

Direction du développement de la faune

**CROISSANCE, DIMORPHISME SEXUEL ET VARIABILITÉ MORPHOMÉTRIQUE  
DU CRÂNE ENTRE DIFFÉRENTES POPULATIONS DE LYNX DU CANADA  
(*LYNX CANADENSIS*) AU QUÉBEC**

par

Mélina Houle

et

Steeve D. Côté

Département de biologie, Université Laval, Québec

pour

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Mars 2005

Référence à citer :

---

HOULE, M. et S. D. CÔTÉ. 2005. Croissance, dimorphisme sexuel et variabilité morphométrique du crâne entre différentes populations de lynx du Canada (*Lynx canadensis*) au Québec. Université Laval, Département de biologie, pour le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 24 p.

---

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec  
ISBN: 2-550-44088-9

## RÉSUMÉ

L'apparition du dimorphisme sexuel chez les vertébrés supérieurs peut résulter de pressions de sélection différentes chez les mâles et les femelles. Une croissance rapide chez les femelles favoriserait un âge hâtif à la première reproduction, alors qu'une période de croissance plus longue favoriserait l'atteinte d'une taille corporelle plus grande chez les mâles, pouvant augmenter ainsi leur succès reproducteur. Nous avons comparé les variations craniométriques de 125 lynx du Canada, capturés en 1998-99 et répartis dans cinq grandes régions couvrant tout le Québec, en utilisant 25 mesures du crâne et de la mandibule. Nous avons également utilisé cinq mesures du crâne et de la mandibule de 214 individus récoltés en 1981-82 sur la Côte-Nord. La croissance des os du crâne était terminée à 3,5 ans chez les mâles alors que chez les femelles, certains os avaient terminé leur croissance dès 2,5 ans. Nous avons identifié un dimorphisme sexuel moyen de 4,2 % en faveur des mâles. Étant donné ce dimorphisme, nous avons traité les mâles et les femelles séparément. Par des analyses multivariées sur les cinq mesures du crâne et de la mandibule, nous avons identifié une différence entre les individus nés de 1974 à 1980 et ceux nés de 1991 à 1997, mais il n'y avait aucune différence entre les cohortes de ces deux groupes d'années analysés individuellement. Les crânes des mâles nés de 1974 à 1980 étaient plus petits que ceux des mâles nés de 1991 à 1997. Aucune différence entre les régions n'a été identifiée à la suite d'une analyse en composantes principales (ACP) des mesures crâniennes, suivie d'analyses de la variance à un facteur sur les valeurs propres (eigenvalues) des deux premiers axes de l'ACP. Bien que la morphologie des crânes ne variait pas selon les régions, une estimation de la variabilité génétique des populations du Québec et du nord-est des États-Unis nous permettrait de mieux évaluer la diversité et la structure des populations de lynx du Canada de cette région.



**TABLE DES MATIÈRES**

	Page
RÉSUMÉ .....	iii
TABLE DES MATIÈRES .....	v
LISTE DES TABLEAUX .....	vi
LISTE DES FIGURES .....	vii
1. INTRODUCTION .....	1
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES .....	4
2.1. Préparation des crânes .....	4
2.2. Mesures crâniennes .....	4
2.3. Analyses statistiques .....	8
3. RÉSULTATS .....	9
3.1. La croissance .....	9
3.2. Variabilité entre les régions .....	13
4. DISCUSSION .....	17
4.1. La croissance .....	17
4.2. Variabilité entre les régions .....	18
5. CONCLUSION .....	20
REMERCIEMENTS .....	21
LISTE DES RÉFÉRENCES .....	22

## LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1. Régressions polynomiales du second degré montrant l'âge auquel la taille asymptotique de différentes mesures crâniennes est atteinte chez le lynx du Canada. Une différence significative indique que la taille adulte n'est pas encore atteinte.....	10
Tableau 2. Taille moyenne ( $\pm$ erreur standard) des mesures crâniennes du lynx du Canada du Québec montrant la présence d'un dimorphisme sexuel en faveur des mâles. Les résidus des régressions polynomiales entre les mesures crâniennes et l'âge ont été utilisés lors des tests de $t$ afin de corriger l'effet de l'âge. ....	11
Tableau 3. Vecteurs propres (eigenvectors) provenant de l'analyse en composantes principales des mesures crâniennes de 125 lynx du Canada capturés sur l'ensemble du Québec en 1998-99. La légende des mesures se retrouve dans le texte de la section 2.2. Les analyses ont été effectuées séparément pour les mâles et les femelles puisque la taille et la croissance du crâne varient selon le sexe.....	15

**LISTE DES FIGURES**

	Page
Figure 1. Distribution géographique des spécimens de lynx du Canada récoltés sur le territoire québécois durant les saisons de piégeage 1981-82 et 1998-99. ....	5
Figure 2. Mesures crâniennes, mandibulaires et dentales effectuées sur les spécimens de lynx du Canada du Québec. La légende pour chacune des mesures se trouve dans le texte de la section 2.2.....	7
Figure 3. Croissance des os du crâne chez le lynx du Canada du Québec (moyenne $\pm$ erreur standard). Les mâles sont représentés par les cercles noirs et les femelles par les triangles blancs.....	12
Figure 4. Analyse en composantes principales (ACP) des mesures crâniennes de lynx du Canada provenant de cinq régions du Québec. La proportion de la variance expliquée par chacun des axes est exprimée entre parenthèses. ....	16



## 1. INTRODUCTION

Les écosystèmes boréaux de l'Amérique du Nord constituent un lieu de prédilection naturel pour observer les interactions des mésocarnivores avec leur environnement. La destruction et la dégradation de leur habitat ainsi que les activités de piégeage, qui ont été parfois irrégulières et incontrôlées sur le continent ont, par contre, fait que plusieurs d'entre eux sont aujourd'hui menacés dans certaines régions, notamment le lynx du Canada (*Lynx canadensis*) au nord-est des États-Unis (US Fish and Wildlife Service 2000; Hoving *et al.* 2003). Dans ce cas, la diminution de l'abondance du lynx serait due à une surexploitation par le piégeage et à une perte d'habitat engendrée par les activités de l'homme (Fortin et Tardif 2003). C'est pourquoi, en mars 2000, le « US Fish and Wildlife Service » a considéré le lynx du Canada comme une espèce vulnérable et l'a inclus sous la protection du traité concernant les espèces menacées (US Fish and Wildlife Service 2000).

À l'opposé, des données récentes indiquent que les populations du nord, comme celles du reste du Canada et de l'Alaska, sont stables et non menacées (Poole 2003; Fortin et Tardif 2003). En 1995, le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec a pris l'initiative de produire et de mettre en vigueur un plan de gestion limitant le nombre de prises de lynx du Canada par piégeur et produisant des estimés d'abondance par région (MEF 1995). Ceci a eu pour effet de favoriser la conservation et la mise en valeur de l'espèce tout en tenant compte des retombées socioéconomiques qu'elles engendrent dans les régions. Actuellement, le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) propose de retirer cette espèce de la liste des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables à cause de la stabilité et de l'abondance des populations au Québec (Fortin et Tardif 2003).

Étant donné l'abondance relativement élevée du lynx du Canada au Québec, la province a été identifiée comme une source possible pour la réintroduction du lynx dans le nord-est des États-Unis. Advenant la possibilité de réintroduire le lynx du Canada en territoire américain par des individus provenant du Québec, les variations morphologiques et génétiques de cette espèce dans les différentes régions du Québec devront être connues. Par

exemple, le fleuve Saint-Laurent agit-il comme une barrière géographique et les populations de lynx du Canada au nord et au sud du fleuve sont-elles différentes ? Il apparaît donc essentiel de déterminer la diversité de ces populations, autant au niveau morphologique que génétique, pour être en mesure de proposer des plans de réintroduction éclairés.

