

Année 2009

LE SUIVI DES LOUPS (*Canis lupus*) PAR TÉLÉMÉTRIE :
L'EXEMPLE DU SUIVI HIVERNAL DES LOUPS DU
PARC NATIONAL DU YELLOWSTONE
(ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE).

THESE

Pour le

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant

LA FACULTE DE MEDECINE DE CRETEIL

le.....

par

Aude BOURGEOIS

Née le 28 mars 1980 à Paris 12^{ème} (Seine)

JURY

Président : M.

Professeur à la Faculté de Médecine de CRETEIL

Membres

Directeur : Dr. ARNE

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort

Assesseur : Dr. FONTBONNE

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort

LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT

Directeur : M. le Professeur MIALOT Jean-Paul

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs MORAILLON Robert, PARODI André-Laurent, PILET Charles, TOMA Bernard

Professeurs honoraires: MM. BRUGERE Henri, BUSSIERAS Jean, CERF Olivier, CLERC Bernard, LE BARS Henri, MILHAUD Guy, ROZIER Jacques,

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET PHARMACEUTIQUES (DSBP)

Chef du département : Mme COMBRISON Héléne, Professeur - Adjoint : Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences

<p>- UNITE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES Mme CREVIER-DENOIX Nathalie, Professeur M. DEGUEURCE Christophe, Professeur Mme ROBERT Céline, Maître de conférences M. CHATEAU Henry, Maître de conférences*</p> <p>- UNITE DE PATHOLOGIE GENERALE , MICROBIOLOGIE, IMMUNOLOGIE Mme QUINTIN-COLONNA Françoise, Professeur* M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur M. FREYBURGER Ludovic, Maître de conférences</p> <p>- UNITE DE PHYSIOLOGIE ET THERAPEUTIQUE Mme COMBRISON Héléne, Professeur* M. TIRET Laurent, Maître de conférences Mme STORCK-PILOT Fanny, Maître de conférences</p> <p>- UNITE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE Mme ENRIQUEZ Brigitte, Professeur M. TISSIER Renaud, Maître de conférences* M. PERROT Sébastien, Maître de conférences</p> <p>- DISCIPLINE : ETHOLOGIE M. DEPUTTE Bertrand, Professeur</p> <p>- DISCIPLINE : ANGLAIS Mme CONAN Muriel, Professeur certifié</p>	<p>- UNITE D'HISTOLOGIE , ANATOMIE PATHOLOGIQUE M. CRESPEAU François, Professeur M. FONTAINE Jean-Jacques, Professeur * Mme BERNEX Florence, Maître de conférences Mme CORDONNIER-LEFORT Nathalie, Maître de conférences</p> <p>- UNITE DE VIROLOGIE M. ELOIT Marc, Professeur * Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences</p> <p>- DISCIPLINE : PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES M. MOUTHON Gilbert, Professeur</p> <p>- UNITE DE GENETIQUE MEDICALE ET MOLECULAIRE M. PANTHIER Jean-Jacques, Professeur Mme ABITBOL Marie, Maître de conférences*</p> <p>- UNITE DE BIOCHIMIE M. MICHAUX Jean-Michel, Maître de conférences* M. BELLIER Sylvain, Maître de conférences</p> <p>- DISCIPLINE : EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE M. PHILIPS, Professeur certifié</p>
--	---

DEPARTEMENT D'ELEVAGE ET DE PATHOLOGIE DES EQUIDES ET DES CARNIVORES (DEPEC)

Chef du département : M. POLACK Bruno, Maître de conférences - Adjoint : M. BLOT Stéphane, Maître de conférences

<p>- UNITE DE MEDECINE M. POUCHELON Jean-Louis, Professeur* Mme CHETBOUL Valérie, Professeur M. BLOT Stéphane, Maître de conférences M. ROSENBERG Charles, Maître de conférences Mme MAUREY Christelle, Maître de conférences</p> <p>- UNITE DE CLINIQUE EQUINE M. DENOIX Jean-Marie, Professeur M. AUDIGIE Fabrice, Maître de conférences* Mme GIRAUDET Aude, Praticien hospitalier Mme MESPOULHES-RIVIERE Céline, Maître de conférences contractuel Mme PRADIER Sophie, Maître de conférences contractuel</p> <p>- UNITE DE REPRODUCTION ANIMALE Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, Maître de conférences (rattachée au DPASP) M. NUDELMANN Nicolas, Maître de conférences M. FONTBONNE Alain, Maître de conférences* M. REMY Dominique, Maître de conférences (rattaché au DPASP) M. DESBOIS Christophe, Maître de conférences Mme CONSTANT Fabienne, Maître de conférences (rattachée au DPASP) Mme DEGUILLAUME Laure, Maître de conférences contractuel (rattachée au DPASP)</p> <p>- DISCIPLINE : URGENCE SOINS INTENSIFS Mme Françoise ROUX, Maître de conférences contractuel</p>	<p>- UNITE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE M. FAYOLLE Pascal, Professeur * M. MAILHAC Jean-Marie, Maître de conférences M. NIEBAUER Gert, Professeur contractuel Mme VIATEAU-DUVAL Véronique, Maître de conférences Mme RAVARY-PLUMIOEN Bérandère, Maître de conférences (rattachée au DPASP) M. ZILBERSTEIN Luca, Maître de conférences contractuel M. JARDEL Nicolas, Maître de conférences contractuel</p> <p>- UNITE D'IMAGERIE MEDICALE Mme BEGON Dominique, Professeur* Mme STAMBOULI Fouzia, Praticien hospitalier</p> <p>- DISCIPLINE : OPHTALMOLOGIE Mme CHAHORY Sabine, Maître de conférences</p> <p>- UNITE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES M. CHERMETTE René, Professeur * M. POLACK Bruno, Maître de conférences M. GUILLOT Jacques, Professeur Mme MARIENAC Geneviève, Maître de conférences Mme HALOS Lénaïg, Maître de conférences M. HUBERT Blaise, Praticien hospitalier</p> <p>- DISCIPLINE : NUTRITION-ALIMENTATION M. PARAGON Bernard, Professeur M. GRANDJEAN Dominique, Professeur</p>
--	---

DEPARTEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES ET DE LA SANTE PUBLIQUE (DPASP)

Chef du département : M. MAILLARD Renaud, Maître de conférences - Adjoint : Mme DUFOUR Barbara, Maître de conférences

<p>- UNITE DES MALADIES CONTAGIEUSES M. BENET Jean-Jacques, Professeur* Mme HADDAD/ HOANG-XUAN Nadia, Maître de conférences Mme DUFOUR Barbara, Maître de conférences</p> <p>- UNITE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE M. BOLNOT François, Maître de conférences * M. CARLIER Vincent, Professeur Mme COLMIN Catherine, Maître de conférences M. AUGUSTIN Jean-Christophe, Maître de conférences</p> <p>- DISCIPLINE : BIOSTATISTIQUES M. SANAA Moez, Maître de conférences</p>	<p>- UNITE DE ZOOTECHNIE, ECONOMIE RURALE M. COURREAU Jean-François, Professeur M. BOSSE Philippe, Professeur Mme GRIMARD-BALLIF Bénédicte, Professeur Mme LEROY Isabelle, Maître de conférences M. ARNE Pascal, Maître de conférences M. PONTER Andrew, Maître de conférences*</p> <p>- UNITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DU BETAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR M. MILLEMANN Yves, Maître de conférences Mme BRUGERE-PICOUX Jeanne, Professeur (rattachée au DSBP) M. MAILLARD Renaud, Maître de conférences M. ADJOU Karim, Maître de conférences*</p>
--	--

* Responsable de l'Unité

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur de la Faculté de Médecine de Créteil qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de thèse.

Hommage respectueux.

A Monsieur Arné, Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, pour m'avoir conseillée avec sagesse et pour ses précieuses corrections.

Hommage respectueux.

A Monsieur Fontbonne, Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, qui a accepté d'être l'assesseur de cette thèse.

Hommage respectueux.

A Monsieur Patrick Degeorges et Monsieur Antoine Nochy, initiateurs du projet de recherche, sans qui cette thèse n'aurait pas vu le jour, pour la confiance qu'ils m'ont accordée.

Sincères remerciements.

A Monsieur Douglas Smith, Madame Debra Guernsey et Monsieur Dan Stahler, responsables du *Wolf Project*, pour m'avoir acceptée au sein de leur équipe.

Sincères remerciements.

A l'équipe du suivi hivernal du Parc National du Yellowstone de mars 2006 : Erin Albers, Emily Almberg, Jessica Auer, Jack Bean, George Heinz, Matt Metz, Abby Nelson, Michael Nordell, pour leur accueil, leur enthousiasme et leur compétence.

Sincères remerciements.

Au Docteur Guillaume Chapron, qui a également participé à cette mission, pour son aide dans ma recherche de documents ainsi que pour les moments partagés.

Sincères remerciements.

A Monsieur Gérard Millischer, agent du Parc National du Mercantour, pour sa gentillesse et ses précieux renseignements.

Sincères remerciements.

Au Docteur Véronique Luddeni, pour sa disponibilité, son aide et toute la confiance qu'elle m'a accordée.

Sincères remerciements.

A ma maman, pour tous ses sacrifices, pour m'avoir permis de me réaliser et de suivre mes rêves. Aucun mot ne saurait rendre tout l'amour que j'ai reçu.

A ma famille, à Mamie, Dominique et Lorenza, Fiorella et Ornella, Irène, Jean-Luc et Florian, pour avoir été et être à jamais mes repères, pour m'avoir permis de me construire, pour leur présence, leur amour et leur soutien en toute chose.

A Nicolas, pour sa patience et son amour, pour les épreuves traversées et tous les moments merveilleux, pour une vie peu ordinaire, passée et à venir.

A toutes les filles de mon groupe : Anne-Laure, Blandine, Cécile, Laura, Marie, Séverine, Sylvie, sans qui ces années d'écoles auraient été bien tristes.

A tous mes amis, rencontrés au grès des voyages, jamais oubliés, parce qu'en amitié, la distance importe peu.

A Myriam, qui malgré l'absence restera dans mon cœur.

Aux loups.

A mon Papi, qui je le sais, m'accompagne encore...

TABLE DES MATIERES

Liste des figures	5
Liste des tableaux	7
Liste des sigles et abréviations.....	8
Liste des espèces animales citées	9
INTRODUCTION.....	11
PREMIÈRE PARTIE : LE SUIVI DES LOUPS PAR TÉLÉMÉTRIE	13
I. Radiopistage des loups: présentation technique.....	15
A. Pose du matériel	15
1. Capture	15
2. Anesthésie	20
3. Fixation du matériel	24
B. Radiopistage VHF.....	25
1. Le système VHF.....	25
a) Système émetteur	25
i) Emetteur	26
ii) Fréquence émettrice	26
iii) Batteries.....	27
iv) Protection de l'émetteur	27
v) Antenne émettrice	28
vi) Autres utilisations de l'émetteur.....	28
b) Système récepteur	29
i) Récepteurs	30
ii) Antenne réceptrice.....	31
• Antennes omnidirectionnelles	32
• Antennes directionnelles	34
• Antennes adaptables	37
iii) Appareils enregistreurs, compteurs et décodeurs	38
2. Méthodes de détection des loups par radiopistage	38
a) Etablir un angle de réception et un azimut.....	38
b) Le <i>homing-in</i> ou guidage radio vers la station émettrice	39

c)	La triangulation	39
d)	Pistage automatique.....	40
e)	Sources d'erreur de localisation par la télémétrie VHF	41
i)	Les échos	41
ii)	Phénomène de polarisation du signal	45
iii)	Phénomène d'annulation de phase	45
f)	L'observation visuelle des loups	47
C.	Suivi par satellite	48
D.	Suivi par GPS (<i>Global Positioning System</i>).....	51
1.	Le système GPS	51
2.	Options utiles des systèmes de suivi par GPS.....	53
a)	Augmentation de la durée de vie des batteries	53
b)	Batteries remplaçables sur le terrain	54
c)	Système de télécommunication bilatérale	54
d)	Traitement et analyse des données	54
e)	Autres options des systèmes GPS	55
3.	Récupération des données pour le pistage GPS	55
a)	Données GPS stockées sur mémoire embarquée	55
b)	Données GPS téléchargées sur un récepteur portable	56
c)	Données GPS relayées par satellite	57
E.	Quel système choisir ?.....	58
1.	Définir la question de recherche.....	58
2.	Evaluer les moyens dont on dispose	58
3.	Coût et effort humain	58
4.	Précision	60
5.	Des alternatives à la télémétrie.....	62
F.	Effet du marquage et du radiopistage sur les loups.....	63
II.	La télémétrie : applications dans l'étude des loups.....	67
A.	Mouvements des loups	67
1.	Estimer la taille du domaine vital.....	68
2.	Dispersion des loups.....	70
B.	Dynamique des populations de loups.....	70
1.	Densité et distribution des loups	70
2.	Taux de natalité et de mortalité	71

C.	Régime alimentaire et taux de prédation.....	72
D.	Ethologie	74
1.	Activité.....	74
2.	Communication	75
3.	Interactions	75
a)	Interactions intraspécifiques et structure sociale des meutes de loups.....	75
b)	Interactions interspécifiques.....	76
E.	Connaissances sur la physiologie des loups.....	76
F.	Contrôle sanitaire des populations de loups.....	77
G.	Gestion des populations de loups	77

DEUXIÈME PARTIE : L'EXEMPLE DU SUIVI HIVERNAL DES LOUPS

DANS LE PARC NATIONAL DU YELLOWSTONE..... 79

I.	Historique du suivi hivernal	81
A.	Les loups du Parc National du Yellowstone (Etats-Unis d'Amérique).....	81
B.	Mise en place du suivi hivernal.....	83
II.	Description du protocole de suivi hivernal	85
A.	Sujets d'étude	85
1.	Choix des individus.....	85
2.	Marquage des individus	86
B.	Equipes	87
C.	Equipement.....	89
1.	Matériel optique	89
2.	Matériel d'autopsie.....	89
3.	Matériel électronique.....	90
4.	Matériel de recueil de données.....	90
5.	Autre.....	90
D.	Données relevées.....	90
1.	Taux de prédation.....	91
2.	Sélection et utilisation des proies	92
3.	Temps passé sur la carcasse	95
4.	Mouvements / Activités	96
5.	Interactions inter et intra spécifiques	98
a)	Interactions loup-proie	98
b)	Interactions loup-loup	99

c) Interactions loup-non proie	99
6. Le <i>leadership</i>	101
III. Le suivi hivernal en pratique	103
A. Expérience personnelle	103
1. Une mission à l'initiative du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.....	103
2. Journée type.....	104
a) Suivi et observation des loups.....	104
b) Examen des carcasses.....	105
B. Un développement de moyens pour un suivi rigoureux.....	105
C. Les apports du suivi hivernal.....	106
1. Quelques résultats	106
2. Communication autour du projet.....	107
CONCLUSION.....	109
BIBLIOGRAPHIE.....	111
ANNEXES.....	129

Liste des figures

<i>Figure 1. Hausse-pied, piège à loups illustré dans Le livre de la chasse de Gaston Phébus (1389). (Crédit photo : Bibliothèque Nationale de France).....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 2. Piège à lacet de type Belisle (crédit photo : Aude Bourgeois).....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 3. Collier émetteur VHF adapté pour un loup (modèle CI2 Hololil ®, crédit photo Hololil).....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 4. Antenne dipôle omnidirectionnelle (crédit photo Atstrack ®).....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 5. Diagramme de rayonnement d'une antenne dipôle, sur le plan horizontal ou azimut et sur le plan vertical ou élévation (Kuechle, 2005).....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 6. Diagramme de rayonnement d'une antenne Yagi à 3 éléments (Kuechle, 2005).....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 7. Antenne Yagi à trois éléments (crédit photo Atstrack®).....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 8. Antenne en H (crédit photo Atstrack®).....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 9. Emission et réception des signaux télémétriques dans un relief montagneux (Tomkiewicz, 1998).....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 10. Radiopistage par triangulation (Tomkiewicz, 1998).....</i>	<i>43</i>
<i>Figure 11. Radiopistage par triangulation dans un environnement montagneux (Tomkiewicz, 1998).....</i>	<i>44</i>
<i>Figure 12. Phénomène de sommation et d'annulation de phase d'ondes radio (Tomkiewicz, 1998).....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 13. Phénomène d'annulation de phase des ondes radio télémétriques (Tomkiewicz, 1998).....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 14. Vue d'ensemble du système Argos (Collecte Localisation Satellite, 2008).....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 15. Variations de polygones convexes minimums, résultants de quatre sélections aléatoires de 50 points, chacun issus de la même matrice de points (Bekoff & Mech, 1984, cités par Mech & Boitani, 2003b).....</i>	<i>69</i>
<i>Figure 16. Territoire des meutes de loups dans le Grand Yellowstone en 1996 (Phillips & Smith, 1997).....</i>	<i>82</i>
<i>Figure 17. Complexité de l'écosystème du Yellowstone (Smith et al., 2003).....</i>	<i>83</i>

<i>Figure 18. Un des membres du Wolf Project (équipe au sol) tente de repérer les loups de la meute Hellroaring à l'aide d'une antenne réceptrice en H (crédit photo : Aude Bourgeois).</i>	88
<i>Figure 19. Un des membres de l'équipe du Wolf Project observe les loups pendant plusieurs heures par jours à l'aide d'une longue vue (crédit photo : Aude Bourgeois).</i>	89
<i>Figure 20. Prélèvement de moelle osseuse sur un fémur de bison tué par la meute Slough Creek du Parc National du Yellowstone en mars 2006 (crédit photo : Aude Bourgeois).</i>	95
<i>Figure 21. Domaines vitaux des meutes de loups du Parc National du Yellowstone en 2006 (Smith et al., 2007)</i>	97
<i>Figure 22. Observation aérienne d'une interaction interspécifique entre les loups (équipés de colliers émetteurs VHF) de la meute Mollie du Parc National du Yellowstone et d'un grizzly et de son ourson profitant d'une carcasse de wapiti tué par cette meute (Smith et al., 2006b).</i>	100

Liste des tableaux

Tableau 1. Posologies suggérées d'anesthésiques et de sédatifs pour des loups captifs ou sauvages (Kreeger 2003 ; Arnemo et al., 2004 ; Luddeni, données personnelles)..... 23

Liste des sigles et abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique.

AM : *Amplitude modulation* (modulation d'amplitude).

BNC : *Bayonet Neill-Concelman* (type de connecteur d'antenne).

CNES : Centre National d'Etudes Spatiales.

EPR : *Effective power radiated* (puissance effective globalement émise par une antenne).

FM : *Frequency modulation* (modulation de fréquence).

GPS : *Global positioning system* (géo-positionnement par satellite).

GSM : *Global System for Mobile Communication* (GSM pour téléphones portables).

kg : Kilogramme.

kHz : Kilohertz.

km : Kilomètre.

LOS : *Line of sight* (ligne de vue).

MHz : Mégahertz.

MICS : *Minimally invasive capture system* (système de capture faiblement invasif).

NASA : *National Aeronautics and Space Administration* (Agence des Etats-Unis d'Amérique de l'aéronautique et de l'espace).

NOAA : *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Agence nationale des Etats-Unis d'Amérique de l'aéronautique et de l'espace).

NPS : *National Park Service* (agence fédérale des Etats-Unis d'Amérique en charge de la gestion des parcs nationaux).

SIG: Système d'Information Géographique.

SMS : *Short Message System* (système de messages succints).

UHF : Ultra haute fréquence.

USA : *United States of America* (Etats-Unis d'Amérique).

USB : *Universal Serial Bus* (Bus série universel).

UTM : *Universal Transverse Mercator* (Transverse Universelle de Mercator).

VHF : *Very high frequency* (très haute fréquence).

Liste des espèces animales citées

Aigle royal : *Aquila chrysaetos*
Antilope américaine : *Antilocapra americana*
Bison d'Amérique: *Bison bison*
Blaireau : *Taxidea taxus*
Bœuf musqué : *Ovibos moschatus*
Caribou : *Rangifer tarandus*
Castor : *Castor canadensis*
Cerf à queue noire : *Odocoileus hemionus*
Cerf de virginie : *Odocoileus virginianus*
Chèvre des montagnes rocheuses : *Oreamnos americanus*
Grand corbeau : *Corvus corax*
Coyote : *Canis latrans*
Elan : *Alces alces*
Eléphant d'Asie : *Elephas maximus*
Loup : *Canis lupus*
Loup rouge : *Canis rufus*
Marmotte : *Marmota monax*
Mouffette : *Mephitis mephitis*
Mouflon canadien : *Ovis canadensis*
Ours grizzly : *Ursus arctos*
Ours noir : *Ursus americanus*
Ours polaire : *Ursus maritimus*
Pie bavarde: *Pica pica*
Puma : *Felis concolor*
Pygargue à tête blanche : *Haliaeetus leucocephalus*
Requin baleine : *Rhincodon typus*
Renard roux: *Vulpes vulpes*
Souris : *Mus musculus*
Truite fardée : *Oncorhynchus clarkii bouvieri*
Wapiti : *Cervus elaphus*

INTRODUCTION

Préserver les écosystèmes nécessite de bien comprendre leur fonctionnement. Divers outils ont été développés afin de faciliter le recueil de données et de mieux appréhender les systèmes complexes. Ainsi, pour l'étude de la faune sauvage dans son milieu naturel, l'une des plus importantes techniques ayant contribué à étoffer nos connaissances est la télémétrie. Il s'agit de la transmission d'informations dans l'atmosphère, grâce à des éléments optiques, acoustiques ou radioélectriques (Mech & Barber, 2002). Le terme *télémétrie*, vient des mots grecs *tele* et *metron* et signifie littéralement *mesure à distance*. Concernant la faune sauvage, cette technique est généralement associée à un marquage radio qui permet de suivre les mouvements de l'animal. On parle alors de *radiopistage*. Le terme *télémétrie* devrait être réservé en toute rigueur aux cas où des données sur l'état de l'animal (par exemple la température corporelle) sont aussi transmises. Cependant le terme *télémetre*, a été utilisé pour la première fois par des ingénieurs de l'armée française en 1852 pour décrire de nouvelles méthodes de mesure de localisation d'une cible. La télémétrie comprend donc à l'origine ce qu'on appelle le pistage (détermination d'une série de localisations) et il semble utile d'employer *télémétrie* comme un terme générique pour toutes les méthodes d'obtention d'informations à distance sur des animaux (Priede, 1992).

Le radiopistage a permis deux grandes avancées dans la recherche sur la faune sauvage : (1) la possibilité d'identifier des individus et (2) la possibilité de localiser chaque animal à tout moment (Mech & Barber, 2002). Ces avantages ont conduit depuis sa première utilisation en 1963 par Cochran et Lord, à une utilisation croissante du radiopistage. Le développement de cette technique, même pour des espèces communes et bien étudiées, a fourni de nouveaux aperçus sur divers aspects de leur biologie. Actuellement de par le monde, une grande variété d'espèces est suivie par télémétrie : de l'éléphant (Venkataraman *et al.*, 2005) à la souris (McSharry *et al.*, 2006) en passant par le requin baleine (Hsu *et al.*, 2007) ou le corbeau (Marzluff & Neatherlin, 2006). La plupart des parcs nationaux aux Etats-Unis d'Amérique, ont ainsi reconnu les bénéfices du radiopistage et soutiennent des recherches utilisant la télémétrie depuis déjà plusieurs années. Dans certains parcs, ce sont des centaines d'animaux qui sont ainsi étudiés (Mech & Barber, 2002). Le radiopistage est la technique de recherche en faune sauvage qui présente le plus d'avantages et ses applications ont été

particulièrement productives pour les mammifères difficiles à étudier comme les grands carnivores (Mech, 1980).

Le suivi des loups par télémétrie a été réalisé pour la première fois à la fin des années soixante en Ontario, au Canada (Kolenosky & Johnston, 1967). Depuis, des milliers de loups sauvages ont été équipés et suivis intensément (Mech, 1995). Ces études ont permis un recueil de données et d'informations essentielles pour tenter de comprendre le fonctionnement des loups dans les écosystèmes.

