

Réponse hétérogène à la protection de l'élevage ovins pendant la recolonisation par le loup des Alpes Françaises

Depredation Control



PREVENTING WOLF DEPREDACTIONS IN MERCANTOUR

1195

Heterogeneous response to preventive sheep husbandry during wolf recolonization of the French Alps

Nathalie Espuno, Benoit Lequette, Marie-Lazarine Poulle, Pierre Migot, and Jean-Dominique Lebreton

Wildlife Society Bulletin 2004, 32(4):1195–1208

Peer refereed

Résumé

La recolonisation par les loups (*Canis lupus*) des zones d'élevage ovin extensif dans les Alpes Françaises au début des années 1990 a conduit à des conflits intenses concernant les pertes de bétail domestique. Nous avons utilisé des données sur les déprédations et la gestion des troupeaux de moutons dans 45 pâturages des montagnes du Mercantour dans les Alpes Françaises pour construire des **modèles** de taux de prédation et de mortalité et pour quantifier l'efficacité de l'utilisation de chiens de protection du bétail et du rassemblement ou du confinement des troupeaux la nuit pour prévenir les dommages. L'efficacité des chiens de protection du bétail était la plus faible lorsque les moutons étaient en liberté et la plus élevée lorsque les moutons étaient confinés la nuit. L'effet des chiens de protection du bétail sur les déprédations était hétérogène selon les pâturages. Lorsque les moutons étaient confinés la nuit, la présence de 3 à 4 chiens permettait d'éviter une grande majorité (>95 %) des mortalités qui se seraient produits en l'absence de chiens dans 81% des pâturages. **Aucun effet des chiens n'a été constaté pour les 19% de pâturages restants.** Le confinement ou le simple rassemblement des moutons la nuit en présence de 5 chiens de protection du bétail permettait d'éviter la plupart des mortalités (94% et 79%, respectivement) qui se seraient produits dans des conditions similaires, mais avec des moutons en liberté. **L'efficacité de chacune de ces 2 techniques était considérablement réduite lorsqu'elles n'étaient pas utilisées conjointement.** Cette étude suggère que le confinement des moutons en présence de plusieurs chiens de protection du bétail peut prévenir une grande majorité des pertes de bétail dues aux loups dans le sud des Alpes Françaises.

INTRODUCTION

La prédation sur le bétail domestique était autrefois un facteur majeur affectant le bien-être de l'homme dans les zones rurales (Kaczensky 1996) et a souvent été la raison principale des tentatives passées d'éradication des grands carnivores (Bangs et al. 1995, Muyard 1998). Aujourd'hui, la protection contre les grands prédateurs reste controversée dans les zones où ils sont perçus comme



Sheep herd on a summer pasture in the Mercantour Mountains (photograph by D. Faure).



Livestock-guarding dog on a summer pasture in the Mercantour Mountains (photograph by P. Pierini).

ayant un impact négatif sur les économies pastorales (par exemple, Johnson et Griffel 1982, Cozza et al. 1996, Kaczensky 1996, Mizutani et Jewell 1998). De telles controverses sont particulièrement fréquentes aujourd'hui en Europe occidentale où, grâce à une protection légale accrue, à des densités croissantes d'ongulés sauvages et à de meilleures conditions d'habitat, le loup (*Canis lupus*) revient dans des régions d'où il avait disparu il y a plusieurs décennies (Breitenmoser 1998). La recolonisation des Alpes Françaises par le loup (Poulle et al. 2000, Duchamp et al. 2001, Valière et al. 2003) a donné lieu à un exemple typique d'interactions conflictuelles entre un prédateur et les activités pastorales. Dans la principale zone colonisée par le loup, les montagnes du Mercantour dans les Alpes Françaises du Sud, l'élevage de moutons pour la production de viande d'agneau est l'utilisation prédominante des terres. Bien que les proies sauvages soient abondantes, les dommages au bétail sont fréquents depuis le retour des loups dans la région au début des années 1990 (Poulle et al. 2000, Duchamp et al. 2001, Dahier et al. 2002). Des techniques pour réduire les pertes ont été proposées et partiellement financées dans le cadre d'un programme européen LIFE-Nature (Poulle et al. 2000, Duchamp et al. 2001). Les principales mesures proposées étaient des clôtures électriques mobiles pour confiner le bétail la nuit, des chiens de protection du bétail et une présence humaine accrue. Cependant, la mise en œuvre de ces mesures de prévention était hétérogène selon les exploitations d'élevage ovin. Actuellement, si la majorité des troupeaux n'est pas ou peu affectée par les déprédations, les pertes ovines dues au loup atteignent encore des niveaux localement élevés dans le Mercantour (Duchamp et al. 2001).

Lorsque la prédation sur le bétail est perçue comme excessive, elle peut conduire à la destruction illégale de certains prédateurs. Au moins 6 loups sont morts de braconnage ou d'empoisonnement entre 1992 et 2003 dans la région du Mercantour. Les populations de grands carnivores, qui existent généralement à de faibles densités, peuvent être particulièrement vulnérables à cette mortalité accidentelle (Boitani 1992, Bangs et al. 1995, Fritts et al. 1995, Meriggi et Lovari 1996). Cependant, en Europe occidentale, la disponibilité limitée d'habitats appropriés empêche souvent la ségrégation spatiale de l'utilisation des terres entre les grands carnivores et les humains. Par conséquent, toute population viable de grands carnivores interfère nécessairement avec les activités d'élevage extensif existantes (Linnell et al. 1996). La tolérance des populations locales est donc la clé de la persistance des populations de grands prédateurs (Oli 1994, Bangs et al. 1995, Cozza et al. 1996, Sagor et al. 1997), et par conséquent, les programmes de conservation doivent inclure le développement de stratégies efficaces pour limiter les déprédations sur le bétail. De plus, les choix de gestion controversés concernant la compensation des dommages, le financement des mesures de prévention ou le contrôle des prédateurs dépendent de la possibilité de réduire les déprédations à

un niveau **économiquement** et **socialement** acceptable pour les éleveurs de moutons. Cependant, bien que la prévention de la déprédation par les loups ait été largement décrite et revue (e.g., Linnell et al. 1996 ; Smith et al. 2000*a, b* ; Fritts et al. 2003), les évaluations quantitatives de l'efficacité des différentes techniques de prévention font encore largement défaut. L'objectif de cette étude était de quantifier l'efficacité des méthodes d'élevage utilisées pour prévenir les pertes de moutons dues aux loups dans le Mercantour, en utilisant les données sur les déprédations et les méthodes d'élevage mises en œuvre pendant les saisons de pâturage d'été de 1994 à 2001.