Le lynx du Canada peut se disperser jusqu'à une distance de 1 000 km lorsque les populations de proies sont à la baisse (Brand *et al.* 1976; Mech 1980; Parker *et al.* 1983; Ward et Krebs 1985). Étant donné la possibilité de ces larges mouvements entre les populations, on peut se demander si les populations du Québec constituent, en fait, une métapopulation homogène comme le proposent certaines études (US Fish and Wildlife Service 2000). Cependant, des travaux récents suggèrent des différences significatives de l'ADN mitochondrial et de l'ADN nucléaire du lynx du Canada entre le nord et le sud du fleuve Saint-Laurent (Rueness *et al.* 2003). Cette étude indique que le fleuve joue probablement un rôle important, constituant possiblement une barrière écologique empêchant le flux génique entre les différentes populations.

Aucune dispersion du lynx du Canada entre les rives du Saint-Laurent n'a été documentée jusqu'à présent (C. Fortin, comm. pers.<sup>1</sup>). Par contre, il semblerait y avoir un échange limité entre les individus des populations du nord du fleuve et celles du sud du Québec (US Fish and Wildlife Service 2000). Les individus du sud du fleuve pourraient donc ne pas subir les mêmes pressions de sélection que ceux du nord du fleuve si leur niche écologique varie. Bien que le lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*) constitue la principale prise du lynx, des divergences dans le type de proies chassées pourraient engendrer des variations entre les différentes populations du Québec que l'on pourrait éventuellement détecter par la morphologie crânienne. Plusieurs études connexes portant, par exemple, sur la variation de la morphologie du crâne chez l'ours brun (*Ursus arctos*; Chestin et Mikeskina 1998) et la différenciation des deux sous-espèces de lynx à Terre-Neuve (van Zyll de Jong 1975) ont utilisé la morphologie crânienne comme méthode d'analyse des différences entre les

---

<sup>1</sup> C. Fortin, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

populations ou entre les sous-espèces. En sélectionnant bien les paramètres, il est possible de détecter des variations de taille entre les populations (Werdelin 1983).

La croissance des os du crâne chez le lynx du Canada peut varier entre les mâles et les femelles. Chez la plupart des carnivores, les femelles semblent terminer leur croissance plus tôt que les mâles, engendrant ainsi l'apparition d'un dimorphisme sexuel (Kennedy *et al.* 2003). Deux hypothèses expliquant le dimorphisme sexuel ont été proposées. Premièrement, une allocation différentielle des ressources chez les deux sexes permettrait aux femelles d'investir plus tôt que les mâles dans la reproduction, ces derniers poursuivant leur croissance plus longtemps, car la compétition intra-sexuelle avantage les mâles de plus grande taille durant la période de reproduction (Weckerly 1998). Deuxièmement, l'exploitation de différentes niches écologiques chez les deux sexes pourrait limiter la compétition inter-sexuelle (Dobson et Wigginton 1996; Weckerly 1998; Abramov et Tumanov 2003; Kennedy *et al.* 2003). Finalement, les variations morphologiques à l'âge adulte entre des individus nés lors d'années différentes pourraient également être le résultat de la variation annuelle des facteurs environnementaux affectant la condition de la femelle avant et pendant sa gestation et celle de l'individu durant sa période de croissance (Mech *et al.* 1991; Saether et Heim 1993).

L'objectif principal de cette étude était de déterminer s'il existe des variations dans la morphologie du crâne chez le lynx du Canada entre les grandes régions du Québec. Un sous-objectif de notre étude était d'étudier la croissance des os du crâne chez le lynx du Canada et de déterminer l'âge auquel la taille adulte était atteinte. Nous avons également vérifié s'il existait un dimorphisme sexuel au niveau des os crâniens chez le lynx du Canada au Québec et si la taille des os du crâne variait chez les individus provenant de cohortes différentes.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1. Préparation des crânes

Un échantillon de 125 crânes de lynx du Canada, provenant de six régions administratives du Québec (figure 1), a été récolté par la Société de la faune et des parcs du Québec (FAPAQ) entre octobre 1998 et mars 1999 durant les saisons de piégeage régulières. Les crânes ont été congelés. Ils ont par la suite été dégelés, écerclés et préparés pour les mesures. Les crânes ont séché à la température de la pièce pendant environ une semaine avant la prise des mesures. L'âge de chacun des spécimens a été déterminé en 2003 par la lecture des anneaux de ciment des dents (Matson Laboratory, Montana, USA). Les échantillons étaient bien répartis entre les différentes régions et entre les sexes (figure 1). Pour les fins d'analyse, nous avons regroupé les échantillons provenant de la région de la Capitale-Nationale (03) et de la région de la Mauricie (04), ce qui donne finalement cinq grandes régions.

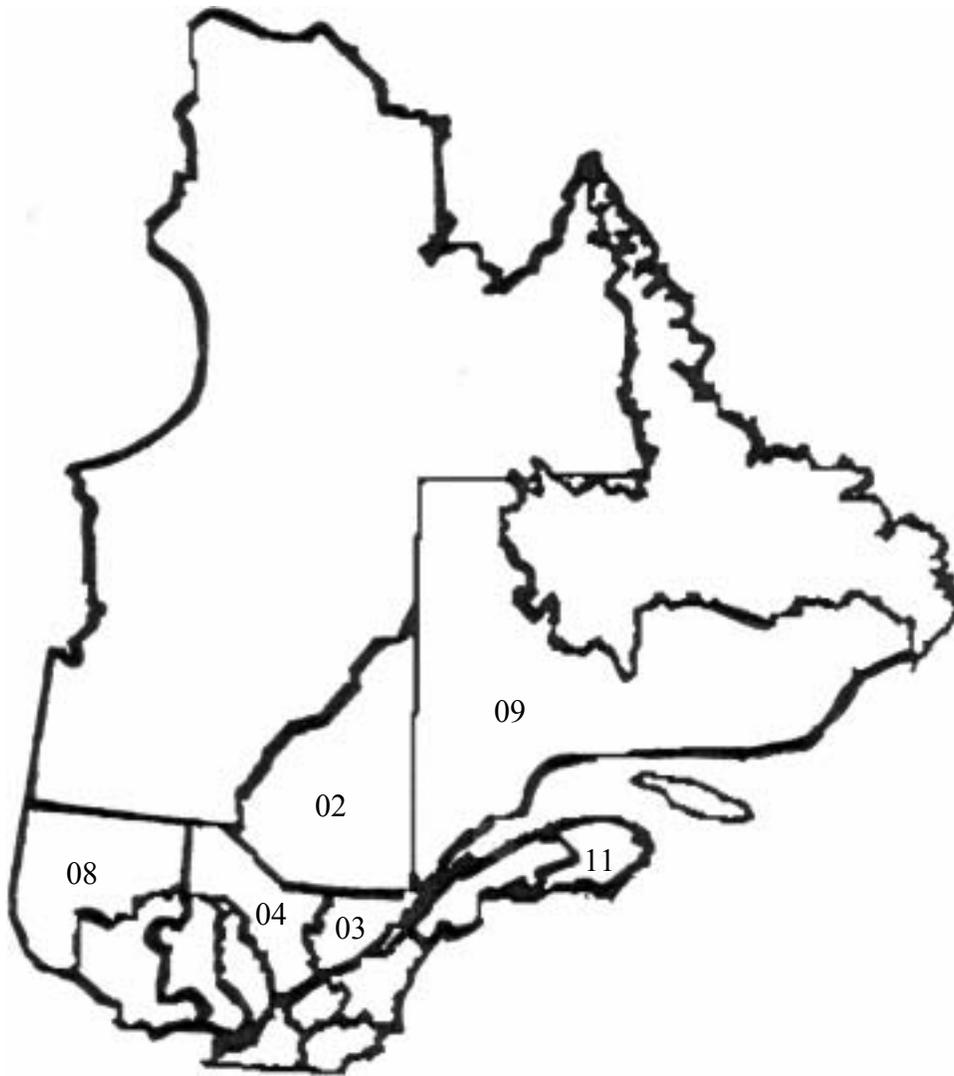
Nous avons également utilisé 214 spécimens d'une autre collection de crânes de lynx du Canada prélevés sur la Côte-Nord en 1981 et 1982 et dont l'âge et le sexe de chacun des individus étaient connus par la lecture des anneaux de ciment (Banville 1986). L'os pré-phénoïde, situé sur la face inférieure du crâne, a permis de vérifier que tous les crânes étaient bien des lynx du Canada, étant donné que le lynx roux (*Lynx rufus*) ne possède pas cet os (C. Barrette, comm. pers. <sup>1</sup>).