Ainsi au Minnesota, près de mille loups ont été suivis par télémétrie (Mech, 1973 ; Mech, 1980 ; Mech, 1986 ; Van Ballenberghe *et al.*, 1975 ; Fritts & Mech, 1981 ; Berg & Kuehn, 1982 ; Fuller, 1989a ; Merrill & Mech, 2000). En Alaska, depuis 1991, plus d'une centaine de meutes de loups, équipées de colliers émetteurs ont été étudiées (Stephenson *et al.*, 1995). Bien que la plupart des recherches aient été réalisées en Amérique du Nord, la télémétrie est actuellement utilisée pour le suivi des loups, dans d'autres parties du monde, comme en Espagne (Vila *et al.*, 1995), au Portugal (Bessa-Gomes & Petrucci-Fonseca, 2003), en Biélorussie et en Pologne (Jedrzejewski *et al.*, 2002 ; Theuerkauf *et al.*, 2003), en Scandinavie (Alfredeen, 2006 ; Kojola *et al.*, 2006), en Slovaquie (Findo & Chovankova, 2004), en Inde (Jethva & Jhala, 2004), et bientôt en France dans le cadre d'un programme de recherche de *l'impact du loup sur les populations d'ongulés sauvages dans les Alpes* mis en place depuis 2002 (Bernard-Laurent, 2005).

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration scientifique et technique entre la France et les Etats-Unis, initiée en 2006 par le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable et ayant pour but une gestion durable des grands prédateurs, par le développement et la communication de savoir-faire. Ce travail s'attachant plus particulièrement au suivi des loups par la télémétrie, nous en préciserons dans un premier temps les aspects techniques puis les applications pratiques. Dans une seconde partie nous évoquerons l'exemple du suivi des loups dans le Parc National du Yellowstone (Etats-Unis d'Amérique), en nous basant sur le recueil des techniques par la mission de collaboration réalisée lors du suivi hivernal des loups de mars 2006 au Yellowstone.

PREMIÈRE PARTIE :
LE SUIVI DES LOUPS PAR TÉLÉMÉTRIE

I. Radiopistage des loups: présentation technique

Un système de radiopistage basique est composé (1) d'un système émetteur, comprenant un émetteur radio, une source d'alimentation électrique, une antenne émettrice, et (2) d'un système récepteur, comprenant une antenne réceptrice, un récepteur du signal avec un indicateur de réception (enceinte et/ou cadran d'affichage) et une source d'alimentation. La plupart des systèmes de radiopistage comprennent des émetteurs réglés sur des fréquences différentes (analogues aux différentes stations radio AM/FM) qui permettent des identifications individuelles (Mech & Barber, 2002).

Trois types distincts de radiopistage sont utilisés de nos jours : (1) le radiopistage conventionnel à très haute fréquence (VHF), (2) le suivi par satellite, (3) le suivi par *Global Positioning System* (GPS) (Mech & Barber, 2002).

A. Pose du matériel

La pose du matériel de télémétrie sur un loup nécessite de capturer l'animal vivant et éventuellement de l'anesthésier. Toute tentative de capture de la faune sauvage doit être bien encadrée et préparée. L'*Alberta Wildlife Care Committee* (2005) préconise que toute recherche menant à la capture de canidés sauvages soit conduite par un biologiste diplômé et/ou ayant l'expérience requise. Par ailleurs, tout membre de l'équipe devrait être entraîné et formé à la capture et la contention d'animaux sauvages, ainsi qu'initié à l'usage des anesthésiques. La contribution d'un vétérinaire peut avoir lieu en tant que membre de l'équipe de capture ou bien en tant que consultant, en contact avec l'équipe durant la capture. La manipulation d'animaux sauvages et d'anesthésiques n'est pas anodine ni sans risque. Il est donc nécessaire que le personnel de terrain connaisse les premiers gestes de secours en cas d'accident. D'une manière générale, l'équipe de capture sur le terrain doit être réduite à son strict minimum pour être efficace sans entraver le bon déroulement des opérations par des mouvements brusques, des bruits, des odeurs...

1. Capture

La capture est une étape essentielle dans tout projet de suivi par télémétrie. Elle doit être efficace, sélective et sans risque pour l'animal (Ryser *et al.*, 2005). Les premières

techniques de capture du loup furent développées pour la chasse. Une grande variété de pièges a été utilisée à travers les siècles, du *hausse-pied* (figure 1) illustré dans le livre de la chasse de Gaston Phébus en 1389, aux collets, en passant par les classiques pièges à mâchoires (Young & Goldman, 1944). De nos jours encore, les acteurs de la gestion des populations de loups, passant par un contrôle létal, utilisent différentes techniques de capture. Dans le Montana (Etats-Unis), 42 % des loups prélevés sont attrapés avec des pièges et 58 % à l'aide d'un hélicoptère qui peut être un outil extrêmement efficace, aussi bien pour anesthésier des loups que pour les tuer à distance. Dans le Minnesota et le Wisconsin (Etats-Unis d'Amérique) des pièges à mâchoires sont utilisés pour capturer la plupart des animaux à problème dans le cadre des contrôles de déprédation (Fritts *et al.*, 2003).

Figure 1. Hausse-pied, piège à loups illustré dans Le livre de la chasse de Gaston Phébus (1389). (Crédit photo : Bibliothèque Nationale de France)



La gestion de la faune sauvage, les contrôles sanitaires ou la recherche scientifique ont nécessité de développer des techniques de captures qui ne blessent pas l'animal. Tout système

de piégeage comporte cependant des risques et les conséquences physiologiques et comportementales de la capture sur l'animal demeurent peu documentées.

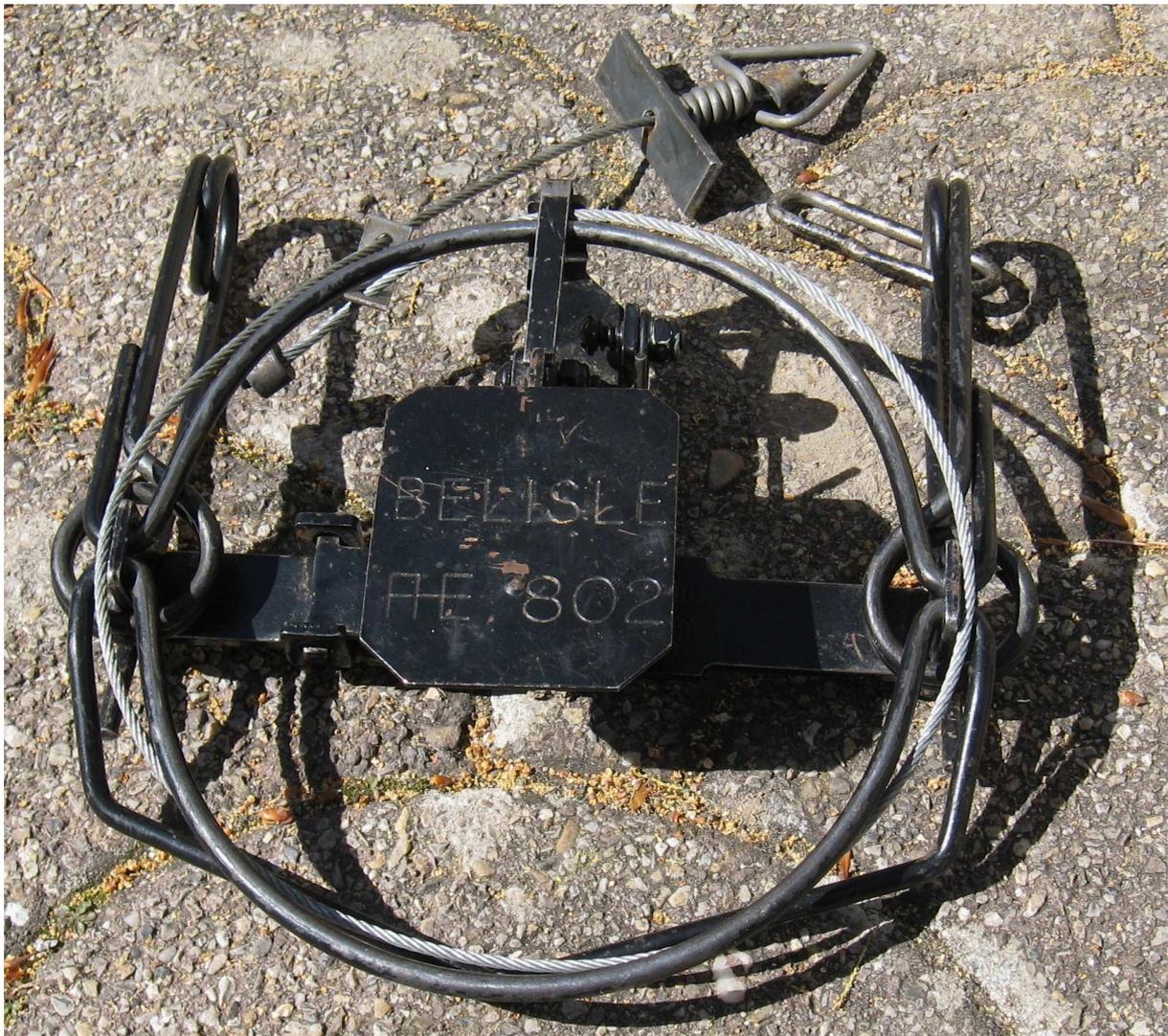
Outre les blessures dues au piège lui-même, pouvant aller jusqu'à la fracture dans le cas de pièges à mâchoires, les loups capturés peuvent ingérer de grandes quantités de bois, plantes ou débris, souffrir de la chaleur et de déshydratation ; ils risquent d'être blessés par d'autres loups ou d'être découverts par des humains malveillants (Van Ballenberghe, 1984). Il est donc nécessaire d'être rigoureux dans les mesures de sécurité et de vérifier les lignes de pièges une à deux fois par jour afin de réduire au maximum les risques de blessure (Kolenosky & Johnston, 1967). Le piégeage doit être fait d'avril à octobre afin d'éviter la présence de neige ou les températures trop froides. Si la température tombe sous - 8°C il faut alors fermer tous les pièges. Lorsque le baromètre excède 25°C il est préférable de relever les pièges toutes les quatre ou cinq heures. Ceux-ci doivent être posés loin des lieux de passage des humains et des chiens comme les routes ou les sentiers (*Alberta Wildlife Care Commitee*, 2005).

Il y a une opposition croissante de la part de l'opinion publique à l'utilisation de certains pièges (Gentile, 1987). Ces techniques de capture controversées sont même interdites dans certains pays. En France, le piégeage est soumis à réglementation par l'arrêté du 29 janvier 2007 fixant les dispositions relatives au piégeage des animaux classés nuisibles en application de l'article L.427-8 du code de l'environnement. Par ailleurs le loup étant un animal protégé par la convention de Berne du 19 septembre 1979 relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe et par la Directive Habitats 92/43 du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels de la faune et de la flore sauvages, il est juridiquement impossible de le piéger à moins d'obtenir une dérogation. L'Union Européenne applique le règlement (CEE) No 3254/91 du Conseil du 4 novembre 1991 interdisant l'utilisation du piège à mâchoires dans les états membres. Ces pièges sont pourtant reconnus comme les plus efficaces pour réussir une capture de loups (Niemeyer, communication personnelle). En effet, en Amérique du Nord, les loups sauvages sont généralement capturés avec des pièges à mâchoires modifiés (Kuehn *et al.*, 1986). Ces derniers sont dotés de mâchoires capitonnées ou ayant un espacement minimal lors de la fermeture, offrant une protection physique à l'animal. Ces pièges, comparés à des pièges à mâchoires non modifiées semblent être les moins traumatisants physiquement (moins de blessures aux pattes) et les plus efficaces pour capturer des loups (moins d'évasion) en vue d'une étude scientifique (Frame & Meier, 2007). Au Minnesota, dans le cadre d'un contrôle légal de la déprédation due

aux loups, Sahr & Knowlton (2000) ont mis en place des dispositifs visant à rendre le piégeage moins douloureux pour les animaux avant l'euthanasie. Ils ont utilisé des pièges à mâchoires badigeonnés avec de la gelée contenant un dérivé de la phénothiazine : la propiomazine. Une fois capturés, les loups cherchent à mâchonner le piège et ingèrent ainsi le principe actif. Cette technique s'est révélée efficace pour diminuer les blessures consécutives à la capture.

Il est aussi possible de capturer un loup à l'aide de collets de cou ou de pattes, de pièges à lacets (figure 2)... (Nellis, 1968 ; Mech & Frenzel, 1971 ; Van Ballenberghe, 1984). En Finlande, Kojola *et al.* (2006) ont utilisé des motos neige et des lassos, profitant de la forte couverture neigeuse (au moins 80 cm) qui handicape les loups dans leur déplacement. En Pologne, une technique utilisant des filets issus de la tradition de chasse aux loups, a été utilisée pour en capturer à des fins scientifiques (Okarma & Jedrzejewski, 1997). L'emploi de l'hélicoptère permet d'endormir directement les loups par fléchette hypodermique ou de les contenir à l'aide d'un lance filet, mais cette technique ne peut s'appliquer que lorsque le relief et la couverture végétale assurent une bonne visibilité (Fuller & Keith, 1981 ; Ballard *et al.*, 1982, 1991 ; Merrill & Mech, 2003).

Figure 2. Piège à lacet de type Belisle (crédit photo : Aude Bourgeois)



Pour réduire le risque de blessure et le stress dus à la capture, des émetteurs reliés au piège ont été utilisés (Hayes, 1982 ; Jedrzejewski *et al.*, 2002 ; Theuerkauf *et al.*, 2003). Le signal émis par l'émetteur a une fréquence de pulsation qui change lorsque le piège a été déclenché. Les chercheurs sont ainsi alertés et peuvent alors rejoindre plus rapidement l'animal capturé. Ce dernier a ainsi moins de temps pour se blesser par des tentatives de fuite. Cet émetteur peut aussi être utilisé pour déclencher un piège à distance (Mech & Barber, 2002). Ce système permet de venir contrôler le piège sur le terrain moins fréquemment et évite ainsi de laisser des odeurs humaines à proximité. Il est tout de même indispensable de venir contrôler le site au moins toutes les 48 à 72 h (Alberta Wildlife Care Commitee, 2005).

Les pièges sont généralement posés près d'une zone odorante ou d'un trou contenant un appât : viande décomposée de marmotte ou de blaireau, mélangée à de l'extrait de glandes

de castors, du musc de mouffette et de l'huile d'ase fétide (*Ferula sp.*). Du glycérol y est ajouté afin d'obtenir la consistance désirée et d'agir comme conservateur. De l'urine de loup (récoltée lors d'une autopsie d'un loup par exemple) peut-être utilisée aux alentours de la zone odorante pour attirer ses congénères (Kolenosky & Johnston, 1967). Les leurres utilisant des odeurs de loups (urine, fèces...) sont spécifiques d'espèce et minimisent le risque de capturer un autre animal (*Alberta Wildlife Care Commitee*, 2005).

Une fois qu'un animal est capturé, il peut être immobilisé à l'aide d'un bâton en forme de fourche, au niveau du cou, ou d'un *choker* (nœud coulant au bout d'une tige de métal) (Kolenosky & Johnston, 1967 ; Mech & Frenzel, 1971). Cette technique de contention se révèle efficace puisqu'il n'y a que très peu ou pas du tout de résistance de la part du loup qui peut être ensuite attaché (muselière et liens de contention). Elle évite aussi les effets indésirables de l'anesthésie, mais elle ne devrait pas excéder 20 minutes et aucune manipulation douloureuse ne doit être réalisée sans anesthésie. Le loup est ensuite relâché au point de capture ; il n'y a donc pas de déplacement de l'animal et la manipulation est rapide (Kolenosky & Johnston, 1967 ; *Alberta Wildlife Care Commitee*, 2005).

Parfois cependant l'anesthésie est préférable pour le confort de la manipulation, la sécurité des manipulateurs et pour réduire le stress de l'animal. Elle comporte néanmoins certains risques à prendre en compte.

2. Anesthésie

Une fois capturés et dans les cas où une simple contention est impossible, les loups (à l'exception des femelles allaitantes et des louveteaux de moins de cinq mois) peuvent être anesthésiés avec une seringue montée sur une perche, ou projetée à l'aide d'une sarbacane ou d'un pistolet hypodermique, au niveau des muscles de la cuisse ou de l'épaule. Une fois que l'injection est effectuée sur un animal pris dans un piège, il faut se cacher de sa vue et l'observer de loin afin de réduire le stress dû à notre présence, qui pourrait augmenter le temps d'induction de l'anesthésique (Kreeger, 2003 ; *Alberta Wildlife Care Commitee*, 2005).

Les fusils hypodermiques sont réservés pour les tirs à grande distance, depuis un hélicoptère par exemple (Kreeger, 2003). Il est alors essentiel de bien régler la pression et de bien viser la cuisse afin de ne pas pénétrer dans le thorax ou l'abdomen (Kreeger *et al.*, 1995). La prise en chasse d'un animal sauvage, surtout lorsqu'il s'agit d'une capture par hélicoptère, ne doit pas excéder 10 minutes pour éviter les myopathies de capture. Il est indispensable de

le suivre visuellement afin de voir où il va s'endormir et si l'anesthésique a fait effet (l'anesthésie doit survenir dans les 15 minutes, sinon il faut renouveler le fléchage). (*Alberta Wildlife Care Commitee*, 2005). Il existe des seringues équipées d'un émetteur VHF permettant de retrouver l'animal qui a été tiré.

Certains colliers dits de *recapture* permettent de déclencher à distance l'anesthésie du loup déjà équipé d'un collier émetteur, réduisant ainsi le stress dû à la capture et à la présence humaine (Mech *et al.*, 1984, 1990 ; Kunkel *et al.*, 1991 ; Mech & Gese, 1992). Les chercheurs localisent l'animal grâce à la télémétrie et déclenchent le fléchage à distance par le collier contenant une flèche spéciale. Les colliers sont équipés d'une flèche de secours, dans le cas où la première flèche n'aurait pas endormi l'animal. Les chercheurs peuvent continuer à suivre par télémétrie l'animal alors que l'anesthésie commence à faire effet (Delgiudice *et al.*, 1990). Ryser *et al.*, (2005) ont développé un système *Minimally invasive capture system* (MICS) pour capturer des lynx sur le site d'une carcasse tuée récemment. Le MICS consiste en un pistolet hypodermique téléguidé et contrôlé à distance à l'aide de deux caméras, évitant ainsi la présence humaine lors de l'anesthésie.

Une fois l'animal anesthésié, il faut l'éloigner des rayons directs du soleil, des courants d'air ou de toute source de danger potentiel. Les paramètres vitaux (fréquence cardiaque, température rectale, fréquence respiratoire, couleur des muqueuses) doivent être contrôlés toutes les cinq à dix minutes. Un examen plus complet de l'animal par un vétérinaire devra permettre de déterminer son état général, la présence de blessures et la nécessité éventuelle de soins. Une trousse d'urgence vétérinaire, contenant entre autre un laryngoscope, une sonde trachéale, un ballon d'insufflation et une petite bouteille d'oxygène, doit être à disposition et utilisée le cas échéant par une personne qualifiée (Arnemo *et al.*, 2004 ; *Alberta Wildlife Care Commitee*, 2005).

Les loups sont généralement faciles à anesthésier et les complications dues à un surdosage sont rares. Dix-neuf années de recherches sur des loups captifs ont permis de réaliser plus de 10.000 anesthésies. Seuls trois loups sont morts des suites de l'anesthésie (Seal *et al.*, 1979 ; Seal & Mech, 1983 ; Kreeger *et al.*, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990b, 1991 ; Kreeger, 2003). Les problèmes de thermorégulation sont les complications les plus fréquentes de l'anesthésie d'un loup sauvage. Un animal qui se débat ou qui a couru, produit une chaleur importante. L'anesthésie diminue ses capacités à évacuer cette chaleur par le halètement. Par ailleurs, un loup piégé verra sa température baisser lors de l'anesthésie générale et risque

l'hypothermie. Une dépression respiratoire peut survenir sur un animal en mauvais état général qui aurait reçu une trop forte dose d'anesthésique, ou à cause d'une fausse déglutition de vomissure ou de salive, ou encore à cause d'un pneumothorax dû à une fléchette mal envoyée.

L'animal anesthésié doit être placé en décubitus latéral avec la tête légèrement plus basse que le corps, pour éviter les fausses déglutitions. Des antibiotiques devraient toujours être administrés pour prévenir une infection due à la plaie de fléchage. Par ailleurs, lors de l'anesthésie, les yeux du loup doivent être protégés contre les rayons du soleil par un tissu et humidifiés à l'aide d'un gel ophtalmique, type Ocrygel®¹ (Kreeger, 2003 ; Arnemo *et al.*, 2004).

La manipulation du loup doit être réalisée dans les 30 minutes ; il faut ensuite contrôler l'animal à distance et vérifier qu'il se réveille. Si l'anesthésie se prolonge au delà de 45 minutes, il faut alors le retourner afin de le stimuler et d'éviter des lésions dues au décubitus latéral prolongé du même côté. Lors de la phase de réveil, le loup peut vomir, souffrir d'hypothermie, se faire attaquer par ses congénères, se noyer, avoir une vigilance diminuée... Tout au long de l'intervention, la sécurité des manipulateurs doit être assurée par une formation préalable aux gestes de secours, une vigilance accrue et le port de gants (Arnemo *et al.*, 2004 ; *Alberta Wildlife Care Commitee*, 2005).

Les loups ont été anesthésiés avec de nombreuses molécules ou associations de molécules, incluant des bloquants des jonctions neuromusculaires (Dyson, 1965), des cyclohexanes (Ballard *et al.*, 1982, 1991 ; Fuller & Kuehn, 1983 ; Kreeger *et al.*, 1986, 1987, 1990b), et des opioïdes (Fuller & Keith, 1981 ; Ballard *et al.*, 1982 ; Kreeger *et al.*, 1989 ; Kreeger & Seal, 1990). L'anesthésie la plus sûre et la plus couramment utilisée est l'association d'un dérivé cyclohexylamine, anesthésique dissociatif (kétamine, tilétamine) et d'un tranquillisant (acépromazine, xylazine, zolazepam, médétomidine) (Kreeger, 2003) (tableau 1). Les posologies doivent être ajustées en fonction du poids estimé de l'animal. Il est ainsi préférable de réaliser une pesée systématique des animaux capturés afin d'avoir une table de références personnelle.

¹ Ocrygel®, Virbac, Carros. France

Tableau 1. Posologies suggérées d'anesthésiques et de sédatifs pour des loups captifs ou sauvages (Kreeger, 2003 ; Arnemo et al., 2004 ; Luddeni, données personnelles)

Molécules	Posologie (mg/kg)	Commentaire
Kétamine + Xylazine	10,0 2,0	Bonne posologie pour des loups capturés. La xylazine peut être antagonisée avec de la yohimbine (0,15 mg/kg)
Kétamine + Medetomidine	4,0 0,08	Alternative à l'association kétamine-xylazine. La médétomidine peut être antagonisée avec de l'atipamézole (0,4 mg/kg)
Tiletamine + Zolazépam (Zoletil®²)	5,0 5,0	Bonne posologie pour des loups capturés, mais le réveil peut être long (2 à 3 heures). Si le loup ne s'est pas endormi et est toujours debout après 15 minutes, la même dose peut-être administrée. Présente l'avantage d'avoir peu d'effet dépressur du système cardiorespiratoire.
Tiletamine + Zolazépam + Xylazine	5,0 5,0 1,5	Bonne posologie pour un fléchage par hélicoptère. Les loups chassés peuvent être difficiles à anesthésier, il ne faut donc pas sous doser. Du propylène-glycol peut être ajouté pour retarder le gel des produits en hiver. La xylazine peut être antagonisée avec de la yohimbine (0,15 mg/kg).
Médétomidine (Domitor®³)	0,02	Peut-être utilisée pour améliorer l'anesthésie d'un animal au sol mais non complètement anesthésié par le mélange Tiletamine-Zolazépam. La médétomidine peut être rapidement antagonisée avec de l'atipamézole par voie intramusculaire ou sous-cutanée (la même dose que la médétomidine administrée). En raison de la longue durée d'élimination de la médétomidine, l'atipamézole ne devrait pas être administrée avant 40 à 50 minutes après l'administration de médétomidine.

Certains tranquillisants (xylazine, médétomidine) peuvent être antagonisés avec la yohimbine ou l'atipamézole, qui diminuent le temps de l'anesthésie (Kreeger *et al.*, 1986, 1987, 1988). Il n'y a pas d'antagoniste pour les dérivés cyclohexylamines. L'utilisation d'opioïdes est déconseillée car ils occasionnent souvent des complications comme des dépressions ou des arrêts respiratoires. Par ailleurs ils sont soumis à la législation, qui impose des responsabilités supplémentaires pour l'utilisateur et sont potentiellement létaux pour les humains (Kreeger, 2003).