Zone d'étude

Nous avons mené l'étude entre 1994 et 2001 dans la zone de présence documentée du loup dans le Mercantour, qui comprenait une partie de la zone centrale de 685 km² du parc national du Mercantour (Figure 1). L'altitude variait de 800 à 3 143 m, les pâturages couvrant environ 60% de la zone. En dessous de 2 000 m, la forêt est généralement dense et composée principalement de *Picea excelsa*, *Abies alba*, *Pinus sylvestris*, *Pinus cembra* et *Larix decidua*. La neige persiste souvent au sol de décembre à fin avril au-dessus de 1 200 m, avec une épaisseur moyenne de neige pendant l'hiver allant de 0,5 m à >2 m (Poulle et al. 2000). Six espèces d'ongulés sauvages coexistaient dans la zone centrale du parc national : le chamois (*Rupicapra rupicapra* ; 5-10/km²), le mouflon (*Ovis gmelini* ; 0,8-4/km²), le bouquetin (*Capra ibex* ; densité variable selon les saisons), le cerf élaphe (*Cervus elaphus* ; <1 par km²), le chevreuil (*Capreolus capreolus* ; densité inconnue) et le sanglier (*Sus scrofa* ; densité inconnue). En outre, environ 63 500 moutons domestiques étaient présents toute l'année dans la région, et ce nombre atteignait saisonnièrement jusqu'à 120 000 lorsque des troupeaux transhumants étaient amenés dans de grands pâturages d'altitude (8-9 km²) pour le pâturage d'été (Poulle et al. 2000). Les troupeaux contenaient en moyenne 1 200 à 1 500 moutons et parfois quelques chèvres domestiques.

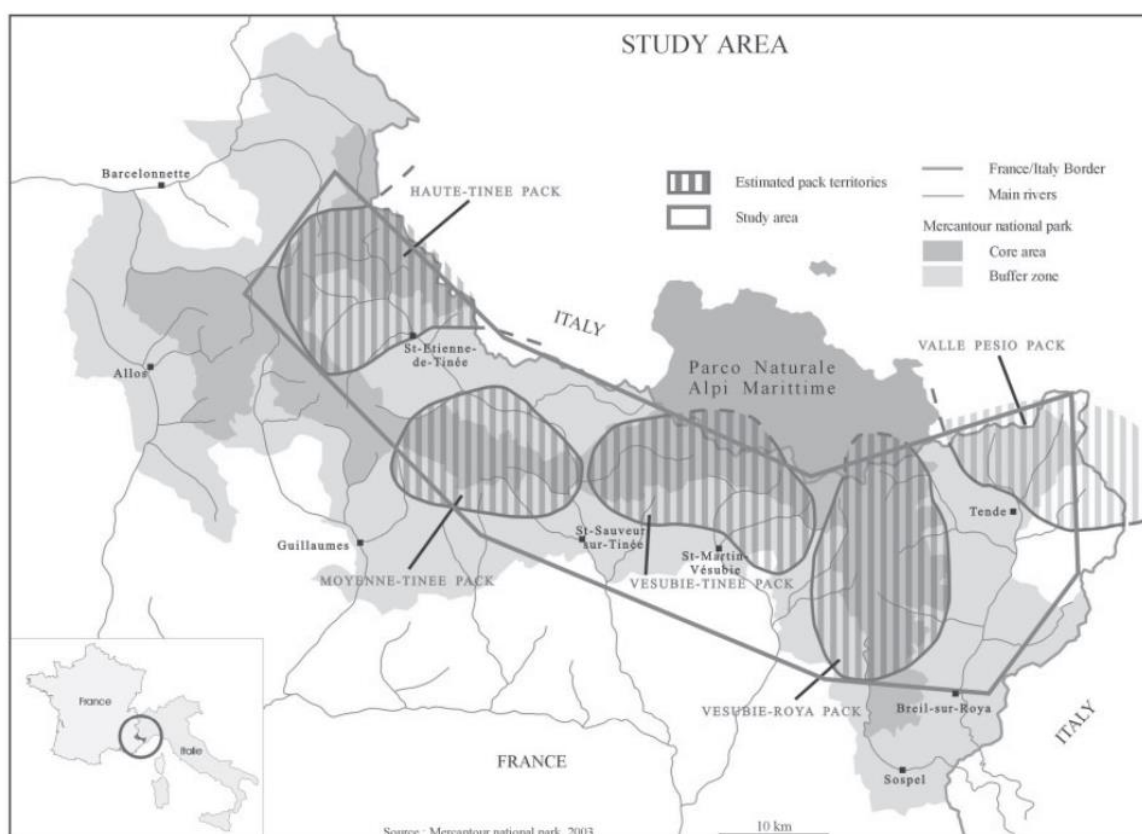


Figure 1. Zone d'étude et domaines vitaux estimés des meutes de loups résidentes dans les montagnes du Mercantour en 2001

METHODE

Données

Troupeaux de bétail et pratiques d'élevage. Nous avons obtenu des données sur la taille des troupeaux, les méthodes d'élevage et l'utilisation des pâturages d'été de 1994 à 2001 à partir de plusieurs sources d'information : rapports de dommages, enquête sur les circonstances des attaques (cette étude), interviews de techniciens et de gardes du parc national, et bases de données fournies par plusieurs institutions (Centre d'étude du machinisme agricole du génie rural et des eaux et forêts, Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt des Alpes-Maritimes, Direction Départementale des Services Vétérinaires des Alpes-Maritimes, Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, Parc national du Mercantour). Comme la majorité des déprédations ont lieu entre juillet et septembre (Poulle et al. 2000, Duchamp et al. 2001), et que la plupart des données disponibles sur les pratiques d'élevage concernent la période de pâturage d'été, nous avons limité l'analyse à l'été (1^{er} juillet-30 septembre) de chaque année. L'ensemble des données comprenait 45 pâturages d'été situés dans la zone de présence du loup, dont certains étaient inutilisés par les moutons certaines années. Chaque unité statistique était donc un pâturage × mois dans une année, avec une taille d'échantillon de 819 mois-pâturage.

Déprédations. Nous avons analysé 1) le nombre d'attaques par mois de pâturage et 2) le nombre de moutons et de chèvres tués par mois de pâturage. Nous avons défini une attaque comme un événement ayant entraîné au moins un décès, puisque les attaques « infructueuses » ne pouvaient généralement pas être détectées. Nous avons limité notre analyse aux événements attribués au loup suite à l'évaluation d'un vétérinaire expert (Poulle et al. 2000, Dahier et al. 2002), en excluant tous les cas où la responsabilité du loup était exclue et les cas qui ne pouvaient pas être vérifiés (par exemple, les dommages signalés plusieurs jours après l'attaque).

Un nombre inconnu de dommages n'a peut-être pas été découvert. Par conséquent, nos données ne permettent pas d'estimer le risque de déprédation associé à la présence ou à l'absence de mesures de prévention. Cependant, elles permettent d'estimer le degré d'association entre les méthodes d'élevage et les dommages.

Les circonstances des déprédations diurnes et nocturnes sont nécessairement différentes, puisque tant les modes d'élevage que l'activité du bétail varient avec l'heure de la journée. Les dommages nocturnes et diurnes n'ont donc pas pu être regroupés pour une analyse unique. Pendant la période d'étude, seuls 13% des 715 événements de déprédation se sont produits pendant la journée. Nous avons donc choisi de restreindre la présente analyse aux dommages survenus la nuit. Nous avons pris en compte un total de 619 rapports de dommages.