### 2.2. Mesures crâniennes

Nous avons mesuré les crânes de chaque spécimen selon les standards établis par Von Den Driesch (1976). À partir de la revue des études antérieures sur la morphologie crânienne des félidés (Saunders 1964; van Zyll de Jong 1975; Werdelin 1981, 1983; Beltran et Delibes 1993; Vicioso et de Lope Rebollo 1994; Little 1999; García-Perea 2002), nous

---

<sup>1</sup> C. Barrette, Université Laval



Région	Année de récolte	Nombre d'individus récoltés		
		Mâles	Femelles	Total
Gaspésie – Îles-de-la-Madeleine(11)	1998-99	15	13	28
Abitibi-Témiscamingue (08)	1998-99	12	12	24
Côte-Nord (09)	1981-82	108	106	214
Côte-Nord (09)	1998-99	12	16	28
Capitale-Nationale/Mauricie (03-04)	1998-99	10	11	21
Saguenay–Lac-Saint-Jean (02)	1998-99	12	12	24
<b>Total</b>		<b>169</b>	<b>170</b>	<b>339</b>

Figure 1. Distribution géographique des spécimens de lynx du Canada récoltés sur le territoire québécois durant les saisons de piégeage 1981-82 et 1998-99.

avons sélectionné les paramètres les plus représentatifs de la grandeur et de la forme du crâne. Pour les analyses de la croissance et des effets de cohorte, nous avons choisi cinq variables représentant le mieux la croissance du crâne, soit la longueur condylobasale (CBL), la largeur mastoïdienne (MB), la largeur zygomatique (ZyL), la longueur de la mandibule (MNL) et la largeur de la mandibule (CAW) et les avons mesurées sur les 339 crânes (figure 2). Les mesures crâniennes, dentales et mandibulaires sélectionnées ont été prises à l'aide d'un pied à coulisse numérique de précision  $\pm 0,01$  mm.

Pour analyser la variabilité selon les régions géographiques, nous avons aussi mesuré les caractéristiques suivantes sur les 125 spécimens récoltés en 1998-99 : la longueur palatale (PL), la longueur post-palatale (PPL), la largeur post-orbitale (PCB), la largeur inter-orbitale (IOL), la largeur entre les condyles occipitaux (CoB), la largeur du foramen magnum (FmB), la hauteur du foramen magnum (FmH), la longueur du maxillaire (MXL), la largeur entre les canines supérieures (C1L), la longueur de la prémolaire 4 (P4L), la largeur de la canine supérieure (C1W), la largeur de la prémolaire 4 (P4W), la hauteur de la mandibule derrière  $M_1$  (HMm1), la hauteur de la mandibule au niveau du ramus (HMR), la largeur de la canine inférieure (c1W), la longueur de  $M_1$  (m1L), la longueur combinée de  $P_4$  et  $M_1$  (p4m1) et la largeur du condyle de l'articulation (CAB) (figure 2).

La masse du crâne et de la mandibule ont été mesurées avec une balance Sartorius, modèle BP110 de précision  $\pm 0,001$ g. Les mesures ont toutes été prises par le même observateur (MH) afin de minimiser l'erreur de mesure. Un sous-échantillon de 10 crânes a été remesuré un mois suivant la prise des données initiales pour vérifier la précision des mesures. Nous avons mesuré de nouveau la largeur mastoïdienne, la largeur zygomatique, la longueur condylobasale et la largeur et la longueur de la mâchoire. Cet exercice a permis de déterminer une variance moyenne très faible, de l'ordre de 0,01 mm, entre les deux séries de mesures pour l'ensemble des cinq paramètres mesurés à deux reprises. Nous n'avons donc pas considéré d'erreur de mesure dans les analyses subséquentes.

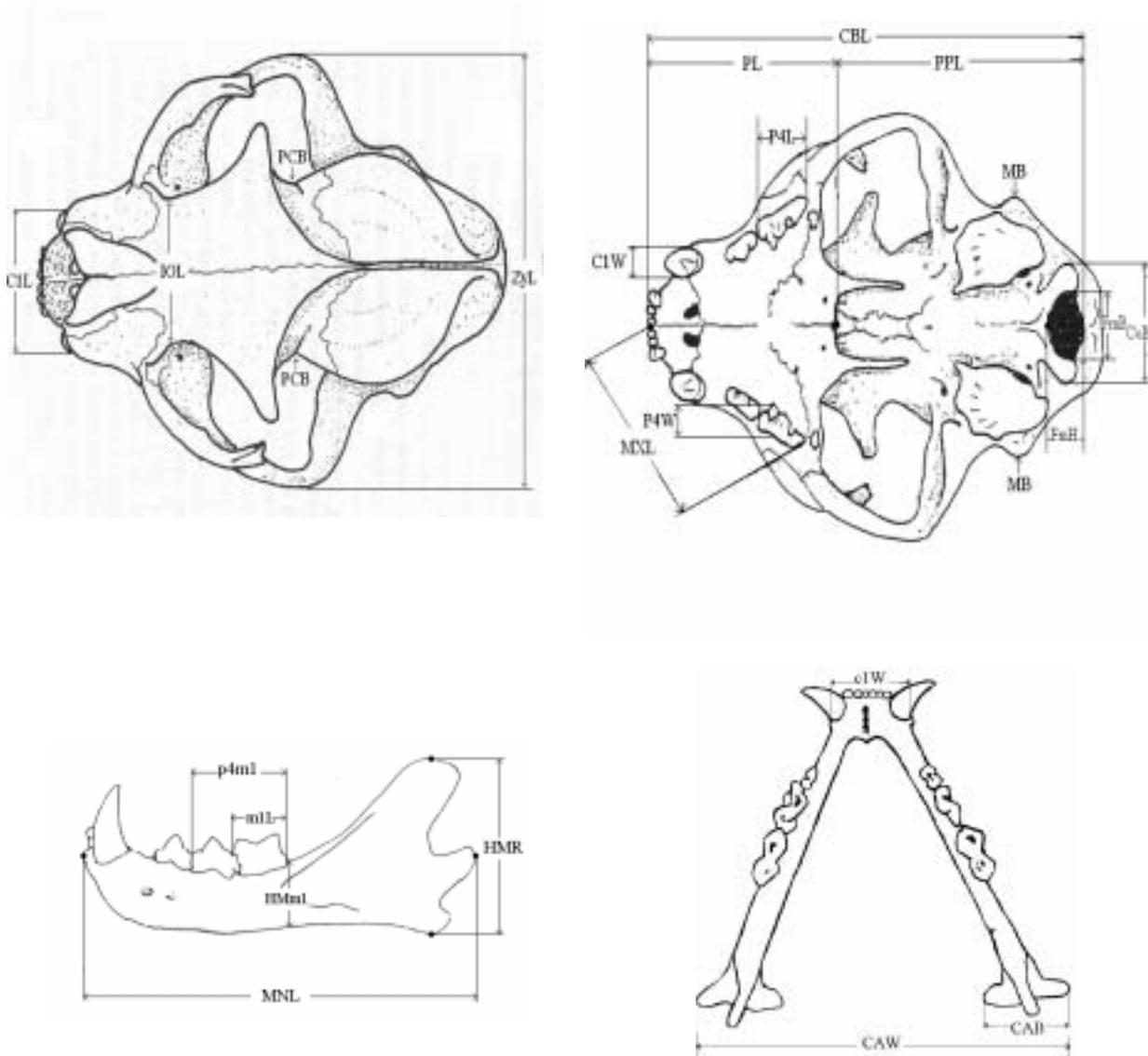


Figure 2. Mesures crâniennes, mandibulaires et dentales effectuées sur les spécimens de lynx du Canada du Québec. La légende pour chacune des mesures se trouve dans le texte de la section 2.2.