² Zoletil® Virbac, Carros, France

³ Domitor® Orion Pharma Animal Health, Turku, Finlande

3. Fixation du matériel

Différentes méthodes d'attachement du matériel de télémétrie ont des effets variables sur l'animal (Garrott *et al.*, 1985). Pour les mammifères, l'adaptation du matériel de radio émission s'est faite grâce à des colliers (Mech & Barber, 2002) (figure 3). Les loups, étant des animaux extrêmement sociaux, ils doivent être équipés de colliers résistants à la toilette et aux mordillements qui risquent d'abimer le système émetteur (Thiel & Fritts, 1983).

Figure 3. Collier émetteur VHF adapté pour un loup (modèle CI2 Hololil ®, crédit photo Hololil)



a) collier en cuir ; b) fermoir en métal ; c) unité émettrice VHF.

Les émetteurs implantés chirurgicalement comme des émetteurs sous-cutanés, représentent une alternative au collier. Kreeger *et al.* (1990a) ont implanté des émetteurs de 400 g dans l'abdomen de loups captifs afin de mesurer leur température corporelle et leur fréquence cardiaque en temps réel. Lors du programme de restauration du loup rouge en Caroline du Nord (Etats-Unis d'Amérique) 31 louveteaux ont été équipés d'un radio-émetteur intra-abdominal vers l'âge de 10 semaines. Quatre de ces louveteaux disparurent avant la

première saison de reproduction. Les 27 autres furent capturés une nouvelle fois à l'âge adulte et équipés de colliers émetteurs (Phillips *et al.*, 2003). Cependant, l'utilisation de tels émetteurs réduit considérablement la portée du signal (parfois de plus de 50 %) et implique pour l'animal, des actes invasifs qui nécessitent des soins vétérinaires et peuvent produire un biais dans les données, dû à une gêne post-opératoire (Morris, 1980 ; Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002).

Depuis quelques années, les colliers détachables à distance se sont montrés particulièrement utiles (Mech & Gese, 1992). Ils sont équipés d'un mécanisme qui permet de détacher automatiquement le collier à une date prédéterminée (pour l'acquisition des données et/ou la réutilisation du collier) ou de provoquer le détachement lorsque l'animal est en vue afin de voir où le collier tombe. D'autres systèmes purement mécaniques sont basés sur l'érosion d'une gâchette de magnésium. Ils évitent la recapture de l'animal pour récupérer le collier. Il est possible d'avoir un système qui permette de connaître à distance le statut des batteries et de déclencher ainsi la libération du collier à n'importe quel moment, ou de programmer la libération du collier dès que les batteries de l'unité de télémétrie sont épuisées (Merrill *et al.*, 1998, Mech & Gese, 1992).

B. Radiopistage VHF

Une onde radio est constituée par des vibrations, dont le nombre par seconde définit la fréquence (Hz). Ainsi une fréquence de 104 MHz caractérise un signal de 104×10^6 cycles par seconde. La fréquence ne doit donc pas être confondue avec le taux de pulsation du signal, qui est le nombre de *bips* émis par minute par l'émetteur (Morris, 1980). Les ondes très hautes fréquences ou VHF pour *Very High Frequency* en anglais, correspondent à des fréquences de 30 à 300 MHz.

1. Le système VHF

a) Système émetteur

Le système émetteur basique, inclut un émetteur, une batterie, une antenne émettrice et un boîtier protégeant le matériel électronique. La taille et le poids de l'équipement au complet, la force et le type de signaux ainsi que la durée de vie de l'appareillage peuvent varier considérablement (Mech & Barber, 2002). Mech *et al.* (1965) listent quatre priorités pour sélectionner l'équipement émetteur idéal : (1) un poids minimal. En effet l'équipement ne doit pas dépasser 5 % du poids de l'animal pour ne pas affecter sa survie ou son

comportement (*Animal Care and use Committee*, 1998) ; (2) un effet minimum sur l'animal ; (3) une protection maximale pour l'émetteur ; (4) la permanence de l'attachement.

i) Emetteur

Chaque émetteur radio comprend un circuit électronique, incluant généralement un cristal de quartz, réglé sur une fréquence spécifique. Les cristaux sont plus ou moins résistants aux chocs et pour des animaux tels que des loups ayant une vie mouvementée, des cristaux très résistants aux chocs sont généralement recommandés (Mech & Barber, 2002).

Les signaux peuvent être émis soit en continu, soit de manière pulsatile, à raison de 30 à 120 *bips* par minute. La durée du signal peut également varier, 18 millisecondes étant la durée minimale du *bip* permettant un suivi. Un signal court et une fréquence de pulsation du signal faible permettent d'allonger la durée de vie des batteries (Mech & Barber, 2002).

ii) Fréquence émettrice

Les fréquences utilisées en télémétrie pour le suivi VHF de la faune sauvage vont de 27 à 401 MHz, les plages de fréquences étant généralement 148-152 MHz, 163-165 MHz et 216-220 MHz (Mech & Barber, 2002).

Les émetteurs VHF peuvent ainsi avoir une portée au sol de 5 à 10 km, distance qui augmente jusqu'à 25 km lors de réception aérienne (Rodgers *et al.*, 1996). Les basses fréquences se propagent plus loin que les hautes fréquences car elles se réfléchissent moins sur la végétation et les reliefs (Mech, 1983). Cependant, les signaux à basse fréquence (par exemple 32 MHz) ont de plus grandes longueurs d'onde, ce qui augmente la taille des antennes émettrice et réceptrices nécessaire pour détecter les signaux. Ceci a une implication sur la faisabilité et la portabilité du système récepteur. Les fréquences les plus hautes en revanche, rebondissent sur les reliefs mais présentent l'avantage de nécessiter une plus petite taille d'antenne (Mech & Barber, 2002).

Quelle que soit la fréquence sélectionnée, les différents émetteurs utilisés pour une même étude sont généralement réglés avec un décalage supérieur à 10 kHz. Cela permet la distinction entre les différents émetteurs, malgré les variations du signal (1 à 2 kHz) dues à la température et aux fluctuations de batterie (Mech, 1983).

La sélection des fréquences est réglementée au niveau international et des autorisations sont parfois nécessaires afin d'éviter de travailler avec des fréquences interdites.

Par ailleurs, le choix des fréquences doit se faire en fonction d'autres éventuels programmes de recherche situés à proximité, qui pourraient utiliser des fréquences similaires. Une coordination entre les projets est nécessaire afin d'éviter une duplication des fréquences pour l'étude d'animaux occupant la même zone géographique (Mech & Barber, 2002).

iii) Batteries

La batterie détermine le poids total et la durée de vie de l'équipement. Son choix doit donc être raisonné. Un compromis doit être fait en utilisant des batteries assez lourdes pour permettre d'atteindre les objectifs de l'étude notamment en termes de durée (autonomie), mais assez légères pour minimiser les effets sur l'animal (Mech & Barber, 2002).

Les batteries au lithium sont généralement utilisées dans les systèmes conventionnels, car elles se conservent plus longtemps et ont un ratio capacité sur volume deux fois plus important que les batteries au mercure ou à l'oxyde d'argent. Ces dernières sont utilisées en général pour alimenter des émetteurs sous-cutanés, de petit volume, mais leur durée de vie n'est que de 6 à 120 jours (Mech & Barber, 2002). Bien que les batteries zinc-air aient à peu près la même densité d'énergie que les batteries au lithium, elles n'ont pas d'application en télémétrie, car elles requièrent des conditions d'utilisation en l'absence d'humidité et de poussière (Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002). Les cellules photovoltaïques ou solaires ont aussi été utilisées dans des systèmes émetteurs mais leur emploi sur les loups est délicat, car elles peuvent être recouvertes par la fourrure, de la boue ou des débris (Snyder *et al.*, 1989).

Il est possible de programmer l'émetteur pour s'éteindre durant une certaine période, économisant ainsi de l'énergie et rallongeant la durée de vie des batteries. On détermine ainsi un cycle avec des périodes où l'émetteur est actif et d'autres périodes de repos (par exemple 16 heures éteint et 8 heures allumé). Ces configurations réduisent le nombre de recaptures nécessaires pour rééquiper un animal dont la batterie serait épuisée (Mech & Barber, 2002).

iv) Protection de l'émetteur

Les émetteurs sont généralement enveloppés avec du *potting*, un matériau ayant la consistance de la résine, utilisé pour sceller les composants électriques. Les systèmes émetteurs sont ainsi enveloppés afin d'éviter des dommages causés par l'animal porteur du système, par ses congénères (mordillement, griffures...) ou par l'environnement (humidité, dommages mécaniques...) (Mech & Barber, 2002). De nombreux types de protection sont

disponibles dans le commerce comme la cire d'abeille, la résine acrylique dentaire, la résine électrique, le silicone... (Mech *et al.*, 1965 ; Macdonald, 1978 ; Donaldson, 1980 ; Jansen, 1982 ; Kuechle, 1982).

v) Antenne émettrice

L'antenne émettrice est un composant critique du système de radio émission, car elle projette le signal qui sera reçu par l'antenne réceptrice. L'orientation, le type et la longueur de l'antenne ainsi que la batterie déterminent la puissance effective globalement émise par l'antenne ou *effective power radiated* (EPR) et par conséquent, la portée du signal. Idéalement, l'antenne ne devrait pas être alignée le long du corps de l'animal, mais plutôt orientée perpendiculairement, cependant de telles antennes s'emmêlent dans la végétation, se cassent ou se tordent. C'est pourquoi les antennes sont souvent encastrées dans l'épaisseur du collier pour les protéger, au détriment de la portée du signal (Mech & Barber, 2002).

Le type basique d'antenne émettrice utilisée pour les loups est une antenne fouet, qui consiste en un fil métallique dont une extrémité est attachée à l'émetteur et l'autre reste libre. Le point d'entrée de l'antenne doit être parfaitement scellé pour prévenir les dommages dus à l'humidité dans l'émetteur (Mech & Barber, 2002). Les antennes fouets sont généralement plus courtes que la longueur idéale pour une émission optimale, mais certains composants supplémentaires peuvent compenser cette diminution de l'EPR (Kenward, 1987). Le calcul de la longueur d'onde (λ) en mètres pour une antenne fouet est donné par l'équation ci dessous où f est la fréquence du courant produisant l'onde (Amlaner, 1980) :

$$\lambda_m = 300 / f_{\text{MHz}}$$

Une autre cause de diminution de l'EPR est due au contact rapproché entre l'antenne fouet et le corps de l'animal (Cochran, 1980).

vi) Autres utilisations de l'émetteur

Les améliorations réalisées depuis le premier système de Cochran & Lord (1963) permettent d'obtenir des données variées, autres que celles relatives à la localisation de l'animal. Par un système qui module la durée et l'intervalle entre les impulsions, il est, par exemple, possible de déterminer si un animal est actif (se nourrit, marche, court) ou se repose et d'obtenir le rythme cardiaque, la température corporelle, la température ambiante et le temps écoulé depuis la mort de l'animal. Des émetteurs comprenant un microphone

permettent d'écouter les vocalisations de l'animal et les sons ambiants (Cochran, 1980 ; Kreeger *et al.*, 1990a).

Au delà du simple marquage et pistage du loup, les émetteurs sont utilisés pour des objectifs variés, comme dans les colliers de recapture avec le fléchage déclenché à distance (voir le paragraphe *Partie I.I.A.2. Anesthésie*). Ils permettent aussi de contrôler des pièges et de savoir si un animal a été capturé ou d'activer le relâcher d'un animal à distance (Hayes, 1982). Des émetteurs ont aussi été attachés aux proies qui sont susceptibles d'être amenées à la tanière. Certains émetteurs implantés chirurgicalement ont permis de conduire les autorités aux braconniers (Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002). Afin de trouver une solution pour réduire la déprédation sur les troupeaux par les animaux suivis, un système d'effarouchement déclenché par la présence d'un loup équipé d'un collier émetteur, permet de perturber les événements de prédation en activant des lumières et des sons (Breck *et al.*, 2002).

Avec les émetteurs VHF on marque aussi des positions importantes. Avant que les unités GPS portables soient disponibles, par exemple, les chercheurs effectuant des suivis aériens marquaient les sites où une carcasse avait été laissée par des loups, en y laissant tomber un émetteur protégé par de l'éponge. Ainsi par la suite, ils pouvaient à l'aide d'une antenne réceptrice portable, marcher jusqu'au site pour un examen approfondi (Nicholls *et al.*, 1981).

b) Système récepteur

Les systèmes récepteurs détectent et identifient les signaux émis par les systèmes émetteurs. Un système récepteur basique comprend une batterie, une antenne réceptrice, des câbles électriques, un système d'enregistrement mécanique ou humain, avec des accessoires comme des haut-parleurs ou des écouteurs (utiles pour réduire des bruits externes, lorsqu'on a détecté le signal émis) (Mech, 1983 ; Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002). Les autres accessoires incluent des dispositifs pour monter les antennes réceptrices sur le véhicule et les avions, des scanners pour améliorer la recherche de plusieurs signaux, des magnétophones spécialisés dans le recueil de données, du matériel d'enregistrement et d'interprétation des données (Mech & Barber, 2002).

i) Récepteurs

Un récepteur doit être capable de détecter et de distinguer un signal correspondant à une fréquence spécifique. Les commandes standards des récepteurs comportent un bouton d'alimentation à trois positions (alimentation interne ou externe et position éteinte), des cadrans pour le réglage du gain (capacité à augmenter la puissance du signal reçu, exprimé en décibel), du canal, de la bande et des fines fréquences, des fiches pour une antenne externe (UHF ou BNC), des écouteurs, un magnétophone et une batterie externe. Certains récepteurs ont aussi un contrôle du volume (Mech & Barber, 2002). Le volume se distingue du gain dans le sens où une augmentation du gain, augmente la sensibilité du signal (jusqu'à un point au delà duquel la sensibilité n'augmente plus) alors qu'une augmentation de volume ne procure pas une meilleure sensibilité du signal (Mech, 1983).

Certains récepteurs imposent de rentrer les fréquences sur un cadran alors que d'autres sont numériques. Beaucoup de récepteurs comprennent aussi deux aiguilles de jauge. L'une indique le niveau de la batterie et l'autre, la force du signal reçu exprimée en décibel (Mech & Barber, 2002). Cette dernière peut être particulièrement utile pour le pistage aérien, lorsque la force du signal varie rapidement (Mech, 1983). La plupart des récepteurs portables sont alimentés par des piles alcalines (Cederlund *et al.*, 1979, cités par Mech & Barber, 2002) et fonctionnent 8 à 12 heures, alors qu'avec des piles rechargeables, l'appareil fonctionne 5 à 8 heures (Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002). Certains récepteurs peuvent aussi être alimentés par l'allume cigare d'un véhicule ou par des batteries plus grosses comme des batteries de motocyclette ou marines (Mech & Barber, 2002).

Certains récepteurs incluent une option *sweep* ou balayage qui permet de chercher le signal dans une fenêtre de 10 kHz. Cette option est utile lors des variations du signal qui peuvent survenir sur le terrain à cause des fluctuations de température et de l'alimentation électrique (Mech, 1983). D'autres récepteurs ont une mémoire programmable qui peut automatiquement scanner différentes fréquences à des intervalles prédéfinis de ½ seconde à 10 minutes (Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002). Le chercheur présélectionne le temps de recherche et peut arrêter le scan sur un signal particulier (Kuechle, 1982). Ce système permet de localiser beaucoup d'animaux en peu de temps. Ainsi existe-t-il des récepteurs portables de la taille de talkie-walkie (poids 352 g) qui peuvent stocker jusqu'à 999 fréquences (Mech & Barber, 2002).

ii) Antenne réceptrice

L'antenne réceptrice représente une partie incontournable de tout système de localisation. Elle intercepte l'énergie électromagnétique qui se propage dans l'air et la convertit en énergie électrique qui peut être traitée par le récepteur (Kuechle, 2005). Les antennes servent donc d'une part à augmenter le gain d'un récepteur et d'autre part à assister l'opérateur pour déterminer la direction du signal. Le choix d'une antenne appropriée est crucial du fait que même en situation idéale, seulement la moitié de la puissance du signal capturée par l'antenne est effectivement transmise au récepteur, alors que l'autre moitié est réémise par rayonnements (Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002). Ce choix dépend de différents critères, comme la fréquence de l'émetteur, la logistique, la méthode de localisation, mais les trois caractéristiques les plus importantes sont le gain, la largeur de faisceau (angle en degrés définissant deux points d'égale puissance) et la taille de l'antenne. On choisit donc une antenne avec un gain élevé, ce qui permettra une plus grande portée de réception. Pour une antenne directionnelle, il est préférable d'avoir la plus petite largeur de faisceau. Cela permettra de trouver la source du signal plus aisément. Malheureusement, ces deux paramètres sont directement liés à la taille. Plus le gain de l'antenne augmente et la largeur de faisceau rétrécit, plus l'antenne est grande (Kuechle, 2005). Ainsi, les plus grandes antennes (plus basses fréquences) fournissent généralement plus de gain et une meilleure directivité aux dépens de la portabilité (Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002).

La fréquence détermine également la taille des antennes réceptrices. En général, plus la fréquence utilisée est élevée, plus l'antenne est petite. Pour une efficacité optimale, la longueur des éléments de l'antenne devrait être au minimum égale à une moitié de la longueur d'onde (Kuechle, 2005) Ainsi, par exemple, un récepteur réglé sur 150 MHz (longueur d'onde 2 m) avec une antenne de demi longueur d'onde Yagi multiéléments (voir le paragraphe ci-dessous *Antennes directionnelles*) est utilisable comme une unité portable de 1 m, alors qu'un récepteur réglé sur 27 MHz (longueur d'onde 11 m) nécessite une antenne de demi longueur d'onde Yagi multiéléments plus grande (5,5 m), moins pratique qu'un système portable (Cederlund *et al.*, 1979, cités par Mech & Barber, 2002).

La polarisation indique la direction des champs électriques de l'antenne. Elle correspond grossièrement à l'orientation des éléments de l'antenne. Si les éléments sont verticaux, l'antenne est polarisée verticalement et s'ils sont horizontaux, l'antenne est

polarisée horizontalement (Kuechle, 2005). Les signaux polarisés verticalement tendent à mieux pénétrer les denses forêts que les ondes polarisées horizontalement qui se transmettent plus loin dans des conditions de ligne de vue LOS (voir le paragraphe *Partie I.I.B.2.e.i. Les échos*) (Amlaner, 1980).

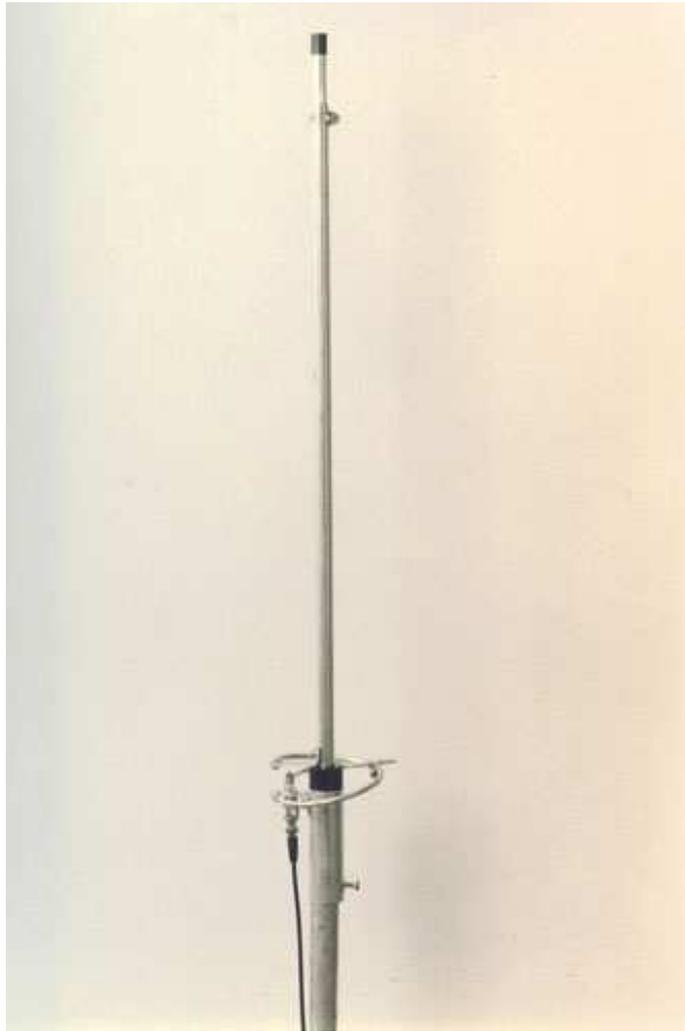
La puissance du signal est transférée de l'antenne aux récepteurs par des câbles coaxiaux qui protègent les données transmises contre le bruit (ou parasites) et aident à minimiser la perte de puissance du signal (Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002). Si la perte du signal le long de la ligne de transmission est trop forte, alors des préamplificateurs peuvent être incorporés entre l'antenne et la ligne de transmission (Kenward, 1987).

Les antennes utilisées pour le radiopistage des loups peuvent être classées en deux catégories : antennes omnidirectionnelles et antennes directionnelles (Kuechle, 2005).

- **Antennes omnidirectionnelles**

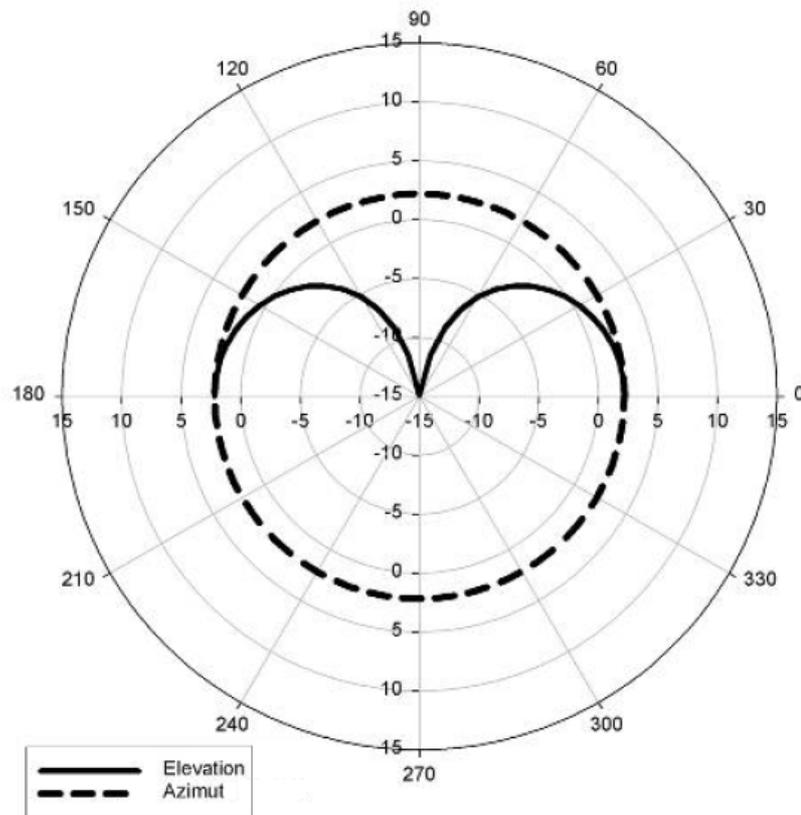
La plus simple des antennes réceptrices est un fil droit ou *dipôle*, appelée bipolaire (figure 4).

Figure 4. Antenne dipôle omnidirectionnelle (crédit photo Atstrack ®)



Fréquemment utilisées, les antennes omnidirectionnelles comprennent les antennes fouets, de fractions variées de longueurs d'ondes, et qui rayonnent de la même manière dans toutes les directions du plan horizontal (ou azimut). En trois dimensions, le courant est maximum au milieu du dipôle (là où il est alimenté) et décroît linéairement jusqu'à zéro aux extrémités du dipôle, formant une image de couronne (figure 5).

Figure 5. Diagramme de rayonnement d'une antenne dipôle, sur le plan horizontal ou azimut et sur le plan vertical ou élévation (Kuechle, 2005).