Variables explicatives

Nous avons considéré 7 variables explicatives (Tableaux 1 et 2). Le facteur CHIEN a été défini comme le nombre de chiens adultes (>1,5 ans) de protection du bétail associés de façon permanente au troupeau ; ce nombre variait de 0 à 8. Le facteur CONFINEMENT était une estimation du degré de confinement des troupeaux de moutons la nuit, avec 3 niveaux. Le niveau 1 (FREE-RANGING) correspondait à des moutons laissés seuls (c'est-à-dire non rassemblés la nuit). Le niveau 2 (GATHERED) correspond à des troupeaux de moutons rassemblés la nuit sans être confinés. Niveau 3 (CONFINÉ) : troupeaux de moutons rassemblés et confinés dans un enclos la nuit. La covariable TAILLE DU TROUPEAU, qui reflète le nombre de moutons et de chèvres dans le troupeau, variait entre 200 et 3 000. Le facteur ANNÉE avait 8 niveaux (1994-

2001). Le facteur MOIS avait 3 niveaux (juillet-septembre). Le facteur SITE avait 6 niveaux représentant différentes zones dans la zone d'étude. Les niveaux 1-5 correspondaient aux domaines vitaux estimés des meutes résidentes (Figure 1), et le niveau 6 regroupait les pâturages situés dans des zones utilisées par des loups de statut inconnu. Nous avons obtenu les domaines vitaux estimés des meutes à partir des données de suivi hivernal de la neige (Pouille et al. 2000, Duchamp et al. 2001). Un facteur ALPAGE de 45 niveaux a été inclus pour représenter les blocs statistiques (c'est-à-dire pour tenir compte des différences entre les pâturages liés à des attributs inconnus [facteurs non modélisés]).

Modélisation des taux d'attaque et prédation...

Tableau 1. Description des variables explicatives dans les modèles des taux d'attaques et de tués par les loups sur le bétail domestique dans les montagnes du Mercantour, 1994-2001. *N* est le nombre de mois de pâturage et « % attaqué » est la proportion de mois de pâturage avec au moins une attaque

Variable	Level	<i>N</i>	% attacked
PASTURE	(1) to (45)	819	25.40
SITE	(1) = HAUTE-TINEE	99	15.15
	(2) = MOYENNE-TINEE	255	20.39
	(3) = VESUBIE-TINEE	96	22.92
	(4) = VESUBIE-ROYA	261	32.57
	(5) = VALLE PESIO	51	31.37
	(6) = UNKNOWN	57	31.58
YEAR	(1) = 1994	45	20.00
	(2) = 1995	57	22.81
	(3) = 1996	75	28.00
	(4) = 1997	132	23.48
	(5) = 1998	126	23.02
	(6) = 1999	126	19.84
	(7) = 2000	132	28.03
	(8) = 2001	126	34.13
MONTH	(1) = JULY	273	21.61
	(2) = AUGUST	273	25.64
	(3) = SEPTEMBER	273	28.94
CONFINEMENT	(1) = FREE-RANGING	234	28.63
	(2) = GATHERED	240	36.25
	(3) = CONFINED	345	15.65
DOG	ranged from 0-8		
HERD SIZE	ranged from 200-3,000		

Tableau 2. Distribution de fréquence de chaque combinaison de mesures de prévention dans l'ensemble des données. Le tableau décrit les mesures de prévention utilisées pour protéger le bétail domestique des déprédations du loup dans les montagnes du Mercantour pendant les étés 1994-2001. Les entrées du tableau sont des nombres de mois de pâturage

	Number of guarding dogs					Total
	0	1	2	3	≥4	
Sheep ranging freely at night	111	9	45	54	15	234
Sheep gathered at night	87	39	66	24	24	240
Sheep gathered and confined at night	201	12	57	30	45	345
Total	399	60	168	108	84	819

RESULTATS

Déterminants du taux d'attaque

Le modèle le plus général du taux d'attaque était bien adapté aux données ($\hat{c}=0,69$, proche de 1). Le modèle AICc minimal contenait les effets principaux de l'ALPAGE, du MOIS, du CHIEN sous forme de terme linéaire et quadratique, du CONFINEMENT, du NOMBRE DE CHIEN en log, de l'interaction entre le CONFINEMENT et la TAILLE DU TROUPEAU en log, et des interactions entre le CHIEN et ALPAGE et entre CHIEN et CONFINEMENT. Cependant, le modèle plus parcimonieux sans TAILLE DU TROUPEAU en log et MOIS n'avait qu'un AICc légèrement supérieur et a été préféré (Tableau 3a). Les effets inclus dans le modèle préféré expliquent 49% de la variation du taux d'attaque dans l'ensemble des données.

Les différences entre les pâturages étaient les déterminants les plus forts du taux d'attaque (Tableau 4a, $\Delta AICc = 256,35$), reflétant les effets des **attributs inconnus** des pâturages (c'est-à-dire des facteurs non modélisés). Les données confirment fortement l'influence du nombre de chiens de protection du bétail et du degré de confinement sur le taux d'attaque, ainsi que la variation de l'effet des chiens dans les pâturages (Tableau 4a, $\Delta AICc = 49,24$, $39,42$ et $37,40$, respectivement). Le nombre de chiens de protection du bétail avait plus d'influence sur le taux d'attaque que le degré de confinement. Un effet d'interaction des 2 mesures de prévention était également évident (Tableau 4a, $\Delta AICc = 13,04$).

Tableau 3. Modèles de (a) taux d'attaque et (b) taux de mortalité. K est le nombre de paramètres des modèles. Les modèles nuls ne contiennent que l'interception. Les modèles généraux contiennent les effets principaux du nombre de chiens de protection du bétail et de son terme quadratique, du degré de confinement des moutons la nuit, de la taille du troupeau, de l'année, du mois, du pâturage, du site, et des interactions à deux voies entre les mesures de prévention et la taille du troupeau, entre l'année et le site, et entre le nombre de chiens et le pâturage

(a) Models of attack rate	Terms	Deviance	K	AICc	R^2
Null model		1165.90	1	1167.90	
General model		475.05	133	793.09	0.59
Preferred model	PASTURE DOG DOG ² CONFINEMENT DOG × PASTURE DOG × CONFINEMENT	598.91	76	766.68	0.49

(b) Models of kill rate	Terms	Deviance	K	QAICc	R^2
Null model		1224.20	1	1226.20	
General model		489.30	133	807.34	0.60
Preferred model	PASTURE YEAR SITE DOG DOG ² CONFINEMENT YEAR × SITE DOG × PASTURE DOG × CONFINEMENT	517.02	111	774.19	0.58

Déterminants du taux de mortalité

Dans le modèle le plus général du taux de mortalité, $\hat{c} = 3,146$ suggère une forte surdispersion. Ce facteur de surdispersion a donc été utilisé pour corriger l'AICc de tous les modèles du taux de mortalité. Le modèle QAICc minimal comprenait les effets principaux de L'ALPAGE, L'ANNÉE, LE SITE, LA TAILLE DU TROUPEAU en log, LES CHIENS à la fois comme terme linéaire et quadratique, CONFINEMENT, et les interactions de ANNEE et SITE, de CHIEN et CONFINEMENT, et de CHIEN et ALPAGE. Comme pour le taux d'attaque, le modèle plus simple sans l'effet TAILLE DU TROUPEAU en log, n'avait qu'un QAICc légèrement supérieur et a été préféré (Tableau 3b). Les effets inclus dans le modèle préféré expliquaient 58% de la variation du taux de prédation dans l'ensemble des données.