### 2.3. Analyses statistiques

Compte tenu de la présence d'un dimorphisme sexuel chez le lynx du Canada, tel que démontré par les résultats (réf. Section 3.1), nous avons traité séparément les mâles et les femelles. Des régressions polynomiales du second degré ont permis de déterminer l'âge auquel les paramètres crâniens cessaient de croître. Pour tester s'il y avait présence de dimorphisme sexuel, nous avons comparé les résidus des régressions polynomiales du second degré des mesures crâniennes avec l'âge entre les mâles et les femelles en utilisant des tests de  $t$ . L'effet de l'âge était ainsi pris en compte.

Nous avons également vérifié, par des analyses multivariées sur les résidus obtenus par régressions polynomiales du second degré entre les mesures crâniennes et l'âge, la variabilité des paramètres crâniens associée à l'année de naissance. Par des tests de Hotelling, nous avons comparé les différentes mesures crâniennes de façon dépendante étant donné qu'elles sont toutes liées, c'est-à-dire que si une mesure augmente, la probabilité qu'une autre mesure crânienne augmente est différente de zéro (Zar 1984). Ces analyses ont été exécutées avec le logiciel SAS<sup>1</sup>. Les variations morphologiques du crâne entre les différentes régions ont été étudiées en utilisant des analyses en composantes principales (ACP). Cette méthode consiste à minimiser le nombre de variables dépendantes et ayant donc des coefficients de corrélation non nuls en construisant de nouvelles variables synthétiques qui sont obtenues en combinant les valeurs initiales en facteurs (Ludwig et Reynolds 1988). Des analyses de variance (ANOVA) ont ensuite été utilisées pour tester s'il existait des différences entre les cinq régions du Québec sur les valeurs obtenues par l'analyse en composantes principales. Les ACP ont été exécutées à l'aide du logiciel JMP<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> SAS/STAT<sup>®</sup>, version 8.2. Copyright 1999-2001, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.

<sup>2</sup> JMP<sup>®</sup>, version 4.0, Copyright 1989-2000, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. La croissance

Afin de vérifier les effets de l'âge sur la croissance des os du crâne, nous avons regroupé l'échantillon provenant de la saison de piégeage de 1981-82 sur la Côte-Nord ( $n = 214$ ) et celui de 125 spécimens provenant de cinq régions du Québec. Nous voulions déterminer l'âge auquel les paramètres crâniens atteignaient une taille asymptotique chez le lynx du Canada. Nous avons déterminé par régressions polynomiales du second degré que chez les mâles, la taille asymptotique du crâne est atteinte à 3,5 ans (tableau 1, figure 3). Chez les femelles, la largeur mastoïdienne et la longueur condylobasale ont terminé leur croissance à 2,5 ans alors que la largeur et la longueur de la mandibule cessent de croître à partir de 3,5 ans. De manière surprenante, la largeur zygomatique chez les femelles cesse de croître à 4,5 ans (tableau 1, figure 3).

En utilisant les cinq mesures prises sur tous les spécimens, nous avons trouvé un dimorphisme sexuel moyen de 4,2 % de la taille du crâne chez le lynx du Canada en faveur des mâles (tableau 2, figure 3).

Lorsque tous les crânes étaient utilisés, les tests de Hotelling ont révélé un effet « année » chez les mâles seulement (mâles :  $F_{56,404} = 1,48$ ,  $P = 0,02$ ; femelles :  $F_{68,427} = 1,18$ ,  $P = 0,2$ ). Nous avons ensuite séparé notre échantillon en deux classes, soit les individus nés entre 1974 et 1980 et capturés en 1981-82 et ceux nés entre 1991 et 1997 et capturés en 1998-99. Aucun effet « année » n'a été identifié dans chacune des deux classes prises séparément (mâles nés entre 1974 et 1980 :  $F_{6,108} = 0,84$ ,  $P = 0,7$ ; mâles nés entre 1991 et 1997 :  $F_{6,56} = 0,74$ ,  $P = 0,8$ ; femelles nées entre 1974 et 1980 :  $F_{6,106} = 0,91$ ,  $P = 0,6$ ; femelles nées entre 1991 et 1997 :  $F_{6,52} = 0,40$ ,  $P = 1,0$ ). Nous avons cependant trouvé que les individus différaient lors des deux périodes chez les deux sexes

Tableau 1. Régressions polynomiales du second degré montrant l'âge auquel la taille asymptotique de différentes mesures crâniennes est atteinte chez le lynx du Canada. Une différence significative indique que la taille adulte n'est pas encore atteinte.

Mesures	Âge (années)	Sexe	<i>F</i>	<i>n</i>	<i>P</i>
Largeur mastoïdienne	≥ 1,5	Mâle	9,8	158	< 0,0001
		Femelle	7,9	154	0,0005
	≥ 2,5	Mâle	3,1	119	0,045
		Femelle	1,6	125	0,2
	≥ 3,5	Mâle	0,4	94	0,7
		Femelle	0,3	99	0,7
Largeur zygomatique	≥ 1,5	Mâle	14,3	157	< 0,0001
		Femelle	24,8	155	< 0,0001
	≥ 2,5	Mâle	5,6	119	0,005
		Femelle	14,7	125	< 0,0001
	≥ 3,5	Mâle	1,2	90	0,3
		Femelle	4,0	99	0,02
	≥ 4,5	Mâle	1,4	63	0,3
		Femelle	2,5	66	0,09
Longueur condylobasale	≥ 1,5	Mâle	20,7	157	< 0,0001
		Femelle	14,2	155	< 0,0001
	≥ 2,5	Mâle	4,2	118	0,02
		Femelle	2,3	125	0,1
	≥ 3,5	Mâle	1,2	90	0,3
		Femelle	0,6	99	0,6
Largeur de la mandibule	≥ 1,5	Mâle	34,9	103	< 0,0001
		Femelle	24,1	104	< 0,0001
	≥ 2,5	Mâle	8,9	94	0,0003
		Femelle	9,3	99	0,0002
	≥ 3,5	Mâle	2,1	74	0,1
		Femelle	1,4	78	0,2
Longueur de la mandibule	≥ 1,5	Mâle	15,6	159	< 0,0001
		Femelle	21,5	156	< 0,0001
	≥ 2,5	Mâle	3,8	118	0,02
		Femelle	6,8	126	0,002
	≥ 3,5	Mâle	0,5	89	0,6
		Femelle	1,4	100	0,3

Tableau 2. Taille moyenne ( $\pm$  erreur standard) des mesures crâniennes du lynx du Canada du Québec montrant la présence d'un dimorphisme sexuel en faveur des mâles. Les résidus des régressions polynomiales entre les mesures crâniennes et l'âge ont été utilisés lors des tests de  $t$  afin de corriger l'effet de l'âge.