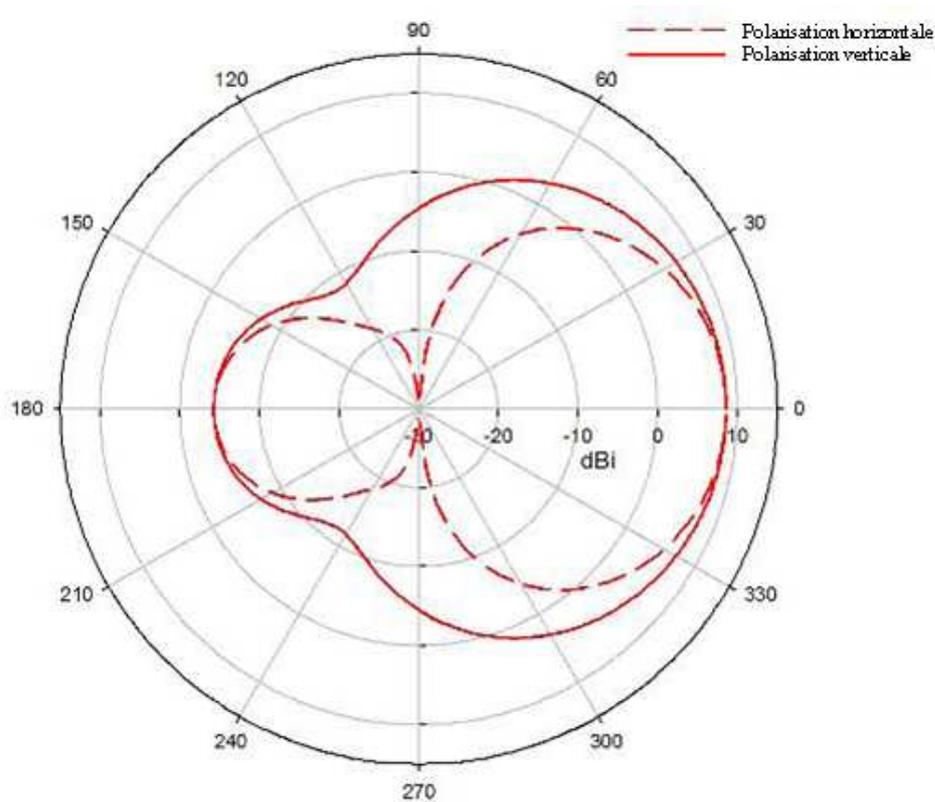


Ces antennes sont omnidirectionnelles ; elles ne sont pas utilisées pour trouver une direction, mais plutôt adaptées à des études présence/absence, pour déterminer si un émetteur est dans la zone, ou pour recueillir des données d'activité (par exemple la température sur un émetteur spécialement équipé) (Mech, 1983 ; Jones, 1990 ; Mech & Barber, 2002). Elles sont souvent utilisées au niveau de sites de réception fixes, dans des systèmes automatiques de pistage, ou comme une partie d'une unité portable, montées sur un véhicule.

- **Antennes directionnelles**

Une antenne directionnelle (ou directive) au contraire, est construite de telle manière, qu'elle concentre l'énergie de rayonnement pour former un lobe principal sur le devant de l'antenne et des plus petits lobes, secondaires, sur les côtés et en arrière, lui conférant un gradient de gain croissant vers l'avant (figure 6).

Figure 6. Diagramme de rayonnement d'une antenne Yagi à 3 éléments (Kuechle, 2005).

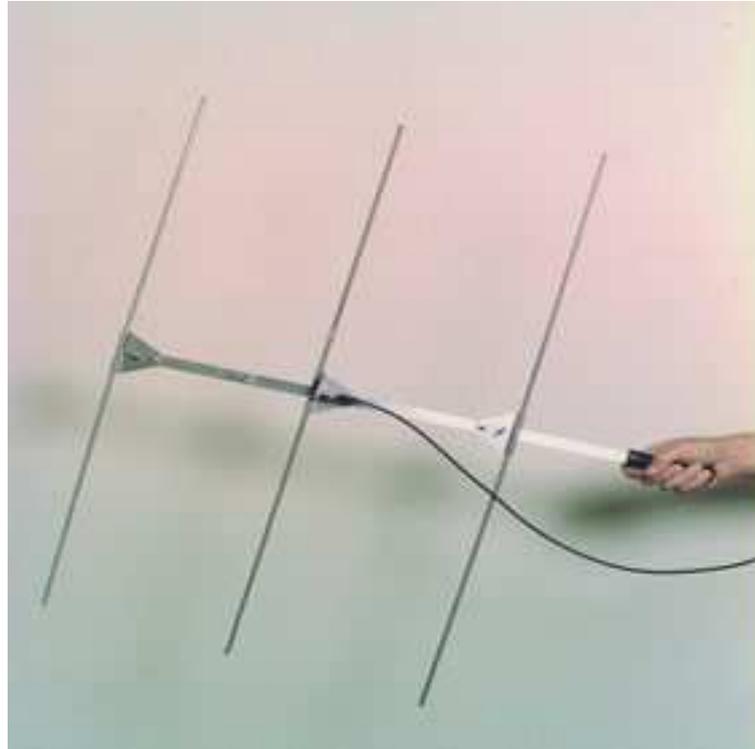


Ces antennes comprennent un ou deux éléments supplémentaires et sont essentiellement utilisées pour trouver une direction d'émission. En général, plus le nombre d'éléments est grand, plus le gain ou la sensibilité sont importants. La taille de l'antenne augmente avec le nombre d'éléments. Les antennes à deux éléments (antennes en *H*) ou les antennes à trois éléments (antennes Yagis) sont fréquemment utilisées comme antennes portables. Les antennes plus grandes, possèdent 5, 8 et 14 éléments et sont généralement utilisées sur des sites fixes (Jones, 1990).

La Yagi multiéléments, est l'antenne la plus utilisée en Amérique du Nord (Kuechle, 1982). Elle consiste en une tige métallique (généralement en aluminium) à laquelle sont attachées perpendiculairement 3 à 17 autres tiges métalliques (directeurs, parasites et réflecteurs), le tout en un seul plan, conférant à l'antenne une forme de *râteau* (figure 7). L'origine du signal peut être déterminée en faisant tourner l'antenne avec l'extrémité du Yagi (élément le plus court) tenue loin du manipulateur, afin de détecter d'où vient le signal le plus fort. Des systèmes Yagi doubles peuvent être montés pour obtenir une plus grande portée, ou

une direction plus précise. Cependant, cela requiert un espacement des antennes d'1 ou $\frac{1}{4}$ de longueur d'onde (Amlaner, 1980).

Figure 7. Antenne Yagi à trois éléments (crédit photo Atstrack®)



Un autre type d'antenne réceptrice est l'Adcock, ou antenne en *H*, souvent utilisée comme antenne portable, car elle est plus petite qu'une antenne Yagi (figure 8). Cependant, cette antenne a un gain réduit et reçoit le signal d'une même force de deux directions. La véritable direction de l'origine du signal doit donc être confirmée en bougeant de quelques mètres et en faisant un recouplement (Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002).

Figure 8. Antenne en H (crédit photo Atstrack®)



Les avancées récentes concernant les antennes réceptrices portables incluent une diminution de la taille et du poids de l'antenne pour une meilleure portabilité (Mech & Barber, 2002). Morris (1992) a décrit une antenne de cuivre pour 173 MHz, qui est plus petite que l'antenne Yagi à trois éléments correspondante tout en conservant un gain similaire. Bosak (1992) a décrit une antenne Yagi flexible, à trois, cinq ou dix éléments, construite à partir d'un axe flexible, fixé sur une monture en cordon de nylon ou de kapron. L'avantage de cette antenne est sa portabilité.

- **Antennes adaptables**

Certains projets de radio télémétrie requièrent des antennes trop larges pour être portables. Ces antennes doivent être montées sur des stations réceptrices fixes ou sur des véhicules. Les systèmes stationnaires, peuvent être fixes (non-rotatifs) pour enregistrer la présence ou l'absence de données, ou rotatifs pour déterminer la direction du signal (Smith & Trevor Deutsch, 1980 ; Mech, 1983). White & Garrott (1990) ont décrit un positionnement idéal pour les antennes montées sur des stations réceptrices fixes, pour augmenter la précision et la portée. Samuel & Fuller (1996, cités par Mech & Barber, 2002) ont discuté du positionnement des antennes en fonction de la végétation, des immeubles, des reliefs obstructifs et de l'effet sur le signal reçu.

Les systèmes mobiles sont spécialement utiles pour couvrir de grandes étendues. Dans des zones difficilement praticables, les antennes montées sur des véhicules servent d'indicateurs de présence ou d'absence (par exemple une antenne omnidirectionnelle fixée sur le toit d'une voiture par un aimant) (Bray *et al.*, 1975 ; Kolz & Johnson, 1975 ; Mech, 1983) ou permettent de trouver une direction (antenne Yagi rotative, reliées à une boussole à l'intérieur du véhicule) (Cederlund & Lemnell, 1980 ; Mech, 1983)

Les antennes montées sur des avions consistent généralement en deux antennes de type Yagi ou H, chacune fixée sur le montant d'une aile. Les antennes peuvent pointer vers l'avant mais la plupart des systèmes aériens (avion, hélicoptère) sont montés avec des antennes pointant sur le côté. Cette fixation permet d'estimer la localisation de points précis, tout en volant en cercles. Le manipulateur alterne entre les deux antennes afin de déterminer une direction grossière du signal en cherchant l'azimut où le signal est également fort au niveau des deux antennes, puis il se dirige dans cette direction et tourne autour du signal le plus fort afin de localiser l'animal. Cette méthode de pistage est particulièrement utile dans des zones difficiles d'accès (Gilmer *et al.*, 1981 ; Mech, 1983 ; Mech & Barber, 2002).

iii) Appareils enregistreurs, compteurs et décodeurs

Une fois le signal reçu, une présence humaine est toujours nécessaire pour l'interpréter. Cependant, de nombreux appareils automatisés peuvent aider le chercheur en exécutant la majorité des enregistrements, des comptages et décodages nécessaires pour l'analyse des données. Ces appareils sont très utiles pour les études de présence/absence, d'activité ou sur la physiologie.

Les appareils enregistreurs vont du plus simple au plus complexe. Kenward (1987) a utilisé un magnétophone pour enregistrer les signaux émis. D'autres appareils comme un enregistreur à bande, peuvent enregistrer la présence ou l'absence du signal, dans la zone réceptrice en même temps que la date et l'heure (Licht *et al.*, 1989 ; Gillingham & Parker, 1992). Ces enregistreurs sont particulièrement utiles pour relever des données physiologiques (Althoff *et al.*, 1989, cités par Mech & Barber, 2002 ; Schmidt *et al.*, 1989, cités par Mech & Barber, 2002 ; Stohr, 1989, cité par Mech & Barber, 2002). Des systèmes plus sophistiqués peuvent être programmés pour scanner des signaux variés, enregistrer leurs paramètres, les décoder et les traiter pour la recherche d'erreurs et de valeurs moyennes, puis les stocker pour une utilisation ultérieure (Kuechle *et al.*, 1989, cités par Mech & Barber, 2002 ; Schober *et al.*, 1989, cités par Mech & Barber, 2002).

Les compteurs et décodeurs sont utilisés dans des systèmes d'enregistrement automatique, essentiellement pour compter et décoder les pulsations du signal associées à la télémétrie physiologique. Ces appareils peuvent recevoir les pulsations du signal, mesurer leurs propriétés (amplitude, intervalle, etc.) et les convertir selon des paramètres prédéfinis par exemple Schmidt *et al.* (1989, cités par Mech & Barber, 2002), ont converti des signaux analogiques en signaux numériques pour obtenir une lecture d'un électroencéphalogramme) (Mech & Barber, 2002).

2. Méthodes de détection des loups par radiopistage

Sur le terrain, les chercheurs peuvent pister un loup selon deux principales méthodes : le *homing-in* (guidage radio au sol ou aérien) et la triangulation.

a) Etablir un angle de réception et un azimut

Trouver la direction d'un loup équipé d'un collier émetteur consiste à établir un angle de réception du signal. Le manipulateur décrit une rotation de 360° avec son antenne portable afin de détecter la direction du signal le plus fort. Tout en jouant sur le volume et le gain (que

l'on doit diminuer au fur et à mesure que le signal devient fort, afin d'augmenter la précision) on parvient à obtenir un angle dans lequel le signal reçu est d'égale puissance. Plus l'angle est petit, plus la précision sera grande et permettra de calculer un azimut à l'aide d'une boussole (Smith *et al.*, 2006a).

Aucun système récepteur ne fournit un azimut exact, mais un angle de réception dont la grandeur varie en fonction des caractéristiques de l'antenne et d'autres facteurs. Les erreurs d'estimation de localisation du signal sont dues à plusieurs facteurs comme des défauts du matériel, l'imprécision du manipulateur lors du relevé des azimuts, les interférences avec l'environnement (Saltz & Alkon, 1985).

La précision exigée dépendra des objectifs de l'étude ; en effet une étude sur l'utilisation de l'habitat à une échelle fine demandera plus de précision que le déplacement d'un loup en dispersion. Il est donc important de définir un seuil d'acceptation d'erreur et de tester la qualité des estimations avant de commencer le recueil de données (Saltz & Alkon, 1985).

b) Le *homing-in* ou guidage radio vers la station émettrice

Le *homing-in* consiste à suivre la force d'un signal radio. Lorsque les chercheurs se rapprochent de l'animal, la force du signal augmente. Il est alors préférable de réduire le gain du récepteur pour affiner la détection de la direction du signal. Ce procédé continue jusqu'à ce que le chercheur voie l'animal ou soit suffisamment proche de lui (Mech, 1983). Le *homing-in* peut introduire un biais dans les données par le dérangement de l'animal et le changement de comportement qui peut en résulter (White & Garrott, 1990).

c) La triangulation

Dans beaucoup d'applications de la télémétrie VHF, l'origine du signal est obtenue par les intersections de plusieurs azimuts pris depuis plusieurs sites de réception différents. La triangulation implique donc l'obtention d'au moins deux azimuts du signal, de différents endroits (préférentiellement à un angle de 90° l'un de l'autre, et aussi près que possible de l'animal). Chaque azimut est en réalité une estimation de la direction, à laquelle on attribue une erreur (écart-type) et l'on calcule un intervalle de confiance (fixé généralement à 95 %). Le recoupement des intervalles de confiance sur une carte forme un polygone d'erreur qui contient théoriquement la position de l'animal (Heezen & Tester, 1967). La taille du polygone d'erreur est fonction de trois variables (Saltz & Alkon, 1985) :

- la variance autour de l'azimut calculé,
- la distance entre les sites récepteurs et la source émettrice,
- l'angle d'intersection des différents azimuts pour une même localisation.

En pratique, il est préférable de prendre trois ou quatre azimuts à cause des imprécisions de l'antenne directive. Si l'un des azimuts est incorrect, alors la position obtenue par triangulation sera moins précise (White & Garrot, 1990 ; Tomkiewicz, 1998 ; Mech & Barber, 2002).

Afin d'obtenir des azimuts de plusieurs sites, on suppose que l'animal est immobile durant le temps pendant lequel les mesures sont prises. Des erreurs significatives peuvent être introduites si les azimuts d'une même localisation ne sont pas pris durant une période relativement courte. En effet, plus le temps passe, plus la probabilité que l'animal ait bougé augmente. Cela signifie que les azimuts doivent être obtenus simultanément, car on ne peut pas savoir si l'animal reste à la même position alors que l'observateur va d'un site de réception à l'autre. On peut éviter ce problème avec plusieurs chercheurs prenant simultanément des mesures, chacun d'un endroit différent (Tomkiewicz, 1998 ; Mech & Barber, 2002).

La triangulation localise un animal avec un dérangement minimal du fait que les observateurs peuvent être à distance de l'animal. Cependant, plus l'on est loin, plus l'erreur augmente (Mech & Barber, 2002). La distance optimale pour le recueil du signal est donc un compromis entre un éloignement de l'animal permettant un dérangement minimal, et un rapprochement suffisant du récepteur pour augmenter la précision.

d) Pistage automatique

Le radiopistage automatique ne nécessite aucun chercheur sur le terrain pour obtenir la localisation d'un animal. Ainsi, l'avantage évident de cette méthode est la diminution de la présence humaine sur le terrain. Par ailleurs, les azimuts étant automatiquement enregistrés, les mesures ne devraient pas comporter d'erreurs subjectives (Angerbjorn & Becker, 1992). Un inconvénient important à cette méthode est le coût élevé de l'investissement initial et de la maintenance (Mech & Barber, 2002).

Le premier système complet de radiopistage automatique fut le système *Cedar Creek* (Université du Minnesota) (Cochran *et al.*, 1965). Ce système enregistrait les positions de 52

animaux (portée de réception de 100 m à 10 km) toutes les 45 secondes et utilisait deux antennes Yagi rotatives montées sur des tours de 20 m et de 30 m. Depuis ce premier système automatique, d'autres ont été décrits (Deat *et al.*, 1980 ; Angerbjorn & Becker, 1992).

e) Sources d'erreur de localisation par la télémétrie VHF

i) Les échos

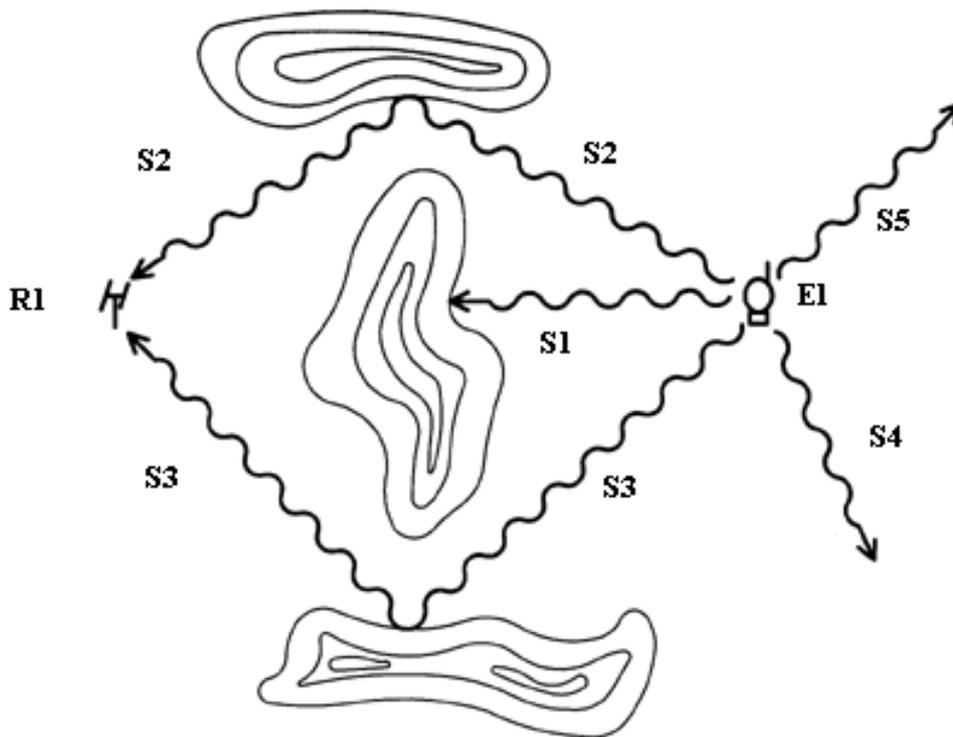
Dans des conditions idéales, la distance de transmission estimée en kilomètres, depuis l'horizon (D_{km}) est donnée par l'équation ci-dessous où H est la hauteur en mètres de l'antenne par rapport au sol.

$$D_{km} = 4,124 \sqrt{H}$$

Cette équation prend en compte la légère courbure du signal radio sur la sphère terrestre. Cependant les lignes électriques et les forêts denses tendent à courber le signal radio, affectant sérieusement la distance d'émission et les précisions de direction. Idéalement, l'antenne devrait être aussi élevée que possible au dessus du relief environnant (Amlaner, 1980). Un autre problème se pose pour les ondes radio très haute fréquence (VHF) entre 100 et 300 MHz qui ne se propagent pas à travers la terre et peuvent rebondir sur les flancs de colline humides ou mouillés, les parois rocheuses, les rideaux de végétation humide (canopée), les lignes électriques mouillées et les grandes étendues d'eau (Amlaner, 1980 ; Smith *et al.*, 2006a). Ce phénomène s'appelle l'écho. Il augmente avec les hautes fréquences et peut tromper un observateur sur la direction effective d'un loup.

Etablir une ligne de vue, ou *line-of-sight* (LOS) est fondamental pour trouver la direction de l'émetteur lorsqu'on utilise la télémétrie VHF. Une condition LOS implique qu'il y ait une vue directe entre l'antenne réceptrice et l'antenne émettrice de l'animal. Cela signifie que l'on pourrait tendre un fil entre le récepteur et l'émetteur, sans que rien ne bloque ou ne réfléchisse le signal passant par cette ligne. La présence d'une colline ou d'une montagne entre l'observateur et l'animal est clairement une situation où les conditions LOS n'existent pas. Ainsi, le signal en ligne directe est bloqué et tous les signaux reçus par l'antenne sont des rebonds dus au relief environnant (figure 9) (Tomkiewicz, 1998).

Figure 9. Emission et réception des signaux télémétriques dans un relief montagneux (Tomkiewicz, 1998)



L'émetteur E1 émet des signaux omnidirectionnels. Le signal direct S1 est bloqué par une montagne. Les signaux S2 et S3 qui arrivent à l'antenne réceptrice R1 sont indirects et ont réfléchi sur des montagnes.

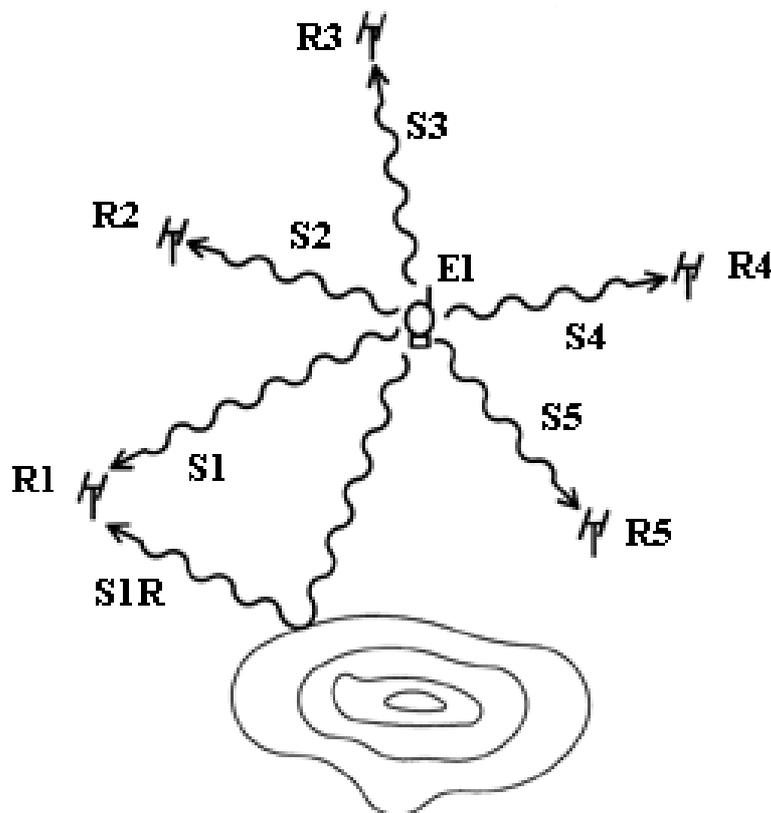
Les rebonds surviennent aussi fréquemment lorsque les loups sont en altitude sur une montagne ou sur la crête, leur signal passant au dessus de l'observateur pour rebondir sur une paroi voisine, à l'opposé de l'origine du signal (Smith *et al.*, 2006a). Par ailleurs, si une antenne réceptrice est placée sur un relief en pente raide, on ne doit pas se mettre au sommet, surtout si l'émission vient d'en face. En effet, les ondes arrivant sur ce relief auraient tendance à diffracter sur cette pente en dessous de l'antenne réceptrice (Amlaner, 1980).

Quand il y a une couverture végétale dense, il se peut que l'observateur suive des échos et prenne ainsi une mauvaise direction. Souvent, le signal devient de plus en plus faible du fait de l'éloignement de la source émettrice. Par ailleurs, les signaux reçus semblent émaner de différentes positions à mesure que l'observateur avance et les azimuts semblent venir de nombreuses positions. Pour minimiser ces problèmes de suivi et obtenir une détection plus sensible, il faut diminuer le gain du récepteur, utiliser une antenne réceptrice directive à gain plus faible et prendre le maximum d'azimuts lors du suivi (Tomkiewicz,

1998). On peut utiliser dans ces conditions une antenne dite cadre pour réduire le nombre d'échos reçus. Les signaux indirects peuvent aussi être minimisés en utilisant l'antenne réceptrice depuis un avion (Tomkiewicz, 1990).