Comme pour le taux d'attaque, le taux de prédation était surtout déterminé par les différences entre les alpages dans les attributs inconnus (Tableau 4b, $\Delta QAICc = 204,35$). Les variations entre les années et les sites étaient également des déterminants importants du taux de déprédation ($\Delta QAICc = 44,24$). Comme pour le taux d'attaque, les données ont fortement appuyé la preuve d'une influence du nombre de chiens de protection du bétail et du degré de confinement des moutons sur le taux de déprédation, mais le nombre de chiens était plus influent que le degré de confinement ($\Delta QAICc = 30,41$ et $18,29$, respectivement). Il y avait également des preuves solides pour une

variation de l'effet des chiens de protection du bétail entre les pâturages ($\Delta\text{QAICc} = 23,25$) et pour un effet d'interaction des 2 mesures de prévention ($\Delta\text{QAICc} = 17,76$).

Tableau 4. Importance relative des effets dans les modèles privilégiés de (a) taux d'attaque et (b) taux de mortalité par les loups sur le bétail domestique dans les montagnes du Mercantour, 1994-2001. Les effets ont été classés selon l'ampleur de l'augmentation de l'AICc ou du QAICc (Δ_{AICc} ou Δ_{QAICc} , respectivement) suite à leur suppression du modèle. Δ_{deviance} et DK sont les changements dans la déviance et dans le nombre de paramètres du modèle, respectivement. Les effets les plus influents sont ceux qui induisent la plus grande variation de l'AICc ou du QAICc. L'effet global d'un facteur comprend son effet principal plus les interactions qui le contiennent

a) Models of attack rate			
Factor	Δ_{deviance}	Δ_K	Δ_{AICc}
Overall effect of PASTURE	409.99	69	256.35
Overall effect of DOG	117.16	29	49.24
Overall effect of CONFINEMENT	49.10	4	39.42
Interaction PASTURE \times DOG	96.26	25	37.40
Interaction CONFINEMENT \times DOG	17.90	2	13.04
b) Models of kill rate			
Factor	Δ_{deviance}	Δ_K	Δ_{QAICc}
Overall effect of PASTURE	361.67	64	204.35
Overall effect of YEAR and SITE	133.63	35	44.24
Overall effect of DOG	105.08	29	30.41
Interaction PASTURE \times DOG	87.98	25	23.25
Overall effect of CONFINEMENT	28.95	4	18.29
Interaction CONFINEMENT \times DOG	23.11	2	17.76

Effet des mesures de prévention

Pour tous les pâturages, le confinement ou le rassemblement de nuit a augmenté l'efficacité des chiens et, inversement, la présence d'un grand nombre de chiens a augmenté l'efficacité du confinement ou du rassemblement des moutons la nuit.

Effet du degré de confinement des moutons. Le confinement des troupeaux de moutons la nuit et, dans une moindre mesure, leur simple rassemblement, ont permis de réduire les taux d'attaque et de mise à mort en présence d'un grand nombre de chiens. Par exemple, en présence de 5 chiens, le rassemblement des troupeaux la nuit permettait d'éviter 33% des attaques et 79% des mortalités, et le confinement des troupeaux permettait d'éviter 81% des attaques et 94% des mortalités qui se seraient produits dans des conditions similaires mais avec des troupeaux en liberté (Figure 2). Cependant, le rassemblement et le confinement des moutons semblaient associés à une augmentation des taux d'attaque et de mortalités lorsque moins de 5 ou 4 chiens, respectivement, étaient présents.

Effet du nombre de chiens de protection du bétail. L'effet du nombre de chiens, notamment sur le taux d'attaque, varie selon les pâturages. Par conséquent, l'effet protecteur des chiens de protection du bétail, bien que clair, ne peut être réduit à un effet simple et uniforme indépendant des autres conditions. Les différences dans l'effet des chiens n'ont pu être estimées pour 19 des 45 pâturages étudiés car le nombre de chiens sur ces pâturages n'a pas varié pendant la période d'étude. Les résultats concernant l'effet des chiens de protection ne sont donc basés que sur 26 pâturages. L'hétérogénéité de l'efficacité des chiens entre les pâturages pourrait alors être réduite à une variation de la pente reliant le log du taux d'attaque et le log du taux de déprédation, respectivement, au nombre de chiens. Au contraire, les pentes estimées par rapport au nombre de chiens au carré étaient similaires pour tous les pâturages. Cet effet quadratique peut être interprété comme une diminution du bénéfice de l'ajout d'un chien à mesure que le nombre de chiens déjà présents augmente. Les modèles prédisaient donc que la plus grande réduction des dommages était apportée

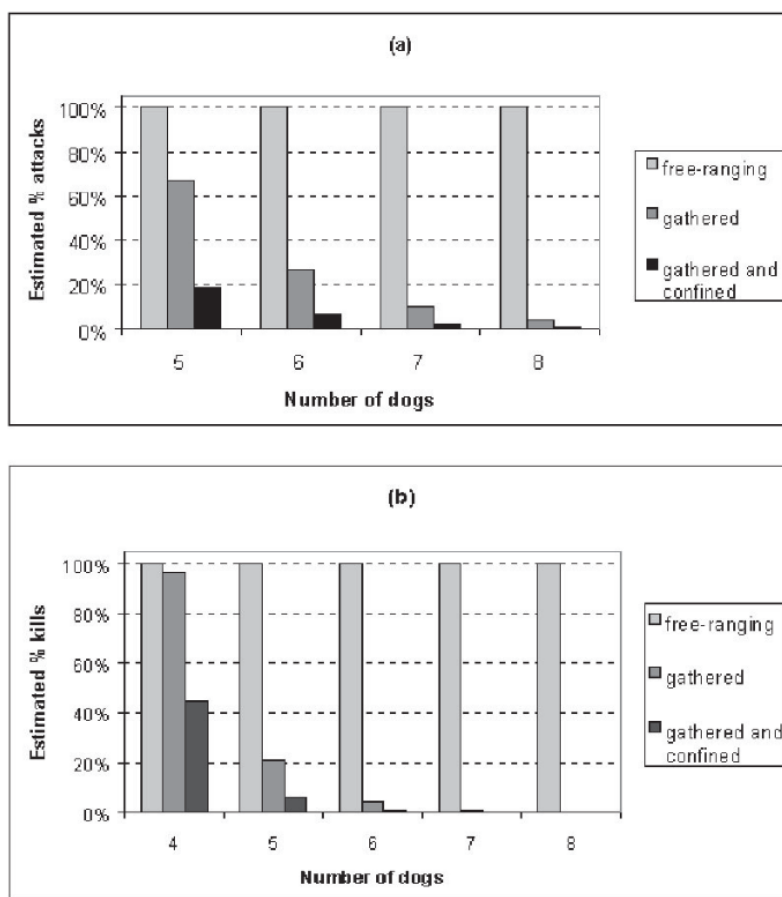


Figure 2. Effet prédit du degré de confinement des moutons sur le taux d'attaque (a) et le taux de mortalité (b) du bétail domestique par les loups en été en fonction du nombre de chiens de protection, lorsqu'au moins 5 ou 4 chiens, respectivement, étaient présents. L'ensemble de données comprenait 45 troupeaux de moutons des Monts du Mercantour (France) des étés 1994-2001. Les pourcentages estimés d'attaques et de tueries sont relatifs aux nombres prédits dans des conditions similaires, à l'exception des troupeaux en liberté la nuit

par le premier chien de protection du bétail introduit dans un troupeau de moutons, les chiens supplémentaires apportant progressivement de moins en moins de réductions des taux d'attaque et de déprédation. La constance du terme quadratique entre les pâturages signifie que cette relation entre le bénéfice apporté par un chien et son rang d'introduction est valable pour tous les pâturages. Dans l'ensemble, la variation entre les pâturages de la pente du terme linéaire et la constance de la pente du terme quadratique ont donné lieu à trois principaux types de réponse aux chiens dans l'échantillon étudié. Sur la base de ces modèles, 3 groupes de pâturages ont pu être distingués :