Mesures	Sexe	$n^*$	Taille moyenne (mm) $\pm$ ES	% Dimorphisme sexuel	$t$	$P$
Largeur mastoïdienne	Mâle	166	54,4 $\pm$ 0,1	4,2	13,6	< 0,0001
	Femelle	164	52,2 $\pm$ 0,1			
Largeur zygomatique	Mâle	166	88,7 $\pm$ 0,2	2,9	7,6	< 0,0001
	Femelle	165	86,2 $\pm$ 0,2			
Longueur condylobasale	Mâle	165	119,2 $\pm$ 0,3	4,0	12,1	< 0,0001
	Femelle	166	114,6 $\pm$ 0,3			
Largeur de la mandibule	Mâle	160	77,9 $\pm$ 0,5	3,8	4,9	< 0,0001
	Femelle	162	75,0 $\pm$ 0,5			
Longueur de la mandibule	Mâle	99	84,5 $\pm$ 0,3	3,5	9,3	< 0,0001
	Femelle	101	81,2 $\pm$ 0,3			

\*  $n$  varie d'une mesure à l'autre selon la qualité du spécimen

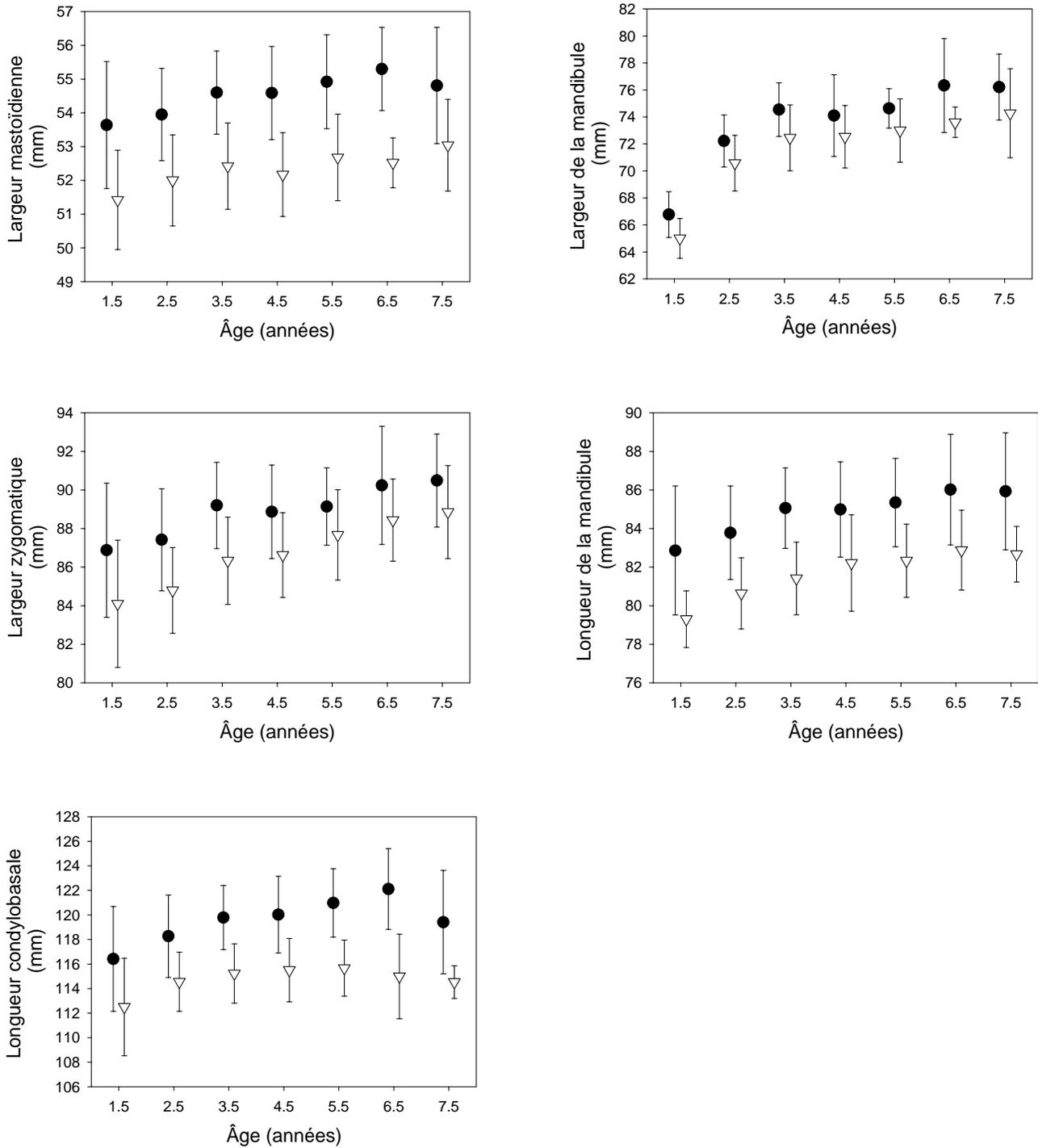


Figure 3. Croissance des os du crâne chez le lynx du Canada du Québec (moyenne  $\pm$  erreur standard). Les mâles sont représentés par les cercles noirs et les femelles par les triangles blancs.

(mâles :  $F_{4,152} = 7,19$ ,  $P \leq 0,0001$  ; femelles :  $F_{4,150} = 2,93$ ,  $P = 0,02$ ). Les mâles nés entre 1974 et 1980 étaient significativement plus petits que ceux nés entre 1991 et 1997 pour trois des quatre mesures testées (MB :  $F = 0,09$ ,  $P = 0,8$ ; ZyL :  $F = 10,38$ ,  $P = 0,002$ ; CBL :  $F = 4,66$ ,  $P = 0,03$ ; MNL :  $F = 4,66$ ,  $P = 0,03$ ). Pour les femelles, aucune mesure prise individuellement n'était significative (MB :  $F = 1,30$ ,  $P = 0,3$ ; ZyL :  $F = 1,58$ ,  $P = 0,2$ ; CBL :  $F = 0,01$ ,  $P = 1,0$ ; MNL :  $F = 0,02$ ,  $P = 0,9$ ).

### 3.2. Variabilité entre les régions

Pour étudier la variabilité entre les régions, nous avons seulement utilisé les spécimens récoltés en 1998-99, car ceux de 1981-82 n'avaient été récoltés que sur la Côte-Nord. Nous avons effectué des analyses en composantes principales sur les valeurs corrigées pour l'âge en utilisant les résidus des régressions polynomiales du second degré entre les mesures crâniennes et l'âge.

Les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales sur les mesures crâniennes expliquaient 61,6 % de la variance totale parmi les mâles et 57,1 % parmi les femelles (tableau 3). Chez les deux sexes, le premier axe représentait la variation des mesures structurales, comme par exemple la longueur condylobasale et la largeur zygomatique, et était corrélé négativement à la hauteur du *foramen magnum*. Le premier axe expliquait à lui seul 49,6 % de la variance chez les mâles et 45,9 % chez les femelles (tableau 3). Les mesures structurales et la hauteur du *foramen magnum* sont corrélées négativement car l'allongement du crâne chez le lynx crée un aplatissement de l'ouverture du *foramen magnum*. Le deuxième axe représentait la variation des dimensions des dents qui était corrélée négativement à la variation des mesures structurales (tableau 3).

Nous avons d'abord séparé notre échantillon en deux régions, soit les individus récoltés au nord du fleuve Saint-Laurent (Saguenay - Lac-Saint-Jean, Capitale-Nationale/Mauricie, Abitibi-Témiscamingue et Côte-Nord) et ceux récoltés au sud (Gaspésie - Îles-de-la-Madeleine), afin de vérifier si le fleuve jouait un rôle de barrière géographique empêchant les échanges entre les populations. Aucun effet de la région n'a été détecté sur les deux

axes, autant pour les mâles (ACP1 :  $t_{44} = 0,59$ ,  $P = 0,6$ ; ACP2 :  $t_{44} = -0,15$ ,  $P = 0,9$ ) que pour les femelles (ACP1 :  $t_{54} = 1,10$ ,  $P = 0,3$ ; ACP2 :  $t_{54} = 0,36$ ,  $P = 0,7$ ).