L'antenne émettrice étant omnidirectionnelle, il peut y avoir plusieurs signaux reçus (directs et indirects) au niveau d'une même antenne réceptrice. Cependant, la situation idéale, décrite dans la figure 10 est rare à moins que l'on travaille dans une plaine sans relief.

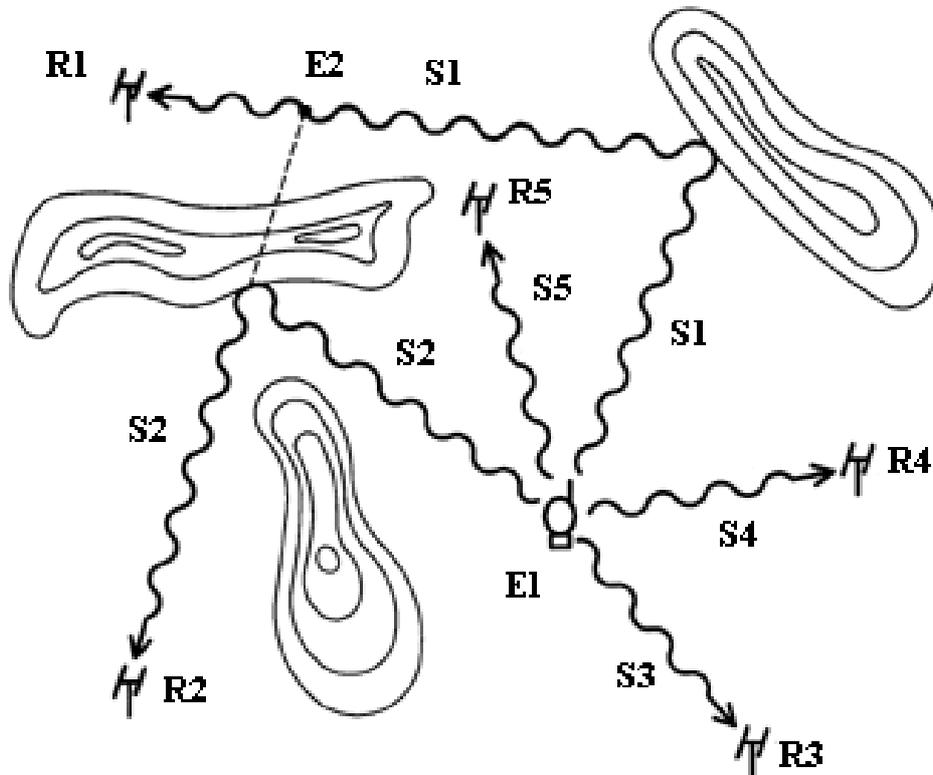
Figure 10. Radiopistage par triangulation (Tomkiewicz, 1998)



L'émetteur E1 émet des signaux omnidirectionnels. R1, R2, R3, R4, R5 indiquent les positions des antennes réceptrices. Tous les sites de réception sont LOS et peuvent recevoir les signaux directs S1, S2, S3, S4, S5. Les azimuts pris depuis les sites de réception (excepté R1) permettent une triangulation d'E1. Au niveau de R1, il y a une sommation de S1 et du signal indirect S1R réfléchi par une paroi. Si l'écho S1R est faible par rapport au signal direct S1, alors son influence sur l'azimut obtenu au site R1 sera minimale. En revanche, si le signal S1R est fort par rapport à S1, l'angle de réception peut être significativement altéré. En général, la détection d'une position triangulée par 4 ou 5 sites de réception donne un résultat fiable.

La situation la plus fréquemment rencontrée est décrite dans la figure 11 (Tomkiewicz, 1998).

Figure 11. Radiopistage par triangulation dans un environnement montagneux (Tomkiewicz, 1998)



L'émetteur E1 émet des signaux omnidirectionnels, S1, S2, S3, S4, S5. Les antennes réceptrices R1 et R2 ne reçoivent pas de signaux directs LOS, mais des échos, S1 et S2 (respectivement). Le résultat de la triangulation pour ces deux positions réceptrices conduit à l'établissement d'une position E2 comme source suspectée du signal. Cependant, les azimuts obtenus au niveau des antennes réceptrices R3, R4 et R5 conduisent par triangulation à la position E1 comme signal source.

Lors de triangulation, il est parfois possible de différencier une position obtenue à partir de signaux indirects, d'une position obtenue à partir de signaux LOS. L'azimut d'un signal réfléchi, est en direction de la paroi réfléchissante et non de l'émetteur. Souvent, un léger ajustement du site de réception (quelques centaines de mètres ou plus) donne un nouvel angle de réception qui suggère une nouvelle position de l'animal. (Tomkiewicz, 1998). La plupart du personnel de terrain utilisant la télémétrie, reconnaît le signal LOS des autres signaux car celui ci est plus puissant que les autres. Une force de signal irrégulière et contradictoire est un bon indicateur (mais imparfait) d'un écho du signal. C'est souvent le cas, mais ce n'est pas toujours vrai. En effet, le signal peut traverser une grande étendue et être fortement atténué par la végétation. Dans ces conditions, même s'il y a un signal LOS, il peut être faible et ne pas être différenciable des signaux indirects. Par conséquent le signal le plus fort n'est pas forcément le signal LOS et il existe beaucoup de cas où les échos sont plus forts

que le signal direct (voir le paragraphe *Partie I.II.B.2.e.ii. Phénomène de polarisation du signal*) (Tomkiewicz, 1998 ; Smith *et al.*, 2006a). En condition LOS, les azimuts devraient converger vers la position réelle de l'animal. C'est l'accord entre plusieurs sites de réception sur le point de convergence qui suggère fortement que le signal est LOS et que la détermination de la position résultante est fiable. Si la position de l'animal n'est LOS avec aucun des récepteurs, la position par triangulation obtenue par deux récepteurs, ne concordera pas avec la position obtenue avec deux autres récepteurs (Tomkiewicz, 1998).

L'expérience du terrain aide à avoir un regard critique sur l'environnement de l'étude et à détecter les reliefs qui peuvent produire des signaux indirects. Les échos peuvent être difficiles à détecter, mais il faut être conscient de leur existence (Tomkiewicz, 1998 ; Smith *et al.*, 2006a).

ii) Phénomène de polarisation du signal

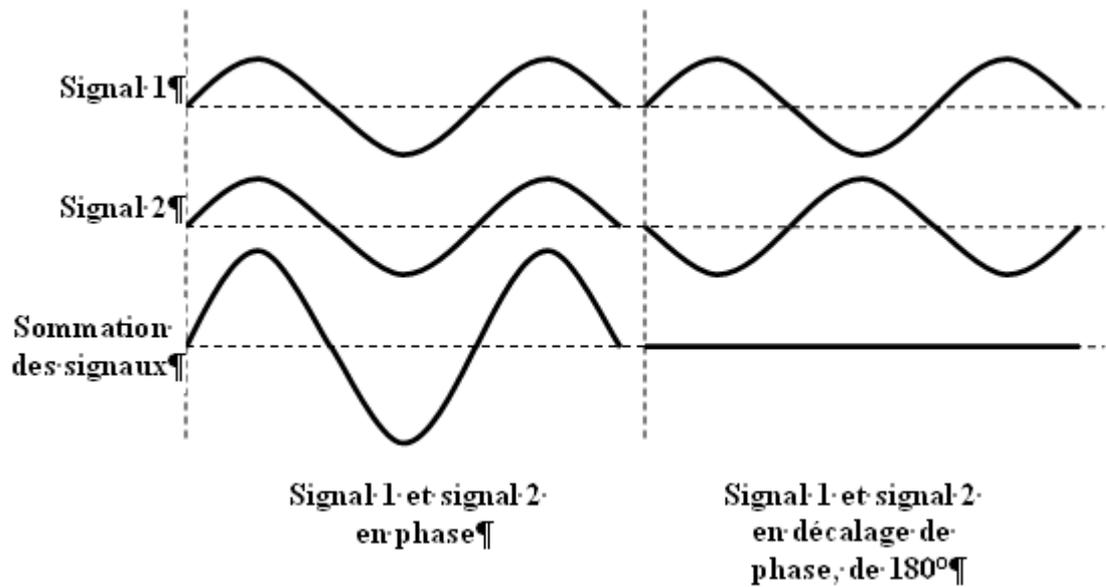
Lorsqu'une onde radio est reçue par une antenne réceptrice et que l'onde est polarisée dans le même plan que l'antenne réceptrice, le signal reçu sera plus fort que si l'onde est reçue avec une rotation de 90 degrés par rapport à sa polarisation. C'est la raison pour laquelle, parfois, en utilisant une antenne en *H* au dessus de la tête (polarisation horizontale), un faible signal peut être entendu. En changeant la position de l'antenne (polarisation verticale), le signal reçu, alors dans la même polarisation, est plus intense. Le simple fait d'orienter l'antenne réceptrice dans la même polarisation que l'onde radio produit ainsi l'augmentation de la force du signal. Il n'y a aucun moyen de connaître la polarisation de l'émission, car l'antenne émettrice peut être dans n'importe quelle orientation sur l'animal. Les changements de polarisation de l'onde radio surviennent aussi lorsque l'onde rencontre une surface réfléchissante. L'onde radio réfléchie subit une rotation, modifiant ainsi sa polarisation lors de sa propagation. Dès lors, du fait du changement de polarisation de l'onde, il est possible de recevoir un signal indirect plus puissant que le signal LOS (Tomkiewicz, 1998).

iii) Phénomène d'annulation de phase

Dans la plupart des cas, les signaux directs et indirects arrivent simultanément, mais lorsque la distance parcourue par les ondes est grande, il peut y avoir un délai entre le signal direct et l'écho. Le signal reçu peut apparaître alors comme une double pulsation. Si les signaux sont en phase, la sommation produit un signal d'intensité augmentée. En revanche si

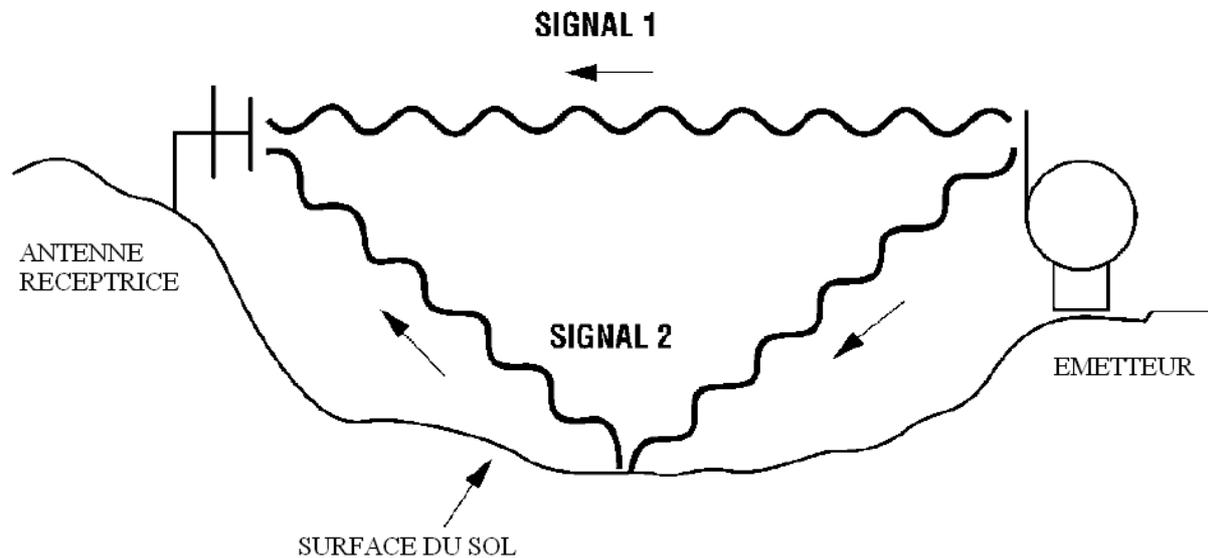
les signaux sont en décalage de phase de 180° , alors il y a annulation de phase et aucun signal n'est entendu (figure 12).

Figure 12. Phénomène de sommation et d'annulation de phase d'ondes radio (Tomkiewicz, 1998)



L'annulation de phase peut survenir dans des terrains au relief relativement peu accentué, comme l'indique la figure 13.

Figure 13. Phénomène d'annulation de phase des ondes radio télémétriques (Tomkiewicz, 1998)



Dans ces cas de figure, toutes les conditions semblent optimales (le collier est en ligne de vue, le point d'observation est en hauteur...). Cependant aucun signal ne peut être entendu. Si l'animal bouge, alors il se peut que les ondes rentrent en phase et l'observateur entendra soudainement un signal plus fort. Cette situation peut être déconcertante lorsque l'on n'est pas informé de ces effets (Tomkiewicz, 1998).

f) L'observation visuelle des loups

L'observation directe de l'animal est parfois le but d'une étude de télémétrie, afin de recueillir des éléments du comportement. Il est d'usage dans un premier temps d'explorer par radio-télémétrie les lieux connus pour être préférentiellement fréquentés par les loups. Une fois qu'un signal radio est obtenu, les chercheurs pointent une longue-vue en direction du signal obtenu. Des jumelles offrent un champ visuel plus large et sont généralement utiles pour établir un premier contact visuel avec les loups. Les longues-vues en revanche permettent des observations plus détaillées (Smith *et al.*, 2006a).

L'un des meilleurs indices pour détecter les loups est d'observer les mouvements et le comportement des autres animaux, comme les ongulés sauvages, les autres carnivores (coyotes, renards...), les corvidés. Durant les mois d'hiver, les loups sont bien souvent les seuls prédateurs des ongulés sauvages et sont donc les seuls, avec les hommes, à les effrayer. Les ongulés vigilants, réagissant à un danger perçu, vont courir et se regrouper, la tête levée,

regardant tous vers la même direction. Les ongulés calmes et passifs sont éparpillés, et paissent ou se reposent. Lorsque l'on voit des ongulés vigilants, il faut pointer dans la direction de leurs regards pour identifier la source de leur anxiété (Smith *et al.*, 2006a)

Les petits carnivores comme les renards, les coyotes ou même les chiens, répondent à la présence des loups par des cris d'alarme, comprenant des jappements aigus, des aboiements et des hurlements. Stahler *et al.* (2002) ont montré une forte association entre les corvidés et les loups dans le Yellowstone (USA). Les corbeaux suivent les meutes de loups tout au long de la journée afin de détecter les carcasses laissées par les loups. Ainsi, chercher les corbeaux perchés sur les arbres ou en train de voler permet souvent de détecter une carcasse ou la présence de loups. La présence de pies, de corbeaux, de coyotes, d'aigles royaux ou de pygargues à tête blanche sont, au Yellowstone, souvent un bon indicateur d'une carcasse. Une fois celle-ci trouvée, il faut chercher aux alentours pour détecter la présence éventuelle de loups (Smith *et al.*, 2006a).

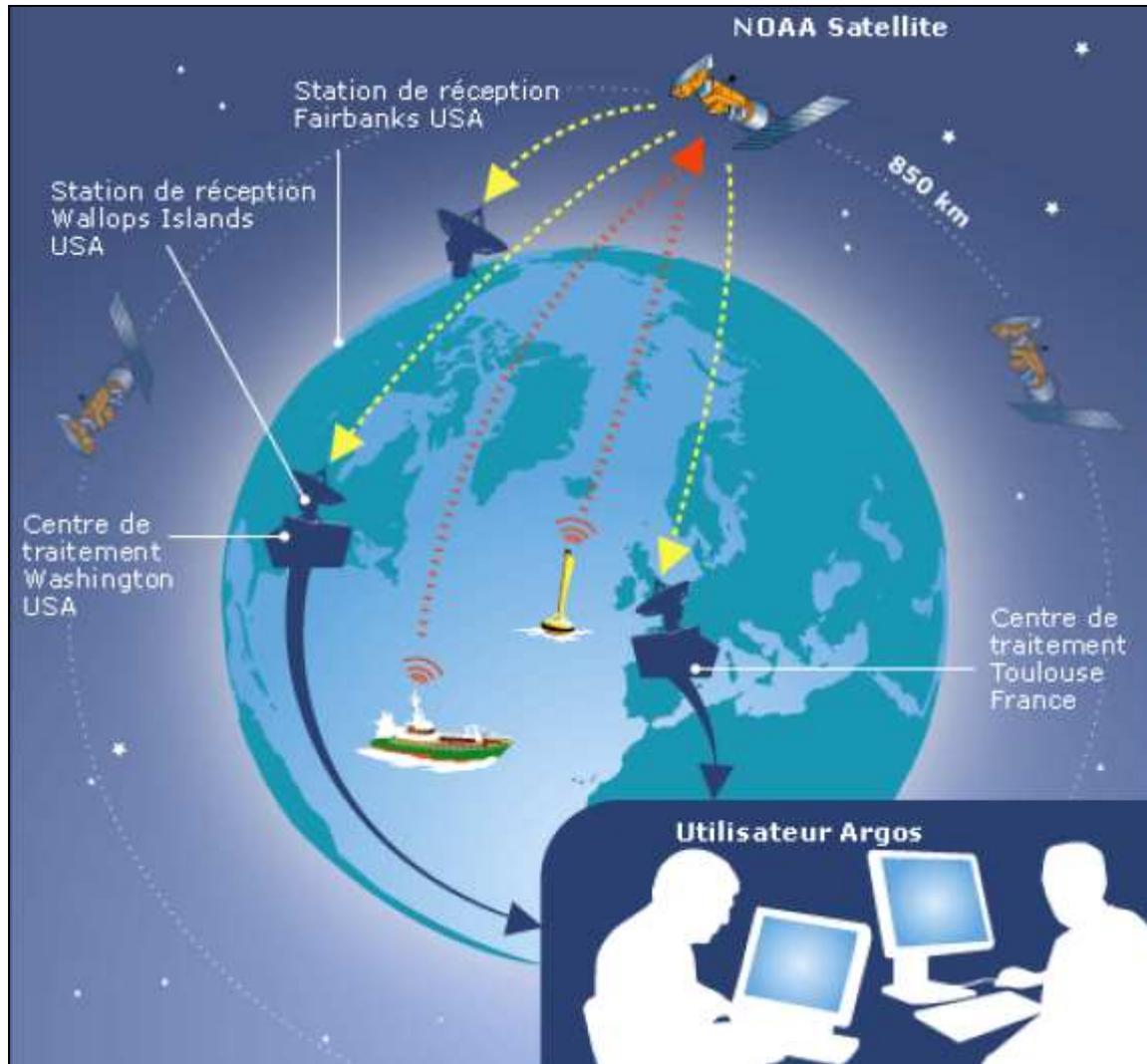
C. Suivi par satellite

La télémétrie par satellite utilise une plate-forme unidirectionnelle ou balise, attachée à un animal. Le signal ultra haute fréquence (UHF) (401,650 MHz) émis par la balise est envoyé à un satellite qui relaie l'information à une station de réception et un centre de traitement terrestres pour l'enregistrement et le traitement des données. Ces données sont ensuite mises à la disposition des chercheurs (Priede, 1992 ; Mech & Barber, 2002 ; Collecte Localisation Satellite, 2008).

Les premières balises ont été conçues pour fonctionner avec les satellites Nimbus (Kolz *et al.*, 1980). La génération de balises suivante fut coordonnée avec le système de localisation et de collecte de données Argos porté par les satellites météorologiques Tiros-N (Rodgers *et al.*, 1996). Le système Argos est le résultat de la coopération entre le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES, France), la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, USA) et la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, USA) (Mech & Barber, 2002). Les systèmes récepteurs sont positionnés sur des satellites NOAA et depuis 2006 également sur des satellites de l'Organisation Européenne pour l'Exploitation des Satellites Météorologiques (Eumetsat). Ces satellites sont placés en orbite polaire basse, permettant une couverture complète du globe. A tout moment, le

diamètre de réception d'un satellite est de 5 000 km (Taillade, 1992 ; Collecte Localisation Satellite, 2008) (figure 14).

Figure 14. Vue d'ensemble du système Argos (Collecte Localisation Satellite, 2008)



Les balises possèdent un numéro d'identification unique et sont programmées pour émettre tous les 90 à 200 secondes avec une durée de pulsation d'environ un tiers de seconde (Howey, 1992 ; Samuel & Fuller, 1996, cités par Mech & Barber, 2002 ; Collecte Localisation Satellite, 2008). Lorsqu'un satellite passe au-dessus de l'animal, il y a une fenêtre de 10 à 12 minutes pendant laquelle un signal émis par la balise peut être reçu. Plus les balises sont proches des pôles, plus le nombre de passages d'un satellite va être élevé (jusqu'à 14 fois par jour). Les données seront donc disponibles en plus grand nombre pour des animaux situés à de plus hautes latitudes. La localisation d'une balise se fonde sur l'effet Doppler-Fizeau qui se traduit par le changement de fréquence d'une onde sonore ou électromagnétique lorsque la

source des vibrations et l'observateur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre (Ancel *et al.*, 1992 ; Collecte Localisation Satellite, 2008). Le taux de recueil des données par les satellites, varie en fonction de la topographie et de la latitude. Keating *et al.* (1991) ont trouvé des pourcentages de localisation correspondant à 11 % des tentatives de localisation dans les vallées et à 56 % sur les pics montagneux.

En plus de recueillir des informations relatives à la position de l'animal, les balises peuvent enregistrer diverses données : physiologiques, comportementales et environnementales, comme la fréquence cardiaque, la température ambiante... (Tomkiewicz & Beaty, 1987, cités par Mech & Barber, 2002 ; Fancy *et al.*, 1989 ; Taillade, 1992 ; Fancy & Ballard, 1995)

Les balises devant être assez puissantes pour transmettre un signal à un satellite distant de 800 à 4 000 km, leur puissance de rayonnement est comprise entre 250 mW et 1 W (comparée aux 10 mW de puissance de rayonnement pour un émetteur VHF de radiopistage classique) (Howey, 1992 ; Taillade, 1992). Un collier à balise standard requiert donc des batteries plus puissantes qu'un émetteur VHF, pour une même durée de vie. Pour prolonger la vie des balises, certains chercheurs programment l'émetteur pour qu'elles ne fonctionnent qu'un jour sur trois (Mech & Barber, 2002).

La télémétrie par satellite a été utilisée pour la première fois dans des études sur la faune sauvage à la fin des années 1960 (Buechner *et al.*, 1971) et s'est rapidement développée, depuis 1984 surtout pour le suivi des mouvements et de l'activité d'animaux sauvages (Fancy & Ballard, 1995). Le système de localisation et de collecte de données Argos a en effet été utilisé par l'Office Fédéral de la Pêche et de la Faune Sauvage des Etats-Unis et le Département de la Pêche et de la Chasse de l'Alaska entre 1984 et 1990 pour obtenir plus de 100.000 localisations de caribous, d'ours polaires, de bœufs musqués et d'autres mammifères terrestres (Fancy *et al.*, 1988, 1989 ; Harris *et al.*, 1990).

En 1987, Telonics Inc. (Mesa, Arizona) a développé un appareillage pesant 1 200 g (comprenant l'émetteur, la source d'alimentation, une balise VHF et son alimentation, le boîtier et le collier) qui était assez léger et petit pour être utilisé, pour la première fois, sur des loups (Ballard *et al.*, 1995a).

L'étude des loups dans le milieu naturel requiert en général une variété d'informations que le suivi par satellite ne fournit pas, comme le comportement social ou de prédation (taux

de prédation, localisation des carcasses, espèces, âge, conditions de la mort...) (Mech & Barber, 2002). Il est possible d'incorporer dans la balise Argos, un émetteur VHF, mais les deux unités (VHF et UHF) étant contenues dans le même collier, la taille de l'antenne VHF est considérablement réduite (de 457 mm à 229 mm), induisant une diminution de la portée d'émission de 75 % (Ballard *et al.*, 1995a). De nombreuses études incorporent de tels émetteurs dans la balise afin de faciliter la recapture de l'animal pour une réutilisation ultérieure du collier (Gorman *et al.*, 1992). Une autre solution consiste à équiper un seul individu avec une balise Argos et les autres loups de la meute avec des émetteurs VHF.