1) Groupe I : Le premier groupe comprenait 10 cas (39%, $n = 26$) pour lesquels le modèle de réponse à une augmentation du nombre de chiens était une diminution des taux d'attaque et de déprédation, lorsque les moutons étaient confinés la nuit (Figure 3a et 3b, triangles remplis). Les modèles préférés ont prédit que, en présence de chiens, le nombre d'attaques par mois sur les troupeaux du GROUPE I lorsque les moutons étaient confinés la nuit était multiplié en moyenne par :

$$\exp(-1,558\text{DOG} - 0,190\text{DOG}^2),$$

et le nombre de mortalités par mois a été multiplié en moyenne par :

$$\exp(-2,143\text{DOG} - 0,360\text{DOG}^2).$$

Il y avait une tendance **non significative** à ce que les chiens de protection soient plus efficaces lorsque les troupeaux étaient confinés la nuit que lorsqu'ils étaient seulement rassemblés (Figure 4a

et 4b). Lorsque les troupeaux du GROUPE I se déplaçaient librement la nuit, les modèles préférés prédisaient qu'en présence de chiens, le nombre d'attaques par mois était multiplié en moyenne par :

$$\exp(-.504\text{DOG} - 0,190\text{DOG}^2),$$

et le nombre de mortalités par mois était multiplié en moyenne par :

$$\exp(-.178\text{DOG} - 0,360\text{DOG}^2).$$

Ainsi, les modèles préférés ont prédit, par exemple, que la prévention de 99% des attaques et des mortalités sur les troupeaux du GROUPE I pouvait être obtenue par l'utilisation de 3 chiens lorsque les moutons étaient confinés ou par l'utilisation de 5 chiens lorsque les moutons se déplaçaient librement la nuit (Figure 4a et 4b).

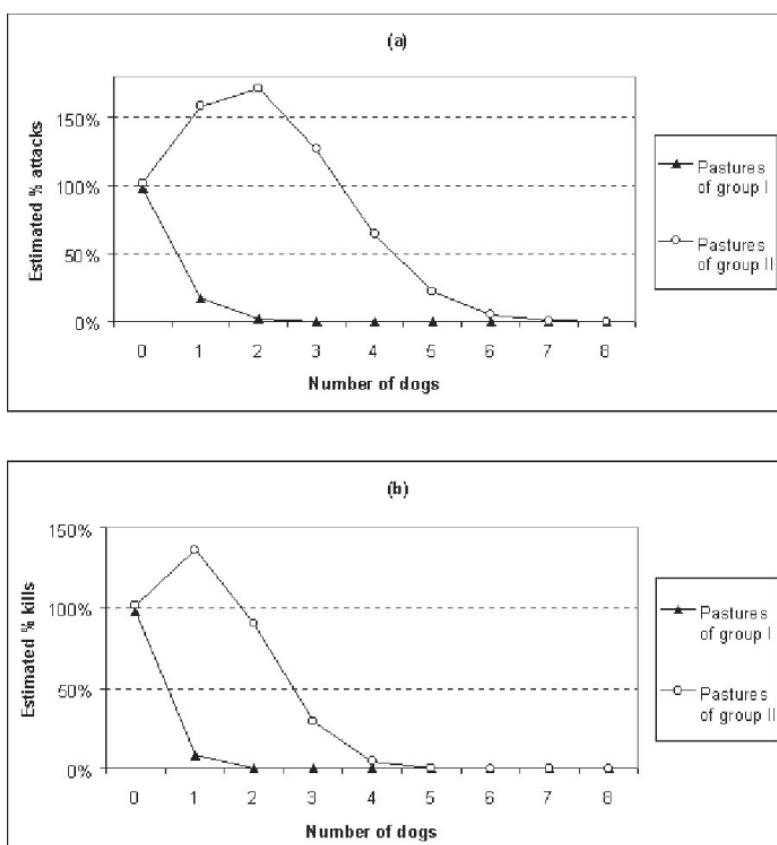


Figure 3. Principaux modèles de réponse des taux d'attaques et de mortalités de loups en fonction du nombre de chiens dans les pâturages étudiés du Mercantour, 1994-2001. Les graphiques montrent les proportions estimées d'attaques réussies (a) et de mortalités (b) prévues en fonction du nombre de chiens de protection du bétail pour les troupeaux des groupes I (39% des pâturages, $n = 26$) et II (42% des pâturages, $n = 26$) confinés la nuit, par rapport aux nombres prévus dans des conditions similaires, sauf en l'absence de chiens. Au sein de chaque groupe, l'effet estimé du nombre de chiens a été moyenné sur les pâturages afin de montrer les schémas généraux de réponse des groupes I et II

2) Groupe II : Le second groupe comprenait 11 cas (42%, $n = 26$) pour lesquels le modèle de réponse à une augmentation du nombre de chiens était d'abord une augmentation des taux d'attaque et de mortalité pour un petit nombre de chiens, puis une diminution des taux d'attaque et de mortalité pour un plus grand nombre de chiens, lorsque les moutons étaient confinés la nuit (Figure 3a et 3b, cercles ouverts). Les modèles préférés prédisaient qu'en présence de chiens, le nombre d'attaques par mois sur les troupeaux du GROUPE II lorsque les moutons étaient confinés la nuit était multiplié en moyenne par :

$$\exp(-.650\text{DOG} - 0.190\text{DOG}^2),$$

et le nombre de mortalités par mois a été multiplié en moyenne par :

$$\exp(-.670\text{DOG} - 0.360\text{DOG}^2).$$

Selon les modèles privilégiés, l'utilisation d'un seul chien de protection du bétail était associée à une augmentation des taux d'attaque et de mortalités, mais la présence de 4 chiens permettait d'éviter 36% des attaques et 95% des mortalités sur les pâturages du GROUPE II lorsque les moutons étaient confinés la nuit (Figures 4c et 4d). Les taux d'attaque et de mortalités avaient tendance à être plus élevés lorsque les troupeaux du GROUPE II étaient seulement rassemblés que lorsqu'ils étaient confinés ; cette différence devenait moins marquée à mesure que le nombre de chiens augmentait (Figures 4c et 4d). Lorsque les troupeaux du GROUPE II se déplacent librement la nuit, les modèles préférés prédisent des taux d'attaque et de mortalité plus élevés en présence qu'en l'absence de chiens.