En séparant les échantillons selon les cinq régions du Québec (figure 4), les analyses sur les valeurs des deux premiers axes de l'ACP n'ont montré également aucun effet de la région d'origine pour les mâles (ACP1 :  $F_{4,41} = 0,13$ ,  $P = 1$ ; ACP 2 :  $F_{4,41} = 0,99$ ,  $P = 0,4$ ) ou les femelles (ACP1 :  $F_{4,51} = 0,48$ ,  $P = 0,7$ ; ACP 2 :  $F_{4,51} = 0,39$ ,  $P = 0,8$ ).

Des anovas univariées des 25 mesures chez les crânes des mâles et des femelles suivies d'ajustements de Bonferonni (Rice 1989) (tous les  $F > 0,12$  et  $P > 0,06$ ) et une analyse multivariée considérant les 25 mesures crâniométriques simultanément sur les deux premiers axes de l'ACP (MANOVA, test de Wilk's lambda :  $F = 0,007$ ,  $P = 0,8$  pour les mâles;  $F = 0,002$ ,  $P = 1$  pour les femelles) ont confirmé l'absence de différence des mesures crâniennes selon la région de provenance.

Tableau 3. Vecteurs propres (eigenvectors) provenant de l'analyse en composantes principales des mesures crâniennes de 125 lynx du Canada capturés sur l'ensemble du Québec en 1998-99. La légende des mesures se retrouve dans le texte de la section 2.2. Les analyses ont été effectuées séparément pour les mâles et les femelles puisque la taille et la croissance du crâne varient selon le sexe.

Mesures	Axe 1		Axe 2		Axe 3	
	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle
Masse de la mandibule	0,259	0,261	-0,049	-0,054	-0,049	-0,093
Masse du crâne	0,251	0,255	-0,149	-0,083	0,012	0,011
CBL	0,256	0,255	-0,029	-0,147	0,064	0,038
PL	0,260	0,251	-0,076	-0,093	-0,050	-0,084
PPL	0,214	0,209	0,011	-0,159	0,126	0,125
PCB	0,032	0,054	-0,215	-0,025	0,053	0,351
CoB	0,182	0,144	0,132	-0,052	0,393	0,428
FmB	0,157	0,049	0,021	-0,053	0,582	0,504
MB	0,209	0,213	-0,258	-0,216	0,073	0,129
MXL	0,256	0,245	0,092	0,116	-0,007	0,009
FmH	-0,045	-0,035	0,207	0,187	0,523	0,466
IOL	0,231	0,212	-0,180	-0,168	-0,025	0,049
MNL	0,268	0,273	-0,064	-0,092	0,003	-0,038
m1L	0,113	0,149	0,444	0,446	0,063	0,045
c1W	0,162	0,200	0,191	0,057	-0,177	-0,200
C1L	0,238	0,268	-0,015	-0,069	-0,072	-0,120
P4L	0,098	0,177	0,433	0,380	0,091	0,145
C1W	0,155	0,181	0,110	0,252	-0,230	-0,109
p4m1	0,172	0,193	0,393	0,397	0,030	0,019
ZyL	0,243	0,248	-0,114	-0,199	-0,007	-0,046
HMm1	0,230	0,211	0,101	0,051	-0,221	-0,192
HMR	0,213	0,213	-0,074	-0,071	-0,176	-0,177
CAB	0,232	0,213	-0,159	-0,073	-0,095	-0,092
P4W	0,162	0,104	0,329	0,415	-0,088	-0,003
Valeur propre (eigenvalue)	12,77	11,10	2,88	2,86	1,48	1,70
% de la variance expliquée	53,2	46,3	12,0	11,9	6,2	7,1

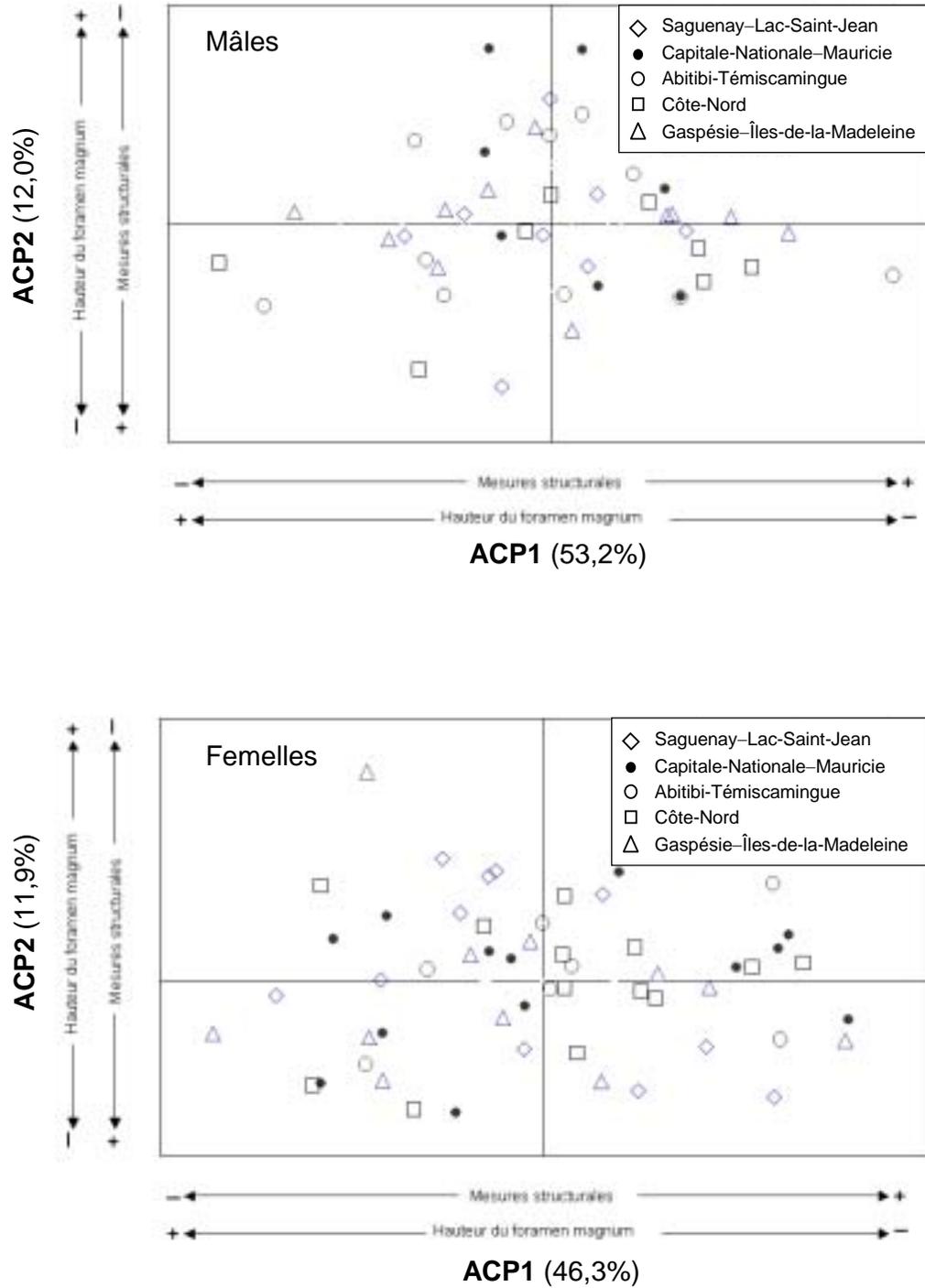


Figure 4. Analyse en composantes principales (ACP) des mesures crâniennes de lynx du Canada provenant de cinq régions du Québec. La proportion de la variance expliquée par chacun des axes est exprimée entre parenthèses.

## 4. DISCUSSION

### 4.1. La croissance

Selon nos résultats sur la croissance des os du crâne, les lynx du Canada du Québec atteignent la taille adulte entre 2,5 et 4,5 ans. La taille adulte semble être atteinte plus rapidement chez les femelles car certains paramètres crâniens cessent leur croissance plus tôt que chez les mâles (tableau 1). Ces résultats supportent l'hypothèse selon laquelle les femelles seraient sélectionnées pour avoir une période de croissance plus courte que les mâles de façon à pouvoir investir plus rapidement dans la reproduction (Pontier *et al.* 1998; Weckerly 1998; Post *et al.* 1999).