D. Suivi par GPS (*Global Positioning System*)

1. Le système GPS

Le concept du suivi par GPS repose sur un récepteur (plutôt qu'un émetteur pour la télémétrie par satellite) attaché à un collier sur l'animal. Ce récepteur scanne 24 satellites en orbite autour de la terre et utilise un ordinateur interne pour calculer et stocker les localisations périodiques de l'animal (par exemple 1 fois toutes 15 minutes, une par heure etc.) en fonction de la position des satellites et du temps mis pour que le signal émis par chaque satellite, atteigne l'unité réceptrice sur l'animal (Mech & Barber, 2002).

En 1973, le Ministère de la Défense des Etats-Unis d'Amérique commença à développer, à des fins militaires, un système de localisation par satellite appelé *Global Positioning System* afin d'avoir une couverture satellite globale sur 24 heures. En 1993, en mettant en place le 24^{ème} satellite, le GPS atteint sa capacité opérationnelle initiale (Rodgers *et al.*, 1996 ; Tomkiewicz, 1996). Chaque satellite, orbitant en approximativement 12 heures, possède un almanach des positions de tous les autres satellites, de sa position actuelle et de l'heure exacte (Mech & Barber, 2002).

Les satellites émettent en continu des signaux radio, et un récepteur GPS doit recevoir en simultané les signaux d'au moins quatre de ces satellites pour déterminer sa position en trois dimensions (latitude, longitude, altitude) (Merrill *et al.*, 1998). Le calcul de la position du récepteur se base sur quatre équations à quatre inconnues (latitude, longitude, altitude, temps satellite/récepteur) (Rodgers *et al.*, 1996).

A l'origine, pour des raisons de sécurité nationale, le Ministère de la Défense des Etats-Unis d'Amérique a introduit intentionnellement une erreur appelée *disponibilité*

sélective dans le signal GPS reçu par les civils (Dussault *et al.*, 2001). Sous disponibilité sélective, la précision était tout de même inférieure à 100 m dans 95 % des cas (U.S. Department of Defense, 1984, cité par Mech & Barber, 2002). Une correction différentielle pouvait en partie réduire cette erreur, amenant ainsi la précision entre 2 et 5 m (Moen *et al.*, 1997). En mai 2000, la politique de *disponibilité sélective* a été abandonnée par les autorités américaines, accordant à l'unité GPS standard de faune sauvage, la même précision qu'avec une correction différentielle sous *disponibilité sélective* (Dussault *et al.*, 2001).

En 1994, Lotek Engineering, Inc., a présenté le premier système de localisation d'animaux par GPS, le GPS_1000. Depuis cette première présentation, la taille a été réduite, la durée d'utilisation a augmenté, le stockage et la récupération des données ont été améliorés. De nos jours, un collier standard consiste en un récepteur GPS et une antenne, un système de balise VHF (pour une localisation de sauvegarde et la vérification du système), du matériel de traitement et de contrôle des données et une batterie (Rodgers *et al.*, 1996).

Les premiers colliers Lotek GPS_1000 pesaient 1,8 kg et étaient trop lourds pour des mammifères de taille moyenne. Ils étaient alors uniquement utilisés sur des grands animaux, comme des élans (Rempel *et al.*, 1995 ; Moen *et al.*, 1996 ; Rodgers *et al.*, 1996). Une seconde génération de colliers, les GPS_2000 par Lotek, assez petits et pesant 950 g ont permis d'équiper des loups (Mech & Barber, 2002).

Le pistage par GPS permet aux chercheurs d'obtenir des données sur la localisation de l'animal, par tous temps, à des intervalles aussi fréquents que toutes les minutes ou au contraire peu fréquemment comme une fois par semaine, aussi bien le jour que la nuit (Merrill *et al.*, 1998 ; Moen *et al.*, 1996). On peut ainsi obtenir un très grand nombre de données. Par exemple, sur une période de 30 jours, 2 880 localisations par animal peuvent être acquises en fixant l'intervalle du recueil de données par l'unité GPS à 15 minutes (Mech & Barber, 2002). Ainsi, Merrill *et al.* (1998) ont recueilli sur deux loups en deux semaines autant de données qu'ils n'auraient pu obtenir en 20 ans avec un radiopistage aérien hebdomadaire. Le système GPS permet donc d'obtenir des données à des intervalles courts qui se révèlent intéressants pour étudier des périodes spécifiques, comme les mouvements lors de l'élevage des jeunes, la dispersion et d'autres périodes réduites dans le temps. Cette technique permet une grande régularité dans le recueil de données et une flexibilité dans la programmation du protocole d'échantillonnage (Merrill *et al.*, 1998).

2. Options utiles des systèmes de suivi par GPS

Certaines caractéristiques des colliers GPS rendent le suivi plus simple pour les chercheurs, moins invasif pour l'animal en diminuant les captures et la contention, et permettent de regrouper divers outils en un seul appareil de recueil de données (Mech & Barber, 2002).

a) Augmentation de la durée de vie des batteries

La longévité des unités GPS est moindre que celle des unités VHF conventionnelles. Les unités VHF conçues pour un animal de la taille d'un loup, durent quatre ans, alors que les unités GPS durent rarement plus d'un an (Mech & Barber, 2002). La réduction du poids des colliers GPS affecte indirectement leur longévité en permettant d'ajouter des batteries (Tomkiewicz, 1996). La longévité a aussi été augmentée par le cycle de fonctionnement de la balise VHF, qui peut s'éteindre lorsque son utilisation n'est pas requise (la nuit par exemple) (Mech & Barber, 2002). Certains colliers peuvent être programmés pour commencer leur recueil de données quelques mois plus tard (Nelson & Mech, 2004).

La consommation des batteries est maximale pendant la phase d'acquisition par le système du signal satellite pour obtenir une localisation. Le temps de recherche est donc critique pour la longévité du collier. Dans beaucoup d'endroits, l'acquisition d'un point de localisation requiert deux à quatre minutes à cause de la topographie et de la couverture végétale (Mech & Barber, 2002). Il est possible de configurer l'unité GPS de telle manière qu'elle tente une localisation pendant une durée prédéterminée puis s'éteigne si aucune localisation n'est trouvée. L'unité GPS tentera alors une autre localisation plus tard (par exemple 15 minutes). Si plusieurs tentatives de localisation successives échouent, le collier GPS reste inactif jusqu'au prochain programme de localisation (par exemple toutes les heures) (Merrill *et al.*, 1998).

Un autre facteur affectant la longévité des systèmes GPS est la position de l'antenne lors de la tentative de localisation. En effet, si l'animal est en train de dormir et que l'antenne n'est pas dirigée vers le ciel (et donc vers un satellite) alors le système devra dépenser plus d'énergie pour obtenir un contact avec le satellite (Merrill *et al.*, 1998).

Le GPS-Simplex est alimenté par deux batteries : l'une pour le récepteur GPS, le stockage des données, la balise VHF, la transmission du rapport, etc., et l'autre prend le relais une fois que la première batterie a expiré. Lorsque le collier utilise la batterie de secours, la

fréquence de pulsation de la balise VHF change, alertant ainsi l'équipe de suivi que les données GPS ne seront plus relevées. Une fois que la deuxième batterie est en fonctionnement, les chercheurs ont à peu près 6 mois pour tenter de récupérer le collier (Mech & Barber, 2002).

On attend d'autres améliorations comme le perfectionnement des piles à combustible (à hydrogène) assez petites pour être adaptées à un collier émetteur. Théoriquement, elles fourniraient une durée de vie plus longue ou un équipement plus léger (Mech & Barber, 2002).

b) Batteries remplaçables sur le terrain

Les batteries remplaçables sur le terrain permettent de recapturer l'animal une seule fois au lieu de deux. Les unités ayant des batteries non remplaçables sur le terrain doivent être retournées au constructeur, ce qui signifie au moins deux recaptures : l'une pour obtenir le collier avec la batterie à plat et l'autre pour rééquiper l'animal avec le collier et la nouvelle batterie. Les batteries remplaçables sur le terrain réduisent le temps pendant lequel l'unité GPS est non fonctionnelle et évitent donc la perte de données sur le terrain (Mech & Barber, 2002). On peut associer un émetteur VHF, dont le signal est modifié lorsque les batteries de l'unité GPS sont trop faibles, ou lorsque le collier est libéré automatiquement (voir le paragraphe *Partie I.I.A.3. Fixation du matériel*). Chaque signal spécifique permettra au chercheur de connaître le statut du collier (Merrill *et al.*, 1998).

c) Système de télécommunication bilatérale

La télécommunication bilatérale est un système de reprogrammation à distance. Elle minimise le contact avec l'animal car le lien de communication peut être utilisé dans certains modèles pour reprogrammer le calendrier de localisations et d'autres paramètres de l'unité GPS à distance, sans avoir à recapturer l'animal ni retrouver le collier (Mech & Barber, 2002).

d) Traitement et analyse des données

L'énorme quantité de données générées par les systèmes GPS représente un défi pour le traitement et l'analyse des données. Ces dernières peuvent être facilement importées sur un système d'information géographique (SIG) et ont l'avantage d'avoir la même résolution que des données de cartographie d'habitat dérivées de l'imagerie satellite. Par ailleurs, les données étant automatiquement enregistrées, l'erreur humaine est limitée (Rodgers, 2001).

e) Autres options des systèmes GPS

Les caractéristiques comme les indicateurs de mortalité et les capteurs de température et d'activité permettent aux chercheurs de combiner le recueil des données de position avec d'autres études physiologiques ou écologiques, qui auraient pu nécessiter des travaux supplémentaires. Par exemple, les chercheurs peuvent utiliser l'unité GPS pour corrélérer temporairement l'activité des animaux en fonction de la température ambiante (Mech & Barber, 2002).

3. Récupération des données pour le pistage GPS

Trois méthodes principales de stockage et de récupération des données sont utilisées dans la télémétrie GPS : 1) stockage sur mémoire embarquée pour une récupération ultérieure du collier et le téléchargement des données, 2) le téléchargement à distance à partir d'un récepteur portable, 3) un relais par le système satellite Argos. Chaque type de stockage et de récupération des données présente ses avantages et ses inconvénients (Mech & Barber, 2002).

a) Données GPS stockées sur mémoire embarquée

Les colliers avec des capacités de stockage par mémoire embarquée réduisent l'effort des chercheurs et les manipulations invasives sur l'animal (une seule contention requise). En effet, ces colliers sont attachés sur l'animal puis récupérés par la suite lors de la recapture de l'animal ou grâce à un mécanisme qui détache le collier automatiquement ou à distance (voir le paragraphe *Partie I.I.A.3. Fixation du matériel*). Les données sont ainsi téléchargées toutes à la fois à partir du collier (Merrill *et al.*, 1998).

Les colliers avec un stockage par mémoire embarquée sont moins complexes que les autres types de colliers GPS. Leur taille est relativement petite car ces colliers nécessitent des petits circuits et sont moins complexes. Cela permet, pour le même poids, d'avoir plus de batteries (durée de vie plus longue) (Tomkiewicz, 1996). Ils requièrent moins de matériel (par exemple des récepteurs de terrain spécifiques) et sont donc moins coûteux (Merrill *et al.*, 1998).

Le principal désavantage de ce type d'unités GPS est la perte de données. Si le mécanisme de détachement du collier ne fonctionne pas, toutes les données sont perdues, à moins de recapter l'animal (Merrill *et al.*, 1998). Aussi, comme il n'y a aucun rapport de données intermédiaire qui permet un contrôle, l'unité peut mal fonctionner et ne pas recueillir de données ou recueillir des données à des mauvais intervalles. Certaines unités contiennent

une balise VHF qui alerte le chercheur sur le statut de la dernière tentative de localisation. Un signal VHF spécifique sera émis en cas de succès de localisation (trois *bips* par exemple). Un signal différent est émis en cas d'échec (un seul *bip* par exemple). Cependant, la balise indique uniquement que l'unité semble fonctionner correctement ; elle ne transmet aucune donnée et si le collier n'est pas retrouvé, les données sont alors perdues (Merrill *et al.*, 1998). Leur sauvegarde se fait sur Flash-EEPROM (utilisé aussi dans les clés USB) et n'est pas dépendante d'un apport d'énergie. De ce fait, les données ne sont pas perdues si les piles de l'unité sont complètement déchargées (Walzer & Kaczensky, 2008).

b) Données GPS téléchargées sur un récepteur portable

La seconde méthode de récupération des données garantit une récupération au moins partielle, même si le collier fonctionne mal ou s'il ne se détache pas de l'animal. Cette méthode permet un téléchargement des données à distance, tout au long de l'étude. Le collier est programmé pour transmettre les données par un signal VHF (certains systèmes utilisent un relais FM ou un modem UHF) au récepteur du chercheur (Mech & Barber, 2002). Le système UHF est très léger et peu onéreux, mais la transmission est extrêmement lente et peu stable si l'animal bouge. Si l'on envisage d'utiliser le système UHF pour la récupération des données il est très important de programmer l'heure de transmission lorsque l'animal est au repos (Walzer & Kaczensky, 2008). Pour récupérer les rapports, le chercheur doit être dans la portée du récepteur VHF, soit à 5 à 10 km sol-sol, ou à 15 à 20 km sol-air, ou pour un récepteur UHF, à 15 km dans la ligne de vue (Rodgers *et al.*, 1996). La transmission des données par le *Global System for Mobile Communication* (GSM pour téléphones portables) de plus en plus fiable et facile d'utilisation se répand actuellement en Europe. Les données sont alors transmises par *Short Message System* (SMS). Si l'animal n'est pas dans une zone de réception des signaux GSM, les données sont sauvegardées et un essai est automatiquement réalisé plus tard (Walzer & Kaczensky, 2008).

Les chercheurs peuvent recevoir jusqu'à cinq rapports de données par jour, ou à la fréquence d'un rapport par semaine. Cette récupération régulière des données permet aux biologistes d'apporter un complément aux données de terrain. Par exemple, si les données de localisation indiquent qu'un loup a passé beaucoup de temps sur une aire réduite, cela peut indiquer la position d'une carcasse. Le chercheur peut alors essayer de la retrouver en utilisant une unité GPS de navigation portable (Mech & Barber, 2002).

L'interprétation des rapports GPS peut aussi alerter les chercheurs sur un mauvais fonctionnement de l'unité GPS ou suggérer qu'un changement dans la programmation est nécessaire. Avec la télécommunication bilatérale (voir le paragraphe *Partie I.I.D.2.c. Système de télécommunication bilatérale*), le protocole d'échantillonnage peut ainsi être modifié à distance pour un recueil de données optimal. Cependant cela nécessite d'utiliser un récepteur portable supplémentaire, augmentant ainsi le coût (Mech & Barber, 2002).

Une caractéristique primordiale de ce type d'unité GPS est la rétention des données sur le long terme, après la transmission à distance des données. Les unités qui transmettent les données avec un effacement total de la mémoire n'est pas souhaitable car la réception du rapport peut ne pas toujours réussir (Zimmermann *et al.*, 2001). Alors que les rapports intermittents sont intéressants car ils permettent une analyse des données au cours de l'étude, le stockage des données sur la mémoire embarquée, complètent l'étude sur le long terme en permettant aux chercheurs de compléter les lacunes lorsque le collier est retrouvé (Mech & Barber, 2002).

Les inconvénients de cette méthode incluent la relative augmentation de la complexité du système et par conséquent, du poids aux dépens de l'animal. En dehors des coûts supplémentaires de l'équipement en lui même, retrouver les rapports de données immédiats représente un surcroît de travail (Mech & Barber, 2002).

c) Données GPS relayées par satellite

La troisième méthode de stockage et de récupération des données de télémétrie par GPS utilise le système de satellite Argos pour relayer des rapports de données intermittents. Ainsi, comme pour le système GPS-GSM, les chercheurs n'ont pas besoin d'être sur le terrain pour récupérer les données, ni d'entretenir un récepteur spécial ou de l'équipement supplémentaire. Ce système est donc adapté aux régions où une réception GSM n'est pas disponible et est actuellement utilisé sur des loups en Mongolie (Mech & Barber, 2002 ; Walzer & Kaczensky, 2008). A cause des difficultés de transmission Argos actuelles en Europe (voir le paragraphe *Partie I.I.E.4. Précision*), de nouveaux systèmes ont été développés. Ils utilisent les systèmes téléphoniques satellitaires tels qu'Iridium, Globalstar, et Thuraya. Les premiers modèles n'ont été mis sur le marché que récemment et l'on manque de recul quant à leur utilisation (Walzer & Kaczensky, 2008).

Les inconvénients comprennent une augmentation de volume et de poids pour l'unité télémétrique de l'animal et l'énergie supplémentaire nécessaire pour la transmission des données aux satellites. Les chercheurs doivent payer Argos pour relayer les données par leurs satellites (Mech & Barber, 2002).

E. Quel système choisir ?

Lors de la mise en place d'une étude sur les loups, envisager la télémétrie, méthode qui peut se révéler coûteuse en temps et en argent, nécessite de se poser quelques questions et d'explorer divers aspects relatifs à son utilisation.

1. Définir la question de recherche

Avant de choisir un système de télémétrie il est essentiel de bien définir l'étude, de savoir quelles informations seront nécessaires, à quelle fréquence et pour combien de temps. En effet, le système de télémétrie que l'on va choisir est directement lié à la question de recherche : le rythme de localisations, les moyens mis en œuvre (avion, voitures, équipes...) (Mills *et al.*, 2006).

2. Evaluer les moyens dont on dispose

Mener une étude utilisant la télémétrie nécessite du temps pour définir le protocole de recherche, sélectionner le système de télémétrie et le commander. Il y a aussi une période d'essai et d'apprentissage indispensable (Kenward, 1987). Par ailleurs, l'utilisation de la télémétrie peut produire une quantité de données impressionnantes, qui, dans beaucoup de cas, peuvent être difficiles à gérer. En effet, la complexité des données générées est souvent sous-estimée par les utilisateurs (Otis & White, 1999 ; Laver & Kelly, 2008). L'installation et l'emploi d'un Système d'Information Géographique (SIG) sont donc essentiels pour tout projet de ce type (Walzer & Kaczensky, 2008).

La technologie liée au matériel de suivi télémétrique est en constant progrès ; il est donc important de se renseigner, avant de lancer une étude, sur les nouveautés potentiellement utiles et adaptées à notre question de recherche.

3. Coût et effort humain

La télémétrie VHF est utilisée pour le suivi des loups depuis plus de 30 ans. C'est une technique relativement peu coûteuse, et donc appropriée aux études ayant peu de

financements ou comprenant un grand nombre d'animaux (Mech & Barber, 2002). Une unité de base (collier émetteur) coûte entre 80 et 350 €, à laquelle on ajoute éventuellement des options ... Cependant, un animal portant un émetteur VHF doit être suivi par au moins une personne sur le terrain (dans un véhicule, à bicyclette, à pied ou par avion), muni un récepteur spécial et d'une antenne directrice (Jedrzejewski *et al.*, 2002 ; Mech & Barber, 2002).

Les balises Argos ou colliers GPS requièrent un coût initial plus élevé. Ils sont à peu près 10 fois plus chers que les colliers radio télémétriques conventionnels (VHF) (Merrill *et al.*, 1998 ; Mech & Barber, 2002). Un collier GPS coûte généralement entre 2 000 et 4 000 € (Merrill *et al.*, 1998 ; Walzer & Kaczensky, 2008). A titre d'exemple, un équipement comprenant un collier GPS permettant le téléchargement des données à distance coûte environ 7 000 €. Ce prix inclut un récepteur (environ 3 500 €), le logiciel et les circuits électriques (environ 1 300 €) et un collier avec un mécanisme de détachement à distance et une batterie supplémentaire pour remplacer sur le terrain (environ 2 000 €). Le coût pour chaque animal supplémentaire équipé avec un collier GPS est moins élevé que pour le premier, du fait que le récepteur peut être utilisé pour de nombreux colliers. Il est important de noter que les colliers GPS peuvent être réutilisés. Seul le mécanisme de détachement à distance et la batterie de rechange doivent être remplacés (Mech & Barber, 2002 ; d'après divers constructeurs de matériel de télémétrie contactés, voir en annexe I). Un collier GPS-Argos ou GPS-GSM vaut environ 3 000 à 4 000 € et la transmission (Argos) des données augmente le coût d'environ 1 000 à 1 300 € par année. Cependant, si l'on considère les dépenses en regard de la quantité et de la qualité des données, le coût du collier n'est pas un facteur significatif dans un projet. Un collier de type satellitaire ou GPS est en fonction pendant 24 heures et peut fournir des données de jour et de nuit, ce qui n'est pas évident à obtenir en travaillant avec le système VHF qui nécessite des ressources humaines (Walzer & Kaczensky, 2008).

Les études basées sur le pistage par satellite ou GPS utilisent souvent moins d'animaux à cause des frais par unité (Otis & White, 1999). Si ces animaux sont considérés comme étant l'unité de l'étude, cette réduction de la taille de l'échantillon peut poser des problèmes d'analyse des données lors de la généralisation à la population (White & Garrott, 1990 ; Rodgers *et al.*, 1996 ; Otis & White, 1999).

Pour un protocole de recueil de données équivalent, et si l'on considère le coût par points de localisation au lieu du coût par animal, les suivis par satellite ou GPS peuvent être une alternative moins chère et éviter des dépenses liées au recrutement de personnel (Ballard

et al., 1995a ; Mech & Barber, 2002). Par exemple, sur une base coût par localisation, la télémétrie VHF conventionnelle peut être 43 fois plus coûteuse que la télémétrie par satellite (cinq années d'étude, 10 animaux, une localisation par jour) (Fancy *et al.*, 1989). Après avoir examiné diverses alternatives incluant la VHF et la télémétrie par satellite, Rodgers *et al.*, (1996) ont trouvé que la télémétrie basée sur le système GPS était la méthode la plus économique et la plus faisable sur un plan logistique pour pister 60 élans localisés une fois par mois, avec un sous-ensemble de 20 élans localisés 35 à 50 fois durant trois périodes de surveillance intensive (début d'hiver, fin d'hiver et printemps-été-automne). Lorsque l'on travaille sur des terrains difficiles d'accès, la télémétrie par satellite ou GPS présente des avantages non négligeables et les coûts associés à une équipe de terrain et aux dépenses de trajets sont économisés (Taillade, 1992). Cependant, pour des études sur le long terme, les systèmes VHF, possédant une durée de vie plus longue doivent être considérés.

4. Précision

Fournissant une précision raisonnable pour la plupart des objectifs de recherche, la télémétrie VHF présente néanmoins deux gros inconvénients altérant la précision : le phénomène d'écho et la difficulté pour obtenir des conditions LOS (voir le paragraphe *Partie I.I.B.2.e.i. Les échos*) (Mech, 1980 ; Tomkiewicz, 1998). Bien que le suivi par VHF soit moins précis que le suivi par GPS, cette technique peut être associée à de l'observation directe (par la méthode du *homing-in*) permettant la confirmation de la localisation de l'animal et apportant ainsi la meilleure précision de toutes les techniques de radiopistage (Mech, 1980 ; Mech & Barber, 2002).