3) Groupe III : Le troisième groupe comprenait les 5 pâturages restants (19%, $n = 26$), pour lesquels le modèle prédit de réponse à la présence de chiens de protection du bétail était une augmentation des taux d'attaque et de mortalité.

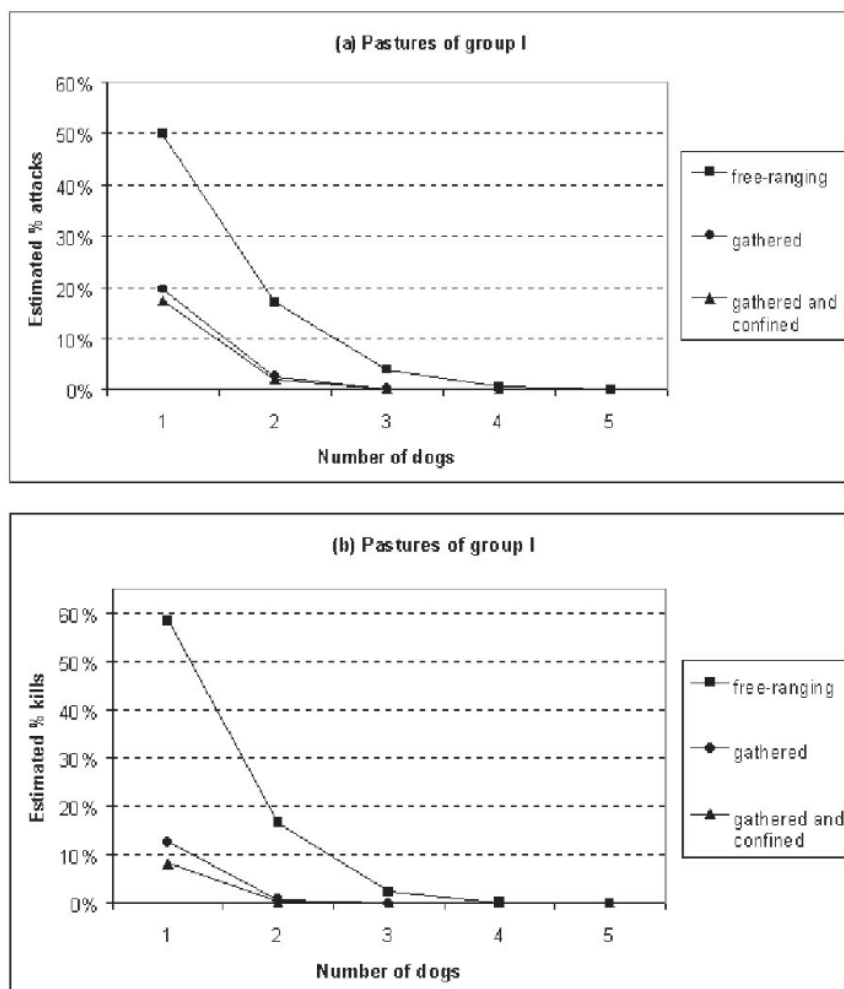


Figure 4. Bénéfice moyen prédit de l'utilisation de chiens de protection du bétail sur les pâturages du groupe I (39%, $n = 26$) et II (42%, $n = 26$) en fonction du degré de confinement des moutons la nuit dans le Mercantour pendant les étés 1994-2001. Les pourcentages estimés d'attaques et de tueries sont relatifs aux nombres prédits dans des conditions similaires, à l'exception de l'absence de chiens : (a) % estimé d'attaques sur les pâturages du groupe I, (b) % estimé de tués sur les pâturages du groupe I. (Suite.)

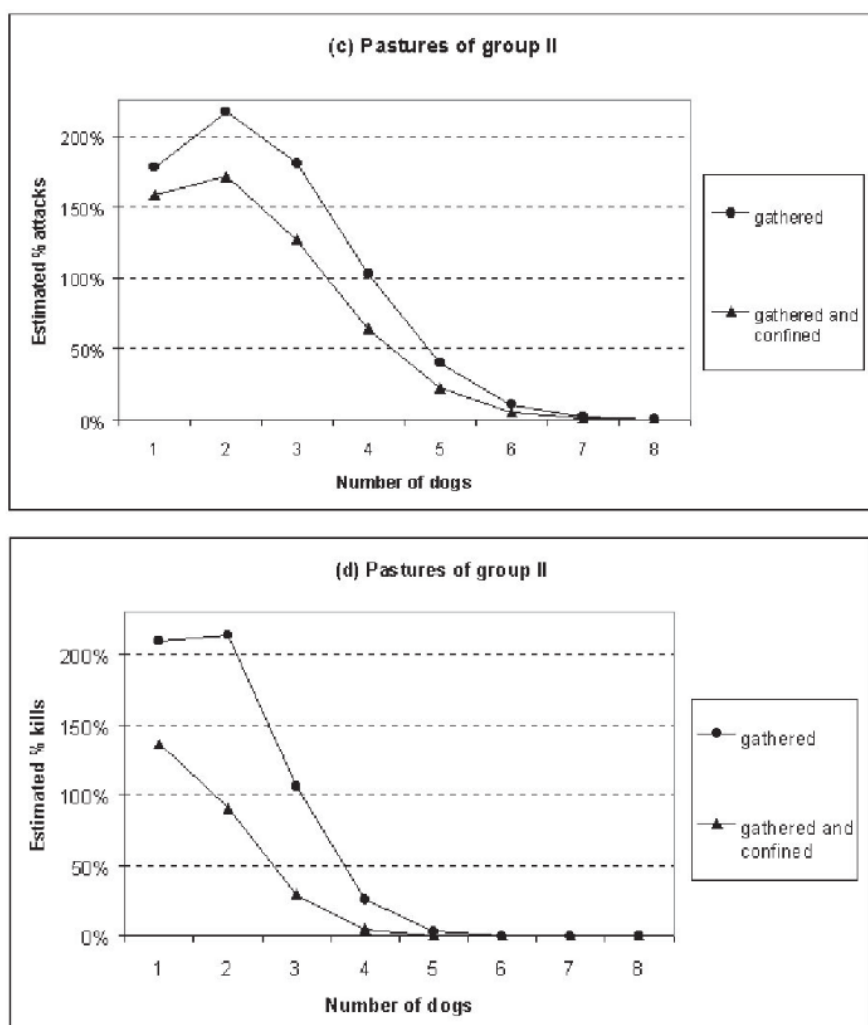


Figure 4 (suite). Bénéfice moyen prédit de l'utilisation de chiens de protection du bétail sur les pâturages du groupe I (39%, $n = 26$) et II (42%, $n = 26$) en fonction du degré de confinement des moutons la nuit dans le Mercantour pendant les étés 1994-2001. Les pourcentages estimés d'attaques et de tués correspondent aux nombres prédits dans des conditions similaires, à l'exception de l'absence de chiens : (c) % d'attaques estimées sur les pâturages du groupe II, (d) % de morts estimées sur les pâturages du groupe II. L'effet des chiens de protection du bétail sur les troupeaux du groupe II lorsque les moutons sont en liberté, qui semble associé à une forte augmentation des taux d'attaque et de mortalité, n'est pas représenté ici.