La plupart des espèces de mammifères polygynes montrent la présence d'un dimorphisme sexuel en faveur des mâles qui est généralement attribuable à la sélection sexuelle (Weckerly 1998). Les pressions de sélection sur la taille corporelle divergent entre les deux sexes, ce qui a comme conséquence d'accroître le dimorphisme sexuel (Pontier *et al.* 1998; Post *et al.* 1999). Un mâle qui atteint une taille corporelle plus grande pourra avoir un succès reproducteur plus élevé (Weckerly 1998; McElligott *et al.* 2001; Pérez-Barberia *et al.* 2002; Abramov et Tumanov 2003). Les pressions de sélection favoriseraient par contre les femelles qui ont une taille corporelle adulte plus petite ou un taux de croissance plus rapide, de façon à ce qu'elles atteignent la maturité sexuelle le plus rapidement possible (Pontier *et al.* 1998; Weckerly 1998), car le succès reproducteur chez la femelle est davantage lié à la durée de la période de fécondité plutôt qu'à la taille (Pontier *et al.* 1998; Post *et al.* 1999).

Une autre explication suggère que le dimorphisme sexuel chez les mammifères résulte de la sélection naturelle favorisant différentes tailles optimales chez les mâles et les femelles selon la niche écologique qu'ils occupent, de façon à diminuer la compétition inter-sexuelle pour la nourriture (Shine 1989; Dobson et Wigginton 1996; Pérez-Barberia *et al.* 2002). Cette hypothèse a été vérifiée chez certaines espèces comme le vison d'Amérique (*Mustela vison*) et le lynx roux (Dayan et Simberloff 1994; Lynch et Hayden 1995; Dobson et

Wigginton 1996). Dans notre étude, nous avons trouvé la présence d'un dimorphisme sexuel chez le lynx du Canada. Parmi les cinq mesures utilisées, toutes étaient de 2,9 à 4,2 % plus grandes chez les mâles que chez les femelles. Une autre étude sur le lynx du Canada a démontré que le dimorphisme sexuel de la longueur totale et de la masse était entre 15 % et 25 % plus élevé chez les mâles que chez les femelles (Poole 2003). Little (1999) suggère aussi que le dimorphisme sexuel observé chez le lynx du Canada pourrait être le résultat d'une différence dans la stratégie de chasse entre les mâles et les femelles car, dans son analyse, les paramètres qui reflétaient une grande différence entre les sexes étaient surtout ceux liés à la dimension des dents.

Nos résultats ont démontré que les mesures crâniennes variaient entre les différentes années de naissance chez le lynx du Canada, particulièrement chez les mâles. Les mâles nés entre 1974 et 1980 étaient plus petits que ceux nés entre 1991 et 1997. En se basant sur la vente des fourrures et les indices de densité du lièvre de la Côte-Nord, il est possible que l'abondance des lynx durant les années 1974 à 1980 était plus élevée que durant la période de 1991 à 1997 (Poole 2003). Ces résultats suggèrent que les jeunes naissant pendant des phases de densité plus faible où la compétition intraspécifique est réduite, comme pendant la période 1991-1997, ont une meilleure croissance (Saether et Heim 1993; Inchausti et Ginzburg 1998; Post et Stenseth 1998). Une partie de la variabilité observée pourrait aussi être expliquée par les conditions environnementales.

#### 4.2. Variabilité entre les régions

Nous n'avons pas identifié de différence au niveau de la morphologie crânienne du lynx du Canada entre les cinq grandes régions du Québec. La capacité de dispersion du lynx du Canada, qui peut atteindre plus de 1 000 km, lorsque les densités de proies sont faibles (Brand *et al.* 1976; Mech 1980; Ward et Krebs 1985), peut avoir comme effet d'uniformiser la variabilité entre les populations. De plus, l'écologie du lynx étant probablement similaire dans les régions situées au nord et au sud du fleuve Saint-Laurent (Fortin et Tardif 2003), cela implique que les pressions de sélection sur les individus du Québec sont apparemment semblables. La dynamique des populations de lynx, basée sur les fluctuations cycliques du

lièvre (Elton et Nicholson 1942; Finerty 1979), suggère que les pressions de sélection sur les lynx sont relativement uniformes et que sa niche alimentaire spécialisée ne favorise pas la divergence des caractères crâniens ou autres (van Zyll de Jong 1975). Il est donc peu surprenant de ne détecter aucune différence de morphologie crânienne entre les régions.

Sharples *et al.* (1996) ont tenté d'évaluer les différences phénotypiques entre deux sous-espèces de lapin de garenne (*Oryctolagus cuniculus cuniculus* et *O. c. huxleyi*) en utilisant les paramètres crâniens. Il leur a été impossible de distinguer les deux sous-espèces selon la morphologie crânienne. Cependant, une analyse génétique a permis de trouver des différences entre les populations ne provenant pas de la même région (Sharples *et al.* 1996). Une autre étude visant à comparer les lynx de Terre-Neuve (*L. c. subsolana*) et ceux du continent nord-américain (*L. c. canadensis*) a utilisé les mesures de la morphologie crânienne afin d'examiner les différences entre les deux sous-espèces. Les mesures crâniennes étaient semblables entre les deux groupes et la classification en deux sous-espèces est, par conséquent, devenue discutable par la suite (van Zyll de Jong 1975). L'isolation récente de la forme insulaire à Terre-Neuve pourrait expliquer l'absence de différenciation significative au niveau de la morphométrie crânienne.

## 5. CONCLUSION

Chez le lynx du Canada, la croissance des os du crâne ne se termine pas en même temps pour tous les os et diffère aussi entre les sexes, ce qui révèle possiblement différentes stratégies d'histoire de vie entre les mâles et les femelles. L'homogénéité observée au niveau de la morphologie crânienne des lynx entre les différentes régions du Québec ne signifie pas qu'il n'y a pas de différence entre les populations. Si, par exemple, le fleuve Saint-Laurent agit comme une barrière géographique, il pourrait y avoir une dérive génétique entre les populations des deux rives ou entre les populations les plus éloignées. Il est possible que la différenciation génétique, si elle existe, s'opère sur des *loci* neutres qui ne sont pas soumis à la sélection directe. Il serait alors improbable par l'analyse de la morphologie crânienne de distinguer des variations entre les populations. Ce n'est donc que par l'analyse génétique à l'aide de marqueurs neutres tels que les microsatellites que l'on sera en mesure de répondre définitivement à la question portant sur la variabilité des populations de lynx entre les régions du Québec. Ces travaux constituent la prochaine étape de ce projet de recherche.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) pour son support financier ainsi que MM. Clément Fortin et Daniel Banville, de ce même ministère, pour leur précieuse collaboration. Nous remercions aussi M<sup>mes</sup> Marie-Claire Bédard et Sonia Labrecque pour l'aide fournie durant la préparation des crânes, Vanessa Viera et Sandra Hamel pour leurs conseils judicieux lors des analyses et Sonia de Bellefeuille pour la préparation du manuscrit. Notre reconnaissance s'adresse également à M. Cyrille Barrette, professeur à l'Université Laval, pour l'accès à la collection de crânes de lynx récoltés en 1981-82 en plus de son aide et de ses commentaires constructifs fournis tout au long de ce projet de recherche. Finalement, nous remercions M<sup>mes</sup> Hélène Jolicoeur, Louiselle Beaulieu et Jacinthe Bouchard, du ministère des Ressources naturelles et de la Faune pour la révision et la mise en page finale du document.