Le système Argos n'est pas aussi précis que le système GPS. L'utiliser seul, présente néanmoins l'avantage (hormis le prix) d'un gain significatif de poids et d'une consommation d'énergie très réduite (Walzer & Kaczensky, 2008). Cependant, depuis trois années, le système Argos ne fonctionne pas de manière sûre en Europe à cause d'interférences bien documentées mais dont l'intensité et la source ne sont pas encore précisées (Microwave Telemetry Inc, 2006). Le suivi par satellite, peut donc être moins précis qu'un radiopistage VHF conventionnel ou un radiopistage par GPS et a une durée de vie plus courte que les systèmes VHF (Mech & Barber, 2002). Si seules les positions des animaux et les mouvements approximatifs sont le sujet de l'étude, alors le système de suivi par satellite est plus avantageux que le système VHF, car il ne nécessite pas de personnel de terrain une fois que l'animal est équipé. Le suivi par satellite a un rayon d'action plus large que le VHF et permet

de suivre, par exemple, des individus en phase de dispersion. Il réduit ainsi le temps passé sur le terrain et évite de nombreux déplacements (Mech & Barber, 2002). Ballard *et al.*, (1995a) suggèrent de bien considérer les objectifs de l'étude avant de mettre en place un suivi des loups par satellite car selon les objectifs, les grandes variations dans les erreurs de localisation des loups pourraient potentiellement compliquer l'interprétation des données. En effet, de nombreux facteurs jouent sur la précision des données obtenues avec la télémétrie par satellite, comme les variations d'altitude et de température ambiante, la taille de l'antenne, les mouvements de l'animal, le nombre insuffisant d'émissions atteignant le satellite (un minimum de quatre messages est requis pour avoir une bonne précision), les erreurs dans les données orbitales du satellite, les méthodes de cartographie... (Fancy *et al.*, 1988 ; Harris *et al.*, 1990 ; Collecte Localisation Satellite, 2008). La télémétrie par satellite rapporte fréquemment des positions dont la précision varie de 150 m à plusieurs kilomètres (Keating *et al.*, 1991). Les localisations sont catégorisées en quatre classes (de la classe 0 à la classe 3) basées sur la précision estimée du point, avant réception par le chercheur (Taillade, 1992). Dans 90 % des cas, les estimations de localisations basées sur la télémétrie par satellite se situent dans les 900 m de la position réelle, avec une erreur moyenne de 480 m (Fancy *et al.*, 1989). En considérant que la télémétrie par satellite offre une erreur de localisation de 300 à 700 m, de telles données ont une utilité limitée, surtout dans des études d'utilisation de l'espace. Un tel degré d'erreur est tolérable lorsqu'on suit des loups en dispersion sur de grandes distances par exemple, mais pas pour des animaux évoluant sur un petit territoire. Aux latitudes septentrionales, les loups occupent de grands territoires (1 000 à 2 000 km²) ou se déplacent sur de très longues distances (des centaines à des milliers de km) pour suivre la migration des caribous. Dans ces conditions, maintenir un contact radio par la télémétrie VHF serait difficile voire impossible et l'utilisation du satellite pour estimer la taille du territoire des loups ou suivre leurs mouvements est préférable (Ballard *et al.*, 1995a).

La télémétrie par GPS est la technique de pistage la plus précise (à l'exception de la confirmation visuelle de la localisation de l'animal avec le radiopistage VHF). L'unité GPS localise l'animal avec précision sans nécessiter la présence humaine immédiate. Cela signifie moins de perturbation humaine dans le comportement animal et donc une étude moins invasive. Cela signifie aussi moins de biais dus à cette perturbation, dans les données (Mech & Barber, 2002).

Une source d'erreur potentiellement significative pour les études d'utilisation ou de disponibilité de l'habitat employant la télémétrie basée sur le système GPS comme par

satellite est la possibilité que les tentatives de localisation soient plus ou moins fructueuses selon le type d'habitat, en fonction des caractéristiques de la végétation, de la topographie ou du comportement des animaux. Ces erreurs peuvent introduire des biais systématiques et influencer les résultats de certaines études (Moen *et al.*, 1996 ; Moen *et al.*, 2001 ; Cain *et al.*, 2005 ; D'Eon & Delparte, 2005).

5. Des alternatives à la télémétrie

Avant de s'engager dans l'utilisation de la télémétrie la première question à se poser est : Le radio pistage est-il la meilleure approche ? La télémétrie n'est pas le but de l'étude ; il s'agit d'un outil. Bien qu'elles ne soient pas un substitut aux études utilisant la télémétrie, d'autres méthodes d'identification et de suivi du loup existent, comme l'analyse de l'ADN des fèces de loups ou le *wolf-howling* (Harrington & Mech, 1982 ; Kenward, 1987).

Le contact avec les loups peut souvent être établi par le *wolf howling* qui consiste à imiter le hurlement des loups pour provoquer une réponse de leur part (Harrington & Mech, 1982). Ces études cependant prennent du temps, coûtent cher, requièrent un accès routier, sont limitées à des zones relativement petites et sont imprécises (Fuller & Sampson, 1988). Il est par ailleurs pratiquement impossible de différencier les individus d'une meute par cette technique, excepté pour quelques loups ayant une voix bien reconnaissable (Kolenosky & Johnston, 1967). Il se pose aussi la question du dérangement de la meute dû à la stimulation par des hurlements dont on ne connaît finalement pas la signification biologique.

Les méthodes de suivi non invasives (étude des traces, analyses génétiques des fèces ou des poils) gagnent en popularité dans la recherche et la conservation de la faune sauvage. Dans certaines conditions, le suivi des traces dans la neige peut permettre de mesurer la présence, la distribution et dans certains cas, l'abondance des carnivores, mais le suivi sera fortement dépendant des conditions météorologiques et de la saison (Corsi *et al.*, 1999 ; Ciucci *et al.*, 2003 ; Alexander *et al.*, 2005). L'analyse ADN des fèces est une technique fiable pour estimer les populations d'animaux très discrets comme les loups (Duchamps *et al.*, 2003), cependant la logistique propre à la récupération des fèces ou des poils de loups pour une étude de population requiert des efforts sur le terrain considérables (Mech & Barber, 2002). D'autre part, les analyses en laboratoire de l'ADN issu de fèces de loups posent divers problèmes d'ordre technique dus à la faible quantité et la mauvaise qualité de l'ADN exploitable (Taberlet *et al.*, 1999).

Toutefois la combinaison de la radio télémétrie avec une ou plusieurs autres techniques permet de répondre à un grand nombre de questions de recherches dans l'étude des loups.

F. Effet du marquage et du radiopistage sur les loups

Idéalement, la télémétrie en faune sauvage ne devrait altérer ni le comportement normal, ni les fonctions de l'animal étudié (Priede, 1992). En effet, le but du radiopistage étant d'observer le comportement naturel de l'animal, il est dans l'intérêt des chercheurs de minimiser l'impact de cette technique sur les sujets d'étude, d'autant plus si les données recueillies sont généralisées à la population (Müller *et al.*, 2005). Par ailleurs il est important de souligner les préoccupations d'ordre éthique inhérentes à toute recherche scientifique ayant pour objet des animaux.

Or le radiopistage peut être considéré comme invasif, dans le sens où il est nécessaire de capturer les animaux vivants pour leur attacher du matériel de télémétrie plus ou moins encombrant et plus ou moins lourd. C'est ce qu'on appelle le marquage, qui a pour objectif de permettre l'identification d'un animal, soit lors d'une recapture, soit à distance. Il peut être temporaire ou permanent. Certaines techniques de marquage pour la télémétrie peuvent être particulièrement traumatisantes. Par exemple la pose d'émetteurs internes nécessite une chirurgie et une recapture pour les soins post-chirurgicaux (voir le paragraphe *Partie I.I.A.3. Fixation du matériel*) (Morris, 1980).

Les effets défavorables de la capture, du marquage, du port de l'équipement ou de la présence humaine, sur un animal peuvent parfois être importants et même fatals (Mech & Barber, 2002). Les ondes radio pourraient avoir, elles aussi des effets néfastes sur l'animal portant le collier. Cependant, l'EPR de l'émetteur VHF est si bas que cette possibilité semble peu probable. Bien que l'énergie émise par la balise GPS soit bien plus élevée que celle d'un émetteur de radiopistage conventionnel, des tests expérimentaux n'ont montré aucun effet néfaste pour les durées d'exposition usuelles (Taillade, 1992).

En général, les modifications comportementales consécutives à la gêne occasionnée par le collier chez les mammifères durent une à deux semaines. C'est pourquoi certains biologistes recommandent de ne pas se fier aux données recueillies avant une à deux semaines d'acclimatation (White & Garrott, 1990). La plupart des loups nouvellement équipés restent dans les environs de la capture pendant un à deux jours, certainement pour récupérer de cette

épreuve. Après cette période d'inactivité, aucun signe d'activité anormale de la part des loups n'a été relevé par Kolenosky & Johnston (1967). Les auteurs ont examiné trois loups ayant porté un collier émetteur de 0,5 à 2,5 mois. Aucun signe ne montrait que le collier avait frotté le cou, arraché les poils, ou causé un quelconque inconfort physique de l'animal. Par ailleurs, le fait que les colliers aient été retrouvés sans marques de griffure ou de morsure suggère que les loups ont fait peu d'effort pour les retirer. Une autre étude portant sur 11 biologistes étudiant les loups dans le Wisconsin n'a rapporté que sept pertes de colliers sur 378 (1,9 %) dues au mâchonnement par les congénères (Thiel & Fritts, 1983). Les chercheurs qui voudraient tester de manière officieuse les effets néfastes du pistage peuvent chercher certains signes lors de la recapture de l'animal, comme la perte de poids par rapport à la première capture (ce qui pourrait suggérer que l'animal est gêné pour la chasse ou pour accéder à la nourriture) ou des plaies et des pertes de poils au niveau du collier, etc. (Mech, 1983). D'une manière générale, si un animal suivi maintient son poids, se reproduit, s'établit sur un territoire, le défend et apparaît se comporter normalement, alors les chercheurs considèrent l'impact du radiopistage comme minimal (Mech, 1983 ; White & Garrott, 1990). Kolenosky & Johnston (1967) proposent d'utiliser la technique du *wolf-howling* en combinaison avec la télémétrie pour savoir si un individu nouvellement marqué a bien rejoint sa meute et ainsi vérifier que le comportement social du loup n'est pas (ou peu) altéré par le marquage. Certains loups ont été équipés durant sept années consécutives, sans que cela ne semble affecter leur comportement (Harrington & Mech, 1979). Cependant, aucune donnée ne peut prouver que le radiopistage ou le marquage n'a aucun effet néfaste en définitive. Les résultats peuvent uniquement montrer qu'aucun effet délétère n'est détecté par les outils statistiques (White & Garrott, 1990). Les potentiels effets à long terme imposent donc la responsabilité éthique de retirer l'équipement à partir du moment où il n'est plus utilisé pour le recueil de données (*Animal Care and Use Committee*, 1998).

L'*American Society of Mammalogists* est la plus ancienne organisation scientifique étudiant les mammifères. Lors d'un comité d'utilisation et du bien être de l'animal, elle a défini des règles à suivre. La technique de marquage employée doit être aussi indolore que possible et ne doit pas restreindre les activités normales de l'animal ni affecter son bien-être. La sélection d'une méthode de marquage devrait considérer les objectifs de l'étude et les caractéristiques de l'espèce étudiée.

Pour mettre en place une étude utilisant la radio télémétrie, il est donc souhaitable de suivre quelques recommandations : 1) utiliser l'équipement le plus léger possible (pour un

mammifère terrestre, le poids de l'émetteur radio ne devrait pas excéder 5 % du poids de l'animal, 2) sélectionner une couleur de collier peu voyante et qui se fond avec le pelage de l'animal, 3) tester l'équipement sur des animaux captifs et dans des cadres environnementaux variés, 4) attendre une à deux semaines avant de recueillir les données à analyser, 5) éviter la contention ou la manipulation des animaux pendant toute période physiologiquement critique (spécifiquement les périodes de reproduction), 6) retirer l'équipement de l'animal dès que l'étude est terminée (White & Garrott, 1990 ; *Animal Care and Use Committee*, 1998).

II. La télémétrie : applications dans l'étude des loups

La télémétrie a facilité le recueil de données dans l'étude des loups et a fourni des informations détaillées relatives à des questions de recherches qu'il était impossible, auparavant d'envisager. Non seulement elle a permis de mieux appréhender les mouvements des loups et la taille de leurs domaines vitaux, mais elle a aussi contribué à approfondir nos connaissances dans d'autres branches de la recherche, comme la dynamique des populations ou l'éthologie. Elle s'est révélée être aussi un outil précieux pour le contrôle sanitaire et la gestion des populations de loups.

A. Mouvements des loups

En Alaska, Burkholder (1959) a suivi une meute de dix loups par avion pendant six semaines. Celle-ci couvrit une zone de $128 \times 72 \text{ km}^2$. Comme ces loups n'étaient pas équipés de colliers émetteurs, on ne sut pas où ils vivaient avant ni après leur suivi, ainsi il est impossible de savoir si cette meute avait un territoire exceptionnellement grand, ou si les loups étaient nomades pendant la période d'étude. Lorsque cette information fut publiée, on ne savait pas à quel point ce comportement était inhabituel, car jusque là, aucun loup n'avait été équipé de collier émetteur. Depuis, près de deux cents meutes ont été équipées de colliers émetteurs en Alaska (Etats Unis d'Amérique) et dans le Yukon (Canada) (Stephenson *et al.*, 1995) et bien d'autres ont été suivies au Canada ou ailleurs. Seul un autre cas de mouvements si étendus a été observé. Il s'agit de onze loups du Parc National de Denali (Alaska), dont trois équipés de colliers émetteurs, qui, en mai 1992, ont été suivis sur 250 km (Mech *et al.*, 1998). On a pu observer par la suite des mouvements de meutes considérés comme migratoires, sur de longues distances (Cook *et al.*, 1999). Une louve équipée d'un collier GPS au Canada a effectué 341 km sur 14 jours, s'éloignant de 103 km de sa tanière pour chasser des caribous (Frame *et al.*, 2004). L'étude des mouvements des animaux a été l'une des premières applications de la télémétrie. A partir de l'analyse de ces données, on a pu calculer les distances et les vitesses de déplacement, puis déterminer la taille des domaines vitaux et les centres d'activité.

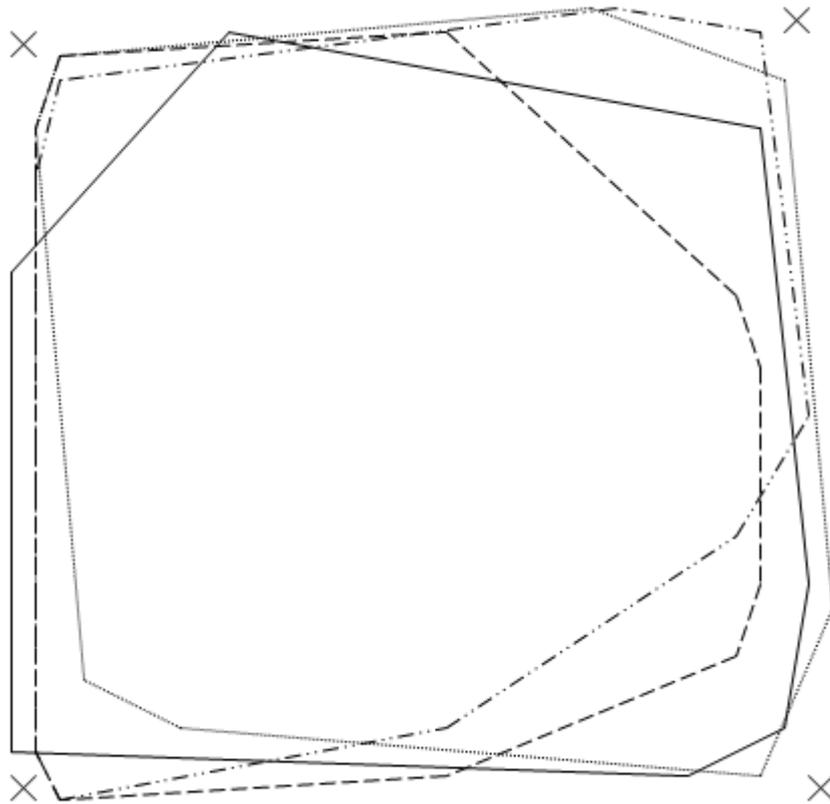
1. Estimer la taille du domaine vital

De nos jours, le radiopistage est largement utilisé pour suivre les mouvements des loups et permet de calculer la taille de leur domaine vital, qui est l'aire que l'animal utilise lors de ses activités journalières, au cours d'une période déterminée (Van Winkle *et al.*, 1973). Auparavant (encore pratiqué pour certaines études), on procédait au relevé des traces dans la neige afin de déterminer les limites du domaine vital. Cependant, cette méthode est tributaire de la saison et des conditions météorologiques et ne permet donc pas d'avoir une pleine compréhension des mouvements des loups et de l'organisation de leur domaine vital sur une année entière (Mech & Boitani, 2003, Alexander *et al.*, 2005).

Le plus souvent, le domaine vital d'une meute est déterminé par la méthode du Polygone Convexe Minimum (MCP) qui relie entre eux les points de localisation les plus externes formant un polygone convexe et déterminant ainsi le domaine vital de la meute (Bekoff & Mech, 1984, cités par Mech & Boitani, 2003 ; Peterson *et al.*, 1984 ; Ballard *et al.*, 1987 ; Fuller, 1989b). Bien que d'autres méthodes d'estimation du domaine vital soient disponibles (Dixon & Chapman, 1980 ; Anderson, 1982 ; Bekoff & Mech, 1984, cités par Burch *et al.*, 2005 ; Worton, 1989), la méthode des MCP reste la plus populaire (Burch *et al.*, 2005).

Le principal problème pour établir la taille du domaine vital d'une meute de loups concerne la méthodologie et plus spécifiquement le choix du pas d'échantillonnage (intervalle de temps entre deux localisations successives). La plupart des estimations des frontières de domaines vitaux des loups sont basées sur des séquences de mouvements relevés par radiopistage. Lorsque les données radio-téléométriques sont relevées par avion, technique impliquant un coût élevé, il n'y a souvent qu'une petite proportion des mouvements de la meute qui sont notés. Si l'on considère qu'un loup effectue 20 km par jour en moyenne, par exemple, et qu'un relevé téléométrique permet de situer la meute dans un rayon de 200 mètres, alors, un relevé téléométrique par jour ne représente que 1 % de la taille du domaine vital journalier (Mech & Boitani, 2003). La plupart des études de radiopistage réalisées sur les loups, jusqu'ici, relèvent une ou deux localisations par semaine. Les domaines vitaux ainsi décrits par les biologistes sont une approximation de la réalité (Fritts & Mech, 1981 ; Scott & Shackleton, 1982). Déterminer précisément les frontières d'un domaine vital de loup avec un radiopistage standard s'avère par conséquent impossible. Pour un domaine vital donné, connu ou simulé, les erreurs d'échantillonnage peuvent produire des limites différentes (figure 15).

Figure 15. Variations de polygones convexes minimums, résultants de quatre sélections aléatoires de 50 points, chacun issu de la même matrice de points (Bekoff & Mech, 1984, cités par Mech & Boitani, 2003b)



Une autre contrainte au recueil de données consiste à s'assurer de l'indépendance des observations, c'est à dire que la position de l'animal au temps $t+1$ ne doit pas être fonction de sa position au temps t . En effet, si les localisations successives sont trop rapprochées dans le temps, il y a un risque pour que les données soient auto-corrélées positivement et que la taille du domaine vital soit alors sous-estimée (Swihart & Slade, 1985).

Ainsi, les changements saisonniers ou annuels des frontières des domaines vitaux, perçus par les scientifiques doivent être pris avec beaucoup de précautions (Mech *et al.*, 1998). Il est donc important de définir la période de temps pendant laquelle on recueille les données, avant de calculer un domaine vital. En outre, il est recommandé de calculer le nombre de points nécessaires pour obtenir une aire de domaine vital représentative (White & Garrott, 1990). Ballard *et al.* (1998) suggèrent d'obtenir un minimum de 123, 73 et 98 localisations pour décrire les domaines vitaux annuels, d'été et d'hiver respectivement.

L'association d'anciennes données avec des nouveaux relevés en vue d'augmenter le nombre de localisations, peut donner une vision dépassée ou déformée du domaine vital

actuel (Mech & Boitani, 2003). L'utilisation du GPS, par le nombre élevé de localisations quotidiennes possibles, peut aider à résoudre ces problèmes (Merrill *et al.*, 1998; Merrill, 2002, cité par Mech & Boitani, 2003 ; Alfredeen, 2006). L'accumulation des données sur les mouvements des loups peut déboucher sur l'analyse de l'occupation de l'espace comme l'ont fait Cluff *et al.* (2002) qui ont utilisé trois techniques de télémétrie de manière complémentaire (VHF, GPS et satellite) pour étudier le mouvement des loups et l'utilisation de leur habitat.

2. Dispersion des loups

La dispersion correspond au déplacement d'un animal depuis son lieu de naissance, jusqu'à l'endroit où il s'installe pour se reproduire, s'il survit et trouve un partenaire (Howard, 1960). Certains loups se déplacent sur des centaines de kilomètres (Fritts & Mech, 1981). Les techniques de suivi traditionnelles ne permettent pas de connaître les trajets de ces animaux à cause des distances en jeu. Souvent, la seule information disponible est le point de départ (lieu de capture et de marquage de l'individu) et le point de recapture du loup, un accident de la route ou un autre type de report d'information (Mech, 1995). En 1972, dans le Minnesota, Mech a équipé d'un collier émetteur une louve qui fut suivie pendant neuf mois sur 100 km, puis capturée deux ans plus tard à 112 km du lieu où elle fut capturée pour la première fois. Ses mamelles indiquaient qu'elle avait mis bas. Cette recapture présentait l'un des premiers indices du modèle de dispersion des loups, qui consiste à coloniser un nouveau territoire, à trouver un compagnon et à fonder une nouvelle meute. Le développement du radiopistage par satellite et GPS ainsi que les analyses génétiques ont permis depuis d'affiner la compréhension de ce modèle (Mech & Boitani, 2003 ; Merrill & Mech, 2000 ; Kojola *et al.*, 2006 ; Wabakken *et al.*, 2007).

B. Dynamique des populations de loups

1. Densité et distribution des loups

Obtenir une estimation précise de la densité de population de loups est coûteuse en temps et en argent à cause de la relative faible densité de cette espèce et de son comportement discret (Ballard *et al.*, 1995b). Dans les zones à forte couverture forestière ou avec peu de neige, le loup est l'un des animaux les plus difficiles à recenser (Boitani, 2003). Le calcul de la densité est généralement basé sur le comptage des individus dans une zone particulière et l'estimation de la superficie de cette zone (Fritts & Mech, 1981 ; Peterson *et al.*, 1984 ; Fuller,

1989b ; Ballard *et al.*, 1997). Sur une grande surface, on peut avoir recours à l'extrapolation des densités connues pour une plus petite zone (Boitani, 2003).

La densité en loups est souvent estimée à partir de données de télémétrie. En Amérique du Nord, bien que la technique soit coûteuse, l'avion ou l'hélicoptère sont souvent utilisés pour repérer un ou plusieurs loups équipés de colliers émetteurs et appartenant à une meute, permettant ainsi de réaliser un comptage aérien (Kolenosky & Johnston, 1967 ; Mech & Frenzel, 1971 ; Mech, 1979 ; Peterson *et al.*, 1984 ; Ballard *et al.*, 1987, 1997 ; Fuller & Snow, 1988 ; Fuller, 1989b ; Thurber & Peterson, 1993 ; Mech *et al.*, 1998 ; Hayes & Harestad, 2000 ; Kuzyk, 2001 ; Burch *et al.*, 2005). Hayes et Gunson (1995) ont décrit diverses méthodes utilisées pour recenser le nombre de loups au Canada, comme les questionnaires fournis aux trappeurs, les observations sur le terrain, les estimations passées, le radiopistage et les études de terrain sur le long terme, les recensements aériens, le suivi des traces dans la neige, les extrapolations et les corrélations à partir des données ainsi recueillies. On peut obtenir ainsi la distribution des loups sur une zone allant jusqu'à l'échelle d'un pays, en combinant ces différentes techniques, mais il est alors impossible d'en évaluer les erreurs statistiques (Corsi *et al.*, 1999 ; Hayes & Harestad, 2000 ; Boitani, 2003).

2. Taux de natalité et de mortalité

La télémétrie permet de repérer et d'identifier des zones d'activité importante comme la tanière ou des sites de rendez-vous. La reconnaissance et l'observation des loups sur ces sites permettent de connaître le nombre de louveteaux de l'année et d'établir ainsi un taux de natalité et même un sex-ratio (Mech, 1975). Une première observation en été, puis une autre au début de l'hiver (lorsque les jeunes se déplacent avec la meute) rendent possible l'estimation de la mortalité des louveteaux (Mech, 1980). Lors de suivis intensifs, sur le long terme, il est possible de déterminer le taux de mortalité et la distribution saisonnière de la mortalité (Mech, 1977). Ainsi, entre 1968 et 1972, au Minnesota, une cinquantaine de loups ont été suivis par radiopistage. L'étude a permis de mettre en évidence les facteurs de mortalité dans la population de loups (attaques, malnutrition, maladie, cause humaine...) (Mech, 1972). McNay et Ver Hoef (2000) ont ainsi équipé des loups appartenant à 16 meutes différentes afin d'évaluer l'impact du piégeage intensif sur la population lupine d'Alaska.