DISCUSSION

Dans le sud des Alpes Françaises, les chiens de protection du bétail et le rassemblement ou le confinement des moutons la nuit étaient des méthodes efficaces pour réduire les pertes de moutons dues aux loups et agissaient en **synergie**. La présence d'un nombre de chiens dans la fourchette communément utilisée dans la région (1-8 chiens) avait le potentiel d'empêcher la **majeure** partie des pertes de bétail attendues en l'absence de chiens pendant la saison de pâturage estivale.

L'avantage d'utiliser des chiens de protection du bétail a été fortement accru par le confinement (ou, dans une moindre mesure, le simple rassemblement) des moutons chaque nuit : pour 39% des pâturages (c'est-à-dire les pâturages du groupe I), un seul chien était censé empêcher, en moyenne, 42% des mortalité lorsque les moutons étaient libres la nuit, mais 92% des mortalité si les moutons étaient confinés (Figure 4b). **En d'autres termes, le rassemblement et le confinement des moutons la nuit ont réduit le nombre de chiens de protection du bétail nécessaires pour obtenir une réduction donnée des dommages.** Par exemple, les chiens étaient censés fournir une réduction similaire du taux d'attaque pour ces troupeaux lorsque les moutons étaient soit en liberté avec 2 chiens, soit confinés avec 1 chien (Figure 4a). Le confinement et, dans une moindre mesure, le

simple rassemblement des moutons la nuit ont permis de réduire fortement les dommages lorsqu'au moins 4 chiens étaient présents. Il a été prédit que les 2 méthodes de prévention réduisaient le taux de mortalité plus rapidement que le taux d'attaque, ce qui suggère qu'elles réduisaient le nombre moyen de moutons tués par attaque : lorsque la prévention était mise en œuvre, moins d'attaques se produisaient, et celles qui se produisaient entraînaient la perte de moins de moutons.

Cependant, l'efficacité des chiens de protection du bétail était **hétérogène** entre les pâturages. Bien que le fait de classer les pâturages en 3 groupes a posteriori puisse induire une certaine pseudo-réplication, les 2 groupes les plus importants étaient de loin ceux où l'effet protecteur des chiens était efficace (groupes I et II), et ce résultat est robuste à la pseudo-réplication. Les chiens de protection du bétail ont permis de réduire les déprédations dans 81% des pâturages (c'est-à-dire les pâturages des groupes I et II) lorsque les troupeaux étaient confinés la nuit, mais seulement dans 39% des pâturages (c'est-à-dire les pâturages du groupe I uniquement) lorsque les troupeaux étaient libres. Ce résultat est conforme à ce qui est connu dans la littérature, où le pourcentage rapporté de chiens gardiens de bétail qui sont des gardiens réussis varie de 66 à 90% (revue dans Smith et al. 2000a). Les sources de variation de l'efficacité des chiens peuvent inclure la race, l'âge, l'expérience, la lignée génétique et le degré d'attachement aux moutons. **Le lien avec le bétail est un déterminant important du comportement de protection du chien adulte** (Coppinger et al. 1983, Wick 1998, Hansen et Smith 1999). Cependant, une étude menée sur un échantillon de 113 chiens de protection dans le Mercantour a suggéré que 25% d'entre eux n'avaient pas développé de lien affectif fort avec le troupeau auquel ils étaient associés (Durand 2001). Ce manque de lien peut révéler une utilisation sous-optimale des chiens de protection, peut-être liée à une perte de connaissances et d'expérience traditionnelles en l'absence de menace de prédation pendant une longue période (Boitani 1992). Dans le Mercantour, l'augmentation rapide du nombre d'élevages ovins touchés par les déprédations, suite à la recolonisation de la zone par le loup, a entraîné une demande croissante de mesures de prévention et notamment de chiens de protection pendant la période d'étude (Pouille et al. 2000). Les ressources totales disponibles pour le soutien technique des producteurs n'ayant pas augmenté proportionnellement au cours de la même période, les producteurs individuels ont peut-être bénéficié d'un soutien et d'une formation moindres, et la qualité de la lignée génétique des chiots introduits pourrait avoir diminué au cours de la période d'étude (P. Lapeyronie, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Montpellier, communication personnelle).

L'hétérogénéité des réponses des chiens de protection du bétail peut également s'expliquer par les caractéristiques de la recolonisation par les loups et de l'introduction des chiens dans les troupeaux de bétail. Sur la base des comptages de traces hivernales et des observations directes de loups, il a été prouvé que le nombre et la taille des meutes de loups dans le Mercantour ont augmenté au cours de la période d'étude (Pouille et al. 2000, Duchamp et al. 2001). **La première année de présence du loup dans une nouvelle région semblait toujours associée à des déprédations occasionnelles en été ; les taux d'attaque étaient généralement plus élevés l'année suivante, probablement en relation avec des tailles moyennes de meute plus importantes.**

La corrélation positive entre le nombre de chiens de protection du bétail par pâturage au cours de l'été de l'année n et le nombre d'attaques par pâturage au cours de l'été de l'année $n-1$ ($r = 0,19$, $p < 0,01$) suggère que les éleveurs ont eu tendance à introduire des chiens de protection du bétail à la suite de déprédations sur leurs propres troupeaux, plutôt que de manière réellement préventive. De plus, les chiens de protection du bétail étaient souvent introduits progressivement, avec l'introduction d'un premier chien à la suite des déprédations du premier été, l'introduction d'un

chien supplémentaire l'année suivante, etc. (P. Lapeyronie, communication personnelle). Les chiens de protection du bétail peuvent ne pas être pleinement efficaces immédiatement après leur introduction dans un troupeau de moutons car ils ont besoin de temps pour établir leur territoire (Coppinger et Coppinger 1995). Dans l'ensemble, au sein de chaque territoire de meute, nous pouvons supposer que le premier été de présence des loups a été caractérisé par des déprédations occasionnelles et l'absence de chiens de protection du bétail, tandis que le deuxième été a été caractérisé par des taux d'attaque et de mortalité plus élevés et par la présence d'un seul chien inexpérimenté. Au sein de chaque territoire de meute, le passage de 0 à 1 chien de protection du bétail entre le premier et le deuxième été de présence des loups peut avoir été généralement simultané à l'augmentation des taux d'attaque et de mortalité. La **latence** entre l'installation d'une nouvelle meute de loups et la présence de chiens expérimentés avec des moutons dans la zone recolonisée est donc une explication potentielle de l'augmentation des taux d'attaque et de mortalité associés à un petit nombre de chiens, constatée dans cette étude pour certains pâturages.

