisodes de température chaude ou de périodes d'exercice intense. Ce besoin impose potentiellement une limite supérieure à la capacité isolante du pelage (Steudel *et al.* 1994). On a démontré que l'orignal est plus stressé par la chaleur que par le froid durant l'hiver (Renecker et Hudson 1986). Durant les périodes chaudes de l'été, il fuit la chaleur en cherchant refuge sous le couvert forestier et en augmentant la proportion nocturne de ses activités (Dussault *et al.* 2004). À ces adaptations comportementales s'ajoutent des mécanismes physiologiques. Des glandes sudoripares sont mises à contribution et la fréquence respiratoire augmentée jusqu'au halètement lorsque le besoin de thermorégulation est grand (Holter *et al.* 1975; Parker et Robbins 1984; Renecker et Hudson 1986).

## **6. CONCLUSION**

Nos analyses ont été réalisées avec un ensemble de données très limité. Toutefois, l'absence de différence significative régionale, ni même de tendance à cet effet dans nos résultats, suggère qu'il n'existe pas ou peu d'adaptation de la capacité isolante de la fourrure à l'échelle du Québec. Malgré des accumulations de neige très différentes dans nos aires d'études, les écarts de température sont modestes pour un animal à l'aire de répartition aussi étendue et diversifiée. L'étude de ces mécanismes nécessite vraisemblablement une échelle de travail beaucoup plus grande.

## **REMERCIEMENTS**

Nous remercions R. Bélanger, J. Boisvert, B. Deschamps et M. Desrochers de nous avoir favorisé l'accès à des carcasses de cerfs. J. Bachand, C. Bélanger, N. Bergeron, E. Jeanson et D. Morin sont responsables de la récolte des échantillons. Les analyses de laboratoire ont été réalisées par L.-M. Thériault, alors que G. Daigle et D. Gendron du Service de consultation statistique de l'Université Laval ont effectué le traitement statistique des données. Cette étude a été supportée financièrement par le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, les fonds pour la formation de chercheurs et l'aide à la recherche (FCAR) et le Conseil de recherches en sciences naturelles et génie du Canada (CRSNG).

## RÉFÉRENCES

- BOUCHER, S., M. CRÊTE, J.P. OUELLET, C. DAIGLE et L. LESAGE. 2004. Large-scale trophic interactions : white-tailed deer growth and forest understory. *Écoscience* 11 : 286-295.
- BUBENIK, G. A. 1996. Morphological investigations of the winter coat in white-tailed deer : differences in skin, glands and hair structure of various body regions. *Acta Theriologica* 41 : 73-82.
- CRÊTE, M. et C. DAIGLE. 1999. Management of indigenous North American deer at the end of the 20th century in relation to large predators and primary productivity. *Acta Veterinaria Hungarica* 47 : 1-16.
- DEGEN, A.A. et M. KAM. 1995. Scaling of field metabolic rate to basal metabolic rate ratio in homeotherms. *Écoscience* 2 : 48-54.
- DUSSAULT, C., J.P. OUELLET, R. COURTOIS, J. HUOT, L. BRETON et J. LAROCHELLE. 2004. Behavioural responses of moose to thermal conditions in the boreal forest. *Écoscience* 11 : 321-328.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 2004. On line climatic statistics : <http://www.climat.meteo.ec.ca/climate>
- GEIST, V. 1987. Bergmann's rule is invalid. *Canadian Journal of Zoology* 65 : 1035-1038.
- HOLTER, J. B., W. E. URBAN JR., H.H HAYES, H. SILVER et H.R. SKUTT. 1975. Ambient temperature effects on physiological traits of white-tailed deer. *Canadian Journal of Zoology* 53 : 679-685.
- JENSEN, P. G., P.J. PEKINS et J.B. HOLTER. 1999. Compensatory effect of the heat increment of feeding on thermoregulation costs of white-tailed deer fawns in winter. *Canadian Journal of Zoology* 77 : 1474-1485.
- JACOBSEN, N. K. 1980. Differences of thermal properties of white-tailed deer pelage between seasons and body regions. *Journal of Thermal Biology* 5 : 151-158.
- LESAGE, L., M. CRÊTE, J. HUOT et J.P. OUELLET. 2000. Quality of plant species utilized by northern white-tailed deer along a climatic gradient. *Écoscience* 7 : 439-451.
- LESAGE, L., M. CRÊTE, J. HUOT et J.P. OUELLET. 2001. Evidence for a trade-off between growth and body reserves in northern white-tailed deer. *Oecologia* 126 : 30-41.
- PARKER, K. L. et C.T. ROBBINS. 1984. Thermoregulation in mule deer and elk. *Canadian Journal of Zoology* 62 : 1409-1422.

- RENECKER, L. A. et R.J. HUDSON. 1986. Seasonal energy expenditures and thermoregulatory responses of moose. *Canadian Journal of Zoology* 64 : 322-327.
- RENECKER, L. A., R.J. HUDSON, M.K. CHRISTOPHERSEN et C. ARELIS. 1978. Effect of posture, feeding, low temperature, and wind on energy expenditures of moose calves. *Proceedings of the North American Moose Conference and Workshop* 14 : 126-140.
- SAS INSTITUTE INC. 1999. SAS/STAT user's guide, version 8. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- STEUDEL, K., W.P. PORTER et D. SHER. 1994. The biophysics of Bergmann's rule : a comparison of the effects of pelage and body size variation on metabolic rate. *Canadian Journal of Zoology* 72 : 70-77.