## LISTE DES RÉFÉRENCES

- ABRAMOV, A. V. et I. L. TUMANOV. 2003. Sexual dimorphism in the skull of the european mink *Mustela lutreola* from NW part of Russia. *Acta Theriologica* 48: 239-246.
- BANVILLE, D. 1986. Étude écologique du lynx du Canada sur la Haute Côte-Nord. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction de la faune terrestre, Québec. 56 p.
- BELTRAN, J. F. et M. DELIBES. 1993. Physical characteristics of Iberian lynxes (*Lynx pardinus*) from Doñana, southwestern Spain. *J. Mamm.* 74: 852-862.
- BRAND, C. J., L. B. KEITH et C. A. FISHER. 1976. Lynx response to changing snowshoe hare densities in central Alberta. *J. Wildl. Manage.* 40: 416-428.
- CHESTIN, I. E. et N. G. MIKESHINA. 1998. Variation in skull morphology of brown bears (*Ursus arctos*) from Caucasus. *J. Mamm.* 79: 118-130.
- DAYAN, T. et D. SIMBERLOFF. 1994. Character displacement, dimorphism and morphological variation among British and Irish mustelids. *Ecology* 75: 1 063-1 073.
- DOBSON, F. S. et J. D. WIGGINTON. 1996. Environmental influences on the sexual dimorphism in body size of western bobcats. *Oecologia* 108: 610-616.
- ELTON, C. et M. NICHOLSON. 1942. Ten year cycle in numbers of the lynx in Canada. *J. Anim. Ecol.* 11: 215-244.
- FINERTY, J. P. 1979. Cycle in Canadian lynx. *Am. Nat.* 114: 453-456.
- FORTIN, C. et J. TARDIF. 2003. Situation du lynx du Canada (*Lynx canadensis*) au Québec. Société de la faune et des parcs du Québec. Direction du développement de la faune. 40 p.
- GARCÍA-PEREA, R. 2002. Andean mountain cat, *Oreailurus jacobita* : Morphological description and comparison with other felines from the Altiplano. *J. Mamm.* 83: 110-124.
- HOVING, C. L., R. A. JOSEPH et W. B. KROHN. 2003. Recent and historical distributions of Canada lynx in Maine and the northeast. *Northeastern Naturalist* 10: 363-382.
- INCHAUSTI, P. et L. GINZBURG. 1998. Small mammals cycles in northern Europe: patterns and evidence for a maternal effect hypothesis. *J. Anim. Ecol.* 67: 180-194.
- KENNEDY, M. L., S. G. MECH, B. TRAN, J. W. GRUBAUGH et R. F. LANCE. 2003. An assessment of geographic variation in sexual size dimorphism in the coyote (*Canis latrans*). *Mammalia* 67: 411-417.

- LITTLE, M. 1999. Sexual dimorphism and variation in skull morphology in lynx (*Felis lynx canadensis*) from Northwestern Ontario and Northwestern Quebec. BSc report. Laurentian University, Sudbury, Ontario, 48 p.
- LUDWIG, J. A. et J. F. REYNOLDS. 1988. Statistical ecology. Wiley, New York. 368 p.
- LYNCH, J. M et T. J. HAYDEN. 1995. Genetic influence on cranial form: variation among ranch and feral American mink, *Mustela vison* (Mammalia: Mustelidae). Biol. J. Linn. Soc. 55: 293-307.
- McELIGOTT, A. G., M. P. GAMMELL, H. C. HARTY, D. R. PAINI, D. T. MURPHY, J. T. WALSH et T. J. HAYDEN. 2001. Sexual size dimorphism in fallow deer (*Dama dama*): do larger, heavier male gain greater mating success? Behav. Ecol. Sociobiol. 49: 266-272.
- MECH, L. D. 1980. Age, sex, reproduction and spatial organisation of lynxes colonizing Northeastern Minnesota. J. Mamm. 61: 261-267.
- MECH, L. D., M. E. NELSON et R. E. McROBERTS. 1991. Effects of maternal and grandmaternal nutrition on deer mass and vulnerability to wolf predation. J. Mamm. 72: 146-151.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE (MEF). 1995. Plan de gestion du lynx du Canada au Québec 1995 : Objectifs de gestion et stratégie d'exploitation. Ministère de l'Environnement et de la Faune. Québec. 30 p.
- PARKER, G. R., J. W. MAXWELL, L. D. MORTON et G. E. J. SMITH. 1983. The ecology of the lynx (*Lynx canadensis*) on Cape Breton Island. Can. J. Zool. 61: 770-786.
- PÉREZ-BARBERIA, F. J., I. J. GORDON et M. PAGEL. 2002. The origins of sexual dimorphism in body size in ungulates. Evolution 56: 1 276-1 285.
- PONTIER, D., E. FROMONT et F. COURCHAMPS. 1998. Retroviruses and sexual size dimorphism in domestic cats. Proc. Roy. Soc. Lond. Ser. B. 265: 167-173.
- POOLE, K. G. 2003. A review of the Canada lynx, *Lynx Canadensis*, in Canada. Can. Field-Nat. 117: 360-376.
- POST, E., R. LANGVATN, M. C. FORCHHAMMER et C. STENSETH. 1999. Environmental variation shapes sexual dimorphism in red deer. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96: 4 467-4 471.
- POST, E. et N. C. STENSETH. 1998. Large-scale climatic fluctuation and population dynamics of moose and white-tailed deer. J. Anim. Ecol. 67: 537-543.
- RICE, W. R. 1989. Analyzing tables of statistical tests. Evolution 43: 223-225.

- RUENESS, E. K., N. C. STENSETH, M. O'DONOGHUE, S. BOUTIN, H. ELLEGREN et K. S. JAKOBSEN. 2003. Ecological and genetic spatial structuring in the Canadian lynx. *Nature* 425: 69-72.
- SAETHER, B.-E. et M. HEIM. 1993. Ecological correlates of individual variation in age at maturity in female moose: the effect of environmental variability. *J. Anim. Ecol.* 62: 482-489.
- SAUNDERS, J. K. 1964. Physical characteristics of the Newfoundland lynx. *J. Mamm.* 45: 36-47.
- SHARPLES, C. M., J. E. FA et D. J. BELL. 1996. Geographical variation in size in the European rabbit *Oryctolagus cuniculus* (Lagomorpha: Leporidae) in western Europe and North Africa. *Zool. J. Linn. Soc.* 117: 141-158.
- SHINE, R. 1989. Ecological cause for the evolution of sexual dimorphism: a review of the evidence. *Quart. Rev. Biol.* 64: 419-461.
- US FISH ET WILDLIFE SERVICE. 2000. Determination of threatened status for the contiguous U.S distinct population segment of the Canada lynx and related rule; final rule. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Federal Register vol. 65 : 16 052-16 086.
- VAN ZYLL DE JONG, C. G. 1975. Differentiation of the Canada lynx, *Felis (Lynx) canadensis subsolana*, in Newfoundland. *Can. J. Zool.* 53: 699-705.
- VICIOSO, E. F. et F. DE LOPE REBOLLO. 1994. Cranial dynamics of the wild cat (*Felis silvestris*). *Mammalia* 58: 635-647.
- VON DEN DRIESCH, A. 1976. A guide to the measurement of animal bones from archeological sites. Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Harvard University. 136 p.
- WARD, R. M. P. et C.J. KREBS. 1985. Behavioural responses of lynx to declining snowshoe hare abundance. *Can. J. Zool.* 63: 2 817-2 824.
- WECKERLY, F. W. 1998. Sexual size dimorphism: Influence of mass and mating systems in the most dimorphic mammals. *J. Mamm.* 79: 33-52.
- WERDELIN, L. 1981. The evolution of lynxes. *Ann. Zool. Fennici* 18: 37-71.
- WERDELIN, L. 1983. Morphological patterns in the skulls of cats. *Biol. J. Linn. Soc.* 19: 375-391.
- ZAR, J. H., 1984. Biostatistical analyses. 2<sup>nd</sup> edition. Prentice Hall, New Jersey. 929 p.