Dans cette étude, nous avons considéré le facteur ALPAGE comme un effet aléatoire, qui reflète les effets de facteurs non modélisés qui restent à étudier. **Les facteurs candidats évidents comprennent la présence humaine, dont il a été démontré qu'elle affecte le risque de prédation (par exemple, Ciucci et Boitani 1998), et les attributs d'habitat des pâturages.** De plus, des variations significatives du taux de mortalité entre les années et les sites (c'est-à-dire entre les territoires des meutes de loups) ont été constatées, ce qui pourrait également refléter l'effet de facteurs non modélisés. **Un candidat important pour expliquer ces différences spatio-temporelles du taux de mortalité serait la taille de la meute de loups, qui varie selon les années et les sites.** D'autres facteurs potentiellement importants peuvent inclure des différences dans les méthodes de gestion des moutons entre les sites de la zone d'étude, le degré d'apprentissage des loups, les densités locales de proies sauvages, etc. Les effets de ces facteurs potentiellement importants n'ont pas pu être étudiés dans le présent travail en raison du manque de données fiables. La différence d'ajustement entre les modèles préférés des taux d'attaque et de mortalité (49% contre 58% de la variation de l'ensemble des données expliquées, respectivement) pourrait suggérer que le nombre d'attaques par mois peut être plus dépendant de facteurs non modélisés que le nombre de mortalité par mois. Cependant, les effets potentiels des facteurs non modélisés ne sont pas un problème dans la présente analyse puisque notre objectif n'était pas de prédire le risque de déprédation associé à différentes méthodes de gestion du troupeau mais seulement d'estimer le degré d'association entre certaines techniques d'élevage et les dommages. De plus, nous pensons que notre échantillon de 45 pâturages étudiés, qui couvre un large éventail de choix de gestion des moutons et un large éventail d'habitats au sein de 5 territoires de meutes de loups différents, était représentatif des conditions rencontrées dans le Mercantour.

Certains des chiens de protection du bétail étaient connus pour s'éloigner occasionnellement des pâturages. Dans 6,1% des 295 cas de déprédation qui ont touché des troupeaux normalement associés à des chiens, on savait que les chiens étaient temporairement absents au moment de l'attaque. Il s'agit d'une estimation minimale car, en général, la présence effective des chiens n'a pas pu être vérifiée. De même, les troupeaux classés comme étant confinés occasionnellement peuvent avoir passé la nuit en liberté. De plus, 42% des déprédations dont les circonstances étaient connues ($n = 498$) se sont produites sur des moutons qui étaient isolés du troupeau principal avant l'attaque et qui ne pouvaient pas bénéficier de la présence de chiens. Ces biais dans les données n'ont pu être évités, mais ils ont conduit à des tests conservateurs de l'efficacité des chiens de protection et

du regroupement et du confinement de nuit. L'efficacité réelle des chiens et du regroupement ou du confinement nocturne est donc probablement plus élevée que ce que montre cette analyse.

Implications en termes de gestion

L'utilisation de chiens de protection du bétail associée à la présence humaine et au confinement du troupeau la nuit est une méthode traditionnelle encore couramment utilisée dans certaines parties de l'Europe (par exemple, en Espagne, en Roumanie, en Italie) et qui semble particulièrement efficace dans les zones où les gens ont toujours vécu avec de grands carnivores (Atelier Technique des Espaces Naturels 2002). Cependant, le type de production (lait *vs* viande), ainsi que des facteurs socio-économiques tels que le coût de la main-d'œuvre, peuvent imposer des contraintes différentes aux méthodes de gestion des moutons selon les pays (P. Lapeyronie, communication personnelle).

S'il a été démontré que les chiens de protection du bétail et le confinement des moutons la nuit réduisaient les pertes dues aux loups dans le Mercantour, **deux limites techniques majeures à l'utilisation des mesures de prévention dans ce contexte peuvent être mentionnées**. **Tout d'abord**, l'utilisation d'un grand nombre de chiens de protection du bétail peut ne pas être justifiée lorsque le coût de leur entretien tout au long de l'année (300-450 euros par chien et par an) dépasse le bénéfice économique de la prévention des pertes. Cependant, à l'heure actuelle, il semble encore difficile de tirer des conclusions sur l'efficacité d'un petit nombre de chiens en se basant uniquement sur les données utilisées dans cette analyse, car le processus de recolonisation a entraîné, comme nous l'avons vu plus haut, une association entre le petit nombre et **l'inexpérience** des chiens. **Par conséquent, d'autres études devraient examiner spécifiquement l'efficacité d'un petit nombre de chiens de protection du bétail expérimentés plusieurs années après leur introduction**. Il convient également de mentionner que les chiens de protection du bétail peuvent prévenir efficacement les pertes de chiens domestiques et de loups, et que ce bénéfice secondaire devrait être étudié et inclus dans toute analyse coût-bénéfice des mesures de prévention. **Deuxièmement**, le Mercantour est une zone écologiquement vulnérable et protégée où la question de l'innocuité des mesures de prévention doit être abordée. Si l'impact des chiens de protection des animaux vivants sur la faune s'est avéré généralement non significatif dans le Mercantour, **l'accumulation de déchets azotés sur les habitats fragiles et protégés d'altitude, due au confinement nocturne de grands troupeaux de moutons sur de petites surfaces de pâturage, est préoccupante** (Lapeyronie et Moret 2003).

L'efficacité des méthodes de prévention dans le Mercantour serait un argument pour conditionner l'indemnisation des dommages à l'utilisation effective des chiens de protection du bétail et au confinement des moutons par les éleveurs. Dans 29% des mois de pâturage étudiés, les chiens de protection du bétail ont été utilisés sans être associés au rassemblement ou au confinement des moutons la nuit. La présente étude suggère que cela a probablement entraîné une efficacité des chiens bien inférieure à ce qu'elle aurait pu être. Cependant, l'utilisation de chiens et le confinement nocturne pourraient être difficiles dans certains pâturages en raison des conditions environnementales. En particulier, une topographie abrupte et accidentée ou l'utilisation de zones boisées pourraient rendre difficile l'utilisation d'enclos pour le confinement et pourraient retarder la détection de l'approche des loups par les chiens de protection du bétail. Si l'indemnisation des dommages était conditionnée à la prévention, il faudrait déterminer si les causes de la faible efficacité des chiens de protection du bétail sur certains pâturages peuvent être traitées (par exemple, les chiens ne sont pas suffisamment liés aux moutons) ou non (par exemple, une topographie difficile empêchant une utilisation efficace des chiens de protection et du

confinement), afin de concevoir des systèmes d'indemnisation qui tiennent compte de la **faisabilité** de l'utilisation de méthodes de prévention sur chaque pâturage.

La protection de certains troupeaux de moutons peut avoir conduit les loups à passer, dans une certaine mesure, d'un troupeau à l'autre en fonction de leur degré relatif de protection, et on ne sait pas ce qui se passerait si des mesures de prévention étaient mises en œuvre pour tous les troupeaux. Par exemple, les loups se tourneraient-ils vers des proies sauvages ou l'efficacité des mesures de prévention diminuerait-elle ? Les changements dans l'effet des méthodes de prévention sont imprévisibles et ne peuvent être évalués que par l'expérimentation (par exemple, en protégeant tous les troupeaux, en collectant des données supplémentaires et en réestimant les paramètres des modèles). Face à ces incertitudes, il semble nécessaire de réévaluer périodiquement l'efficacité des chiens de protection du bétail et du confinement nocturne des moutons afin de pouvoir adapter les choix de gestion à la capacité des agriculteurs à prévenir les dommages.