C. Régime alimentaire et taux de prédation

Connaître l'impact de la prédation des loups sur les ongulés sauvages est essentiel lorsqu'on se pose la question de la gestion des écosystèmes. De nombreuses recherches ont permis de définir des modèles proie-prédateur qui s'appuient sur différents paramètres et servent à la conception de modèles prédictifs pour des chercheurs étudiant des loups recolonisant des territoires (Kunkel *et al.*, 2004). L'étude de la dynamique proie-prédateur passe par l'estimation du taux de prédation, qui est le nombre de proies tuées par un prédateur, par unité de temps (Hebblewithe *et al.*, 2003). Le taux de prédation par les loups a été estimé par des premières tentatives d'observation des loups et des carcasses (Murie, 1944). Les carcasses laissées sur les trajets des loups peuvent être étudiées en hiver, en suivant les traces, aussi bien par avion, qu'au sol. Bjärvall et Isakson (1982) ont suivi à ski des loups en Suède, quand ils étaient encore rares et pouvaient être distingués en tant qu'individus ou meute, tandis que Burkholder (1959) et Mech (1966) les ont suivis visuellement par avion les repérant grâce à la couverture neigeuse et quand il n'y avait pas trop de vent. L'arrivée de la télémétrie cependant a grandement contribué au suivi hivernal (Mech & Frenzel, 1971 ; Kolenosky, 1972 ; Fuller & Keith, 1980 ; Ballard *et al.*, 1987, 1997 ; Fuller, 1989a, 1989b ; Kunkel *et al.*, 1999).

Le principal problème avec toute technique de pistage est de maintenir un contact constant ou du moins assez régulier pour que toutes les carcasses soient repérées. Même si les meutes sont repérées quotidiennement, les carcasses sont souvent ratées, surtout lorsqu'elles sont de petite taille (Peterson & Ciucci, 2003). En cinq ans d'études concernant la prédation du loup sur les cerfs de Virginie au Minnesota, Fuller (1989b) a trouvé les loups sur les carcasses 176 fois, mais jamais sur la même carcasse lors de deux vols consécutifs (même avec deux vols par jour). Aucune meute, indépendamment de la taille, n'est restée sur la carcasse d'un cerf plus de 12 heures. Ainsi, avec un vol par jour, en ne prenant en compte que les observations des loups trouvés sur le site d'une carcasse, on sous-estime le taux de prédation d'au moins 50 %. Fuller a corrigé ses résultats en multipliant le taux de prédation journalier par deux, tout en le considérant comme une estimation minimale. En Suède, Sand *et al.*, (2005) ont étudié le taux de prédation des loups sur les élans en utilisant la télémétrie GPS. Ils ont montré que 78 % des proies étaient tuées la nuit, et que des recherches aériennes durant la journée sous-estimerait de plus de 60 % le taux de prédation. Au Minnesota, Demma *et al.* (2007) ont équipé trois loups de colliers GPS donnant un signal à intervalles de

10 minutes. La concentration des points et la corrélation avec les indices sur le terrain leur ont ainsi permis de calculer un taux de prédation.

Avec des grosses proies comme des élan, on peut considérer avoir trouvé toutes les carcasses si la meute est repérée une à deux fois par jour, en particulier juste après le lever du soleil, lorsque les loups sont le plus susceptibles de dormir près de la carcasse (Fuller & Keith, 1980 ; Peterson & Ciucci, 2003). En repérant les loups équipés de colliers émetteurs au moins une fois par jour, doublant cette mesure à peu près un jour sur deux, Fuller et Keith (1980) estimaient avoir repéré toutes les carcasses d'élan.

Il faut prendre en considération la taille de la meute, car selon le nombre de loups, une proie de la taille d'un cerf par exemple peut être consommée en quelques heures seulement (Smith *et al.*, 2004). Par ailleurs, si les proies sont plus petites et abondantes, repérer les loups, même deux fois par jour, pourrait ne pas être suffisant pour enregistrer toutes les proies tuées par les canidés (Peterson & Ciucci, 2003). En effet, dans le nord-ouest de l'Alaska, une meute de huit loups a tué et mangé un jeune caribou de l'année et quitté le site, le tout en l'espace de trois heures (Ballard *et al.*, 1997). Boyd (1994), équipé de raquettes à neige et à l'aide de la télémétrie, a suivi des loups en hiver afin de déterminer le taux de prédation. Or, suivre uniquement les traces dans la neige peut permettre de relever toutes les carcasses, mais seulement si elles sont assez grosses pour que les loups ne les aient pas mangées entièrement sans laisser d'indice derrière eux (Peterson & Ciucci, 2003).

Pour déterminer le taux de prédation des loups sur une année entière, Jedrzejewski *et al.* (2002) ont associé un radiopistage au sol et une analyse détaillée des fèces. L'augmentation de la proportion des restes de la digestion des muscles et tissus mous correspond à un dernier repas récent. Dans cette étude, jusqu'à 41 % des proies, dont la plupart appartenaient à des espèces de petite taille, étaient uniquement détectées par l'analyse des fèces.

Les interactions loups-ongulés et les effets du prédateur sur la densité de proies ont donc beaucoup été étudiés grâce à la télémétrie, notamment sur le cerf de Virginie (Carbyn, 1983 ; Kolenosky, 1972), le caribou (James & Stuart-Smith, 2000) et le bison (Smith *et al.*, 2000). Les données ainsi relevées sur la prédation par les loups permettent de répondre à des questions écologiques importantes, comme la sélection des proies par différents prédateurs dans un même écosystème, comme par exemple le loup et le puma (Kunkel *et al.*, 1999 ;

Attwood *et al.*, 2007) ou encore le calcul du risque de prédation comme l'ont fait James et Stuart-Smith (2000) en étudiant les distributions relatives des caribous et des loups au Canada.

D. Ethologie

1. Activité

Depuis la première étude sur des loups par suivi VHF où Kolenosky et Johnston (1967) avaient déjà tenté d'estimer l'influence du climat sur leur activité, la télémétrie s'est avérée extrêmement utile pour étudier le comportement des loups et a été largement utilisée à en conséquences (Mech & Frenzel, 1971 ; Peterson *et al.*, 1984 ; Mech, 1992 ; Vila *et al.*, 1995 ; Merrill & Mech, 2003). L'observation visuelle permet de déterminer des zones d'activité intense et de leur donner une signification biologique comme les tanières ou les sites de rendez-vous (les lieux où les louveteaux vivent jusqu'à l'automne après avoir quitté la tanière) (Mech, 1980). L'accumulation de ces données a favorisé les études sur la sélection de l'habitat (McLoughlin *et al.*, 2004).

Les avancées techniques permettent d'affiner de plus en plus les données. Merrill et Mech (2003) par exemple, ont eu recours au GPS pour étudier l'activité des loups en fonction des cycles circadiens. Dans le nord-ouest de l'Alaska, l'activité de 23 loups (suivis par satellite) a été corrélée avec la température de chaque saison (Fancy & Ballard, 1995). Certains chercheurs ont utilisé des colliers comprenant des capteurs d'activité (Theuerkauf *et al.*, 2003). Trois types de capteurs VHF ont été utilisés : les premiers sont équipés d'un minuteur qui entraîne un changement du taux de pulsation lorsque le commutateur n'est pas déclenché pendant un certain laps de temps. Une deuxième sorte de capteur émet différents types de pulsations en fonction de l'inclinaison du capteur. Le nombre de changements de pulsation dans un période donnée peut être utilisé comme un indice d'activité. Enfin, les capteurs à pulsation variable sont déclenchés par tout mouvement individuel et permettent de faire la différence entre un animal qui se nourrit et qui se déplace (Coulombe *et al.*, 2006).

Kunkel *et al.* (1991) ont testé sur des loups (captifs et sauvages) un système de télémétrie appelé *Wildlink Data Acquisition and recapture System*™ (Wildlink, Inc.) permettant d'enregistrer le degré d'activité des animaux en fonction des mouvements de l'inclinaison de leur tête. Bien que ce système ne fournisse que des données quantitatives, il peut être intéressant pour certaines questions de recherche. Jedrzejewski *et al.* (2002) ont

équipé 12 loups avec ce système et pouvaient ainsi savoir si l'animal mangeait, se reposait ou se déplaçait.

2. Communication

Le hurlement des loups est longtemps resté un mystère. Harrington et Mech (1979) ont étudié le rôle du hurlement dans le maintien du territoire. Ils ont équipé des loups de différentes meutes, de colliers émetteurs, ce qui leur a permis de les localiser par avion deux fois par semaine. Ils ont enregistré les réponses des loups à des simulations humaines de hurlements de loups à divers endroits de leur territoire (site de rendez-vous, sur le lieu d'une carcasse de proie) et à des périodes critiques pour leur physiologie comme la période de reproduction. Ils ont pu ainsi étudier les réponses des loups en fonction de différents facteurs et montrer que les meutes les plus grandes (nombre d'individus) étaient plus promptes à répondre aux sollicitations, indiquant ainsi leur présence sur le territoire. De la même manière c'est grâce au repérage des animaux et à l'observation visuelle permise par la télémétrie VHF que Rothman et Mech (1979) ont pu étudier le marquage olfactif.

3. Interactions

a) Interactions intraspécifiques et structure sociale des meutes de loups

Dans l'étude du comportement, l'observation directe est indispensable. Les études réalisées en captivité ne reflètent pas le comportement de l'animal sauvage et comprennent des biais du fait justement de la captivité. La difficulté d'observer des loups sauvages tient non seulement au fait de devoir les repérer, mais aussi de les identifier individuellement. Il est possible de créer une table de diagnose en utilisant des éléments distinctifs du pelage (Burkholder, 1959). Néanmoins ces signes peuvent disparaître d'une année sur l'autre et l'apprentissage peut être long.

Grâce à la télémétrie (observation directe ou marquage de différents individus), de nombreuses interactions intra-spécifiques ont pu être décrites : dans un premier temps des comportements agonistiques (Kolenosky & Johnston, 1967 ; Meier *et al.*, 1995 ; Mech & Boitani, 2003), puis on a abordé les comportements de reproduction (Mech, 1980, Alfredeen, 2006) et on a mis en évidence une structure sociale complexe. La composition des meutes avait tout de même déjà été décrite par quelques biologistes (Olson, 1938 ; Murie, 1944 ; Young & Goldman, 1944), mais depuis l'usage de la télémétrie, on s'est rendu compte que le

modèle de meute, généralement admis (un couple de loups et sa descendance, formant en fait une famille), pouvait présenter de nombreuses variations dans sa composition et sa structure (Mech & Boitani, 2003). L'usage du GPS a permis aussi d'approfondir notre connaissance des liens sociaux entre les individus d'une même meute en décrivant par exemple les associations spatio-temporelles comme les déplacements de deux individus en fonction des saisons ou de l'heure de la journée (Merrill & Mech, 2003).

b) Interactions interspécifiques

Outre les interactions proies-prédateur qui sont extrêmement intéressantes à étudier pour la gestion de la faune sauvage (voir le paragraphe *Partie I.II.C. Régime alimentaire et taux de prédation*) de nombreuses interactions entre des loups et des animaux non-proies ont pu être relevées grâce aux observations permises par la télémétrie. On a pu ainsi mettre en évidence l'association des corvidés avec les loups (Stahler *et al.*, 2002) ou la compétition entre les loups et les ours grizzlys au niveau des sites de carcasses (Smith *et al.*, 2007). On a pu aussi voir la réponse de prédateurs suite à l'installation des loups dans une zone, comme l'ont fait Arjo et Pletscher (1999) qui ont étudié la réponse comportementale des coyotes suite à la recolonisation par les loups du nord-ouest du Montana.

E. Connaissances sur la physiologie des loups

L'utilisation de colliers de recapture (voir le paragraphe *Partie I.IA.2. Anesthésie*) a facilité l'accumulation des données (identification, sexe, âge, poids...) pour un même loup sauvage, donnant ainsi une vision plus précise des réponses physiologiques des loups aux variations de leur environnement (Mech & Gese, 1992). Des échantillons de sang prélevés systématiquement lors des captures ont permis d'alimenter une base de données sur la biochimie et l'hématologie du loup. Il est possible à présent d'interpréter les examens afin de connaître l'état nutritionnel de l'animal. Un prélèvement de poils, de salive, d'urine peuvent donner fournir des indications sur d'éventuelles carences minérales ou nutritionnelles de l'animal. Un dosage hormonal peut ainsi indiquer le statut physiologique des loups (maturité, reproduction) (Mech, 1980).

Pour obtenir des valeurs non biaisées par la contention de l'animal ou l'utilisation de produits anesthésiques, Kreeger *et al.* (1990a) ont implanté des émetteurs (400 g) mesurant en temps réel, à la fois la température interne et la fréquence cardiaque de loups captifs. Ils ont ainsi pu mesurer les variations de ces deux paramètres en fonction de l'environnement ou du

stade physiologique de l'animal. D'autres études ont examiné les conséquences d'un style de vie itinérant, en comparant les électrocardiogrammes de loups captifs et de loups sauvages dont les mouvements étaient suivis par radiopistage (Constable *et al.*, 1998).

F. Contrôle sanitaire des populations de loups

Le suivi individuel permet de réaliser un suivi sanitaire sur plusieurs années. Il est parfois possible d'observer certaines modifications comportementales (animal se déplace peu, s'isole) dues à la maladie (Mech, 1977 ; Shelley & Gehring, 2002). Aux Etats-Unis, un cas de blastomycose fut diagnostiqué sur un loup capturé et équipé d'un collier émetteur. Le radiopistage de ce loup permit de suivre son état général, qui pendant les neuf mois suivants, ne se dégrada pas (Thiel *et al.*, 1987).

Il est possible aussi de retrouver le corps de l'animal une fois mort et de pratiquer une autopsie ou des prélèvements pour déterminer la cause du décès ; ceci est d'autant plus intéressant si on a suivi l'animal pendant plusieurs années car on a ainsi son historique (Mech *et al.*, 1997 ; Mech, 1980). En 1984, l'Office Fédéral de la Pêche et de la Faune Sauvage des Etats-Unis a mis en œuvre une étude sur les loups de la Réserve Naturelle Nationale Arctique en Alaska. Dans les années qui suivirent, 9 loups équipés de colliers émetteurs ont été trouvés morts dont cinq furent diagnostiqués comme porteurs de la rage (Johnson, 1995).

G. Gestion des populations de loups

La gestion des grands carnivores dans le but de réduire ou prévoir autant que possible les interactions avec l'élevage, implique de connaître le nombre et la distribution des loups. Les interactions entre les loups et les troupeaux d'animaux domestiques sont souvent problématiques et posent la question du contrôle de la déprédation due aux loups. Dans plusieurs pays, un contrôle légal avec prélèvement de loups est mis en place, parfois avec l'aide de la télémétrie. Bjorge et Gunson (1985) ont utilisé le radiopistage pour évaluer l'efficacité du contrôle légal de la population de loups sur le taux d'attaques du bétail. Certains auteurs proposent de capturer l'un des loups et de l'équiper d'un collier pour repérer la meute entière et les tirer (Paul & Gipson, 1994).

Cependant le contrôle légal des loups est difficile pour des questions éthiques, à cause de l'opinion du public ou bien en raison du statut légal de l'espèce selon les pays. Différents systèmes de contrôle et de gestion ont donc été développés, parfois utilisant la télémétrie. Par

exemple Breck *et al.* (2002) ont mis au point un système d'effarouchement déclenché par la présence d'un loup équipé d'un collier émetteur, permettant de perturber les événements de prédation par l'activation de lumières et de sons. Schultz *et al.* (2005) ont équipé la femelle alpha d'une meute avec un collier électrique. Un centre de commande placé près du bétail émet un signal qui déclenche automatiquement une décharge électrique lorsque la louve s'approche à moins de 400 m.

En Amérique du Nord, différents programmes de réintroduction de prédateurs dans leur ancien habitat ont suscité des discussions sur la meilleure procédure à mettre en place (Henshaw, 1982 ; Fritts *et al.*, 1984). La réintroduction des loups dans les montagnes rocheuses du nord (Etats-Unis) a été extrêmement complexe, controversée, symbolique et fut un défi aussi bien sociopolitique que biologique (Fritts *et al.*, 1995). Les loups réintroduits dans une région pouvant coloniser des régions avoisinantes, un système de suivi en trois phases a été mis en place : 1) la détection de la présence des loups par des témoignages du public 2) la confirmation de la présence par les administrations en charge du suivi 3) le suivi des loups par la pose systématique de colliers émetteur à certains loups de chaque meute ou couple reproducteur (Fritts *et al.*, 1995). Lorsque les loups quittent la zone légale de réintroduction, l'utilisation des colliers de recapture est alors très avantageuse car elle permet de déplacer les loups dans une zone légale (Mech & Gese, 1992). Les informations concernant le comportement et les mouvements des loups après une délocalisation sont importantes pour les efforts de gestion ou de réintroduction de l'animal. Fritts *et al.* (1984) ont dû capturer des loups qui s'étaient trop approchés d'une ferme du Minnesota, pour les équiper de colliers émetteurs et les relocaliser à des distances allant de 50 à 317 km. Ces loups ont été suivis de 1 à 588 jours afin de contrôler leur déplacements et surtout de savoir s'ils retourneraient près de la zone de capture. D'autres expériences de ce type ont été réalisées (Bradley *et al.*, 2005).

DEUXIÈME PARTIE :
L'EXEMPLE DU SUIVI HIVERNAL DES LOUPS
DANS LE PARC NATIONAL DU YELLOWSTONE

I. Historique du suivi hivernal

A. Les loups du Parc National du Yellowstone (Etats-Unis d'Amérique)

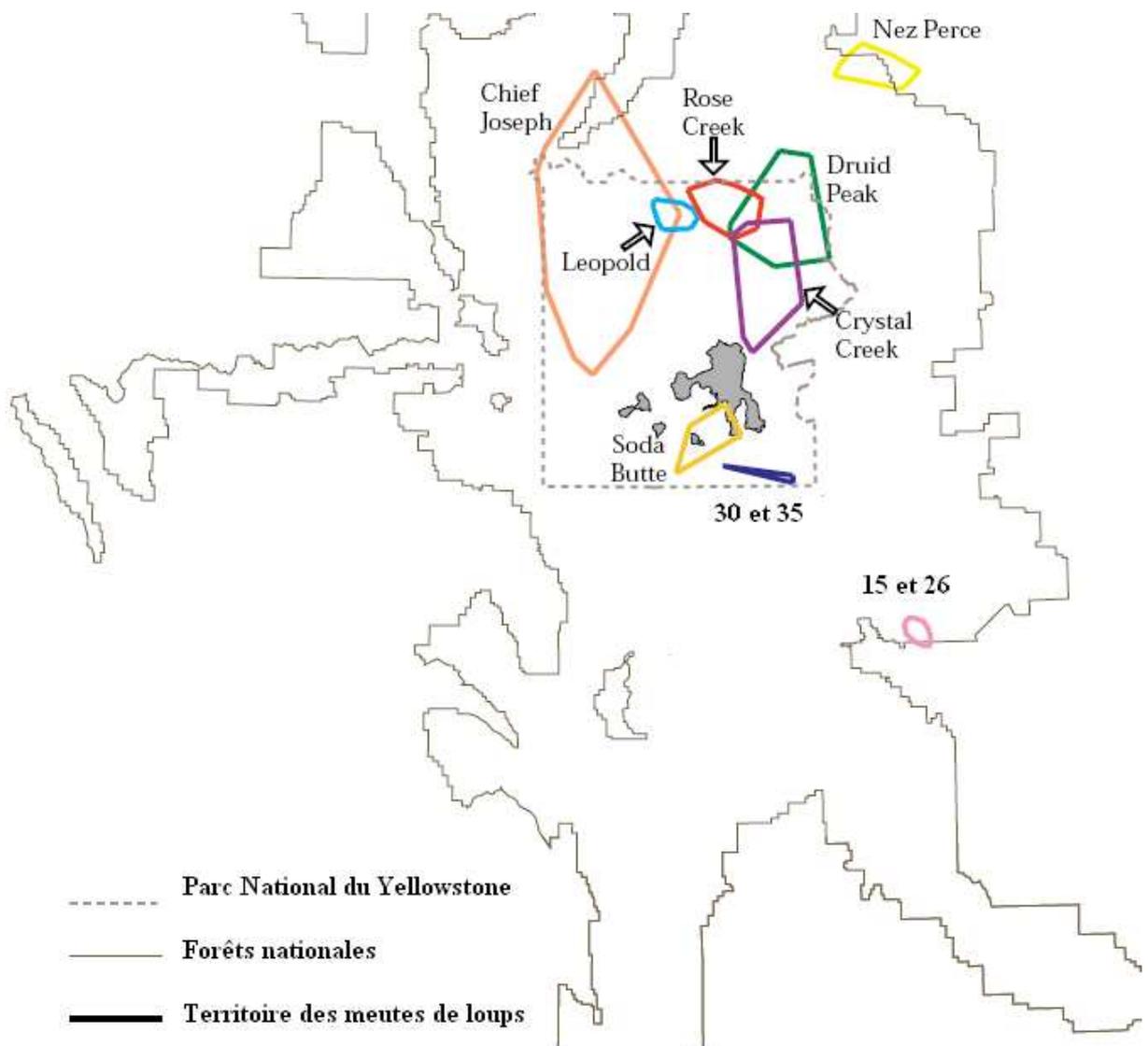
Auparavant répartis sur pratiquement l'ensemble de l'Amérique du Nord, les loups, comme d'autres grands carnivores, ont été persécutés peu après l'arrivée des européens sur le continent américain, pour être progressivement éliminés des 48 états contigus des Etats-Unis d'Amérique, à l'exception du Minnesota (Young & Goldman, 1944 ; Bangs & Fritts, 1996). Ils restèrent néanmoins abondants en Alaska et au Canada. Le Parc National du Yellowstone, à cheval sur trois états (Wyoming, Idaho, Montana), fut le premier parc national au monde, créé en 1872. Jusqu'en 1933, lorsque le *National Park Service* (NPS) cessa le contrôle des populations de prédateurs, les loups y furent chassés, empoisonnés et piégés. La dernière meute de loups disparut du Yellowstone vers les années 1930 (Phillips & Smith, 1997).

Pendant la période de sécheresse qui suivit, quelques espèces d'ongulés, essentiellement des wapitis, furent considérés en surnombre par rapport à la végétation disponible. La solution retenue fut le prélèvement massif de wapitis, de bisons et d'antilopes américaines, afin de tester les effets d'une diminution de la densité d'ongulés sur la végétation. A la fin des années 1960, le nombre de wapitis fut réduit, par destruction, de près de 75 %, laissant une population de 4.000 animaux (Houston, 1982, cité par Smith *et al.*, 2003) En 1969, un moratoire sur les prélèvements fut institué dans une tentative de favoriser la régulation naturelle du nombre d'ongulés à l'intérieur du Parc National du Yellowstone et de restaurer la chasse en dehors du parc (les prélèvements à l'intérieur du parc avaient fait disparaître toute opportunité de chasse au wapiti à l'extérieur). Ainsi, après une étude, le biologiste John Weaver écrivit en 1978 dans son rapport au Département de l'Intérieur des Etats-Unis d'Amérique : « *La niche écologique du loup paraît être libre : je recommande donc la restauration de ce prédateur indigène par l'introduction de loups dans le Yellowstone* ». Ce fut alors le premier pas vers la réintroduction des loups dans le Parc National du Yellowstone (Phillips & Smith, 1997).

En 1995 et 1996, Après vingt ans de débats, d'audits et d'études, 31 loups, capturés à l'état sauvage au Canada, appartenant à la sous-espèce *Canis lupus occidentalis* furent

réintroduits dans le Parc National du Yellowstone (Bangs & Fritts, 1996). Ces animaux provenaient de dix meutes différentes, incluant 16 adultes et 15 jeunes (15 mâles et 16 femelles au total) (Phillips & Smith, 1997). Maintenus dans des enclos d'acclimatation durant 10 semaines ils furent ensuite relâchés, tous équipés de colliers émetteurs. Les premières meutes portèrent ainsi le nom des zones géographiques où elles furent introduites (Crystal Creek, Rose Creek, Soda Butte...) (Smith *et al.*, 2007) (figure 16). Dans les sept années suivant leur réintroduction, les loups ont colonisé les 8991 km² du parc et diverses portions adjacentes appartenant au grand écosystème du Yellowstone qui représente 72.800 km² (Smith *et al.*, 2003).

Figure 16. Territoire des meutes de loups dans le Grand Yellowstone en 1996 (Phillips & Smith, 1997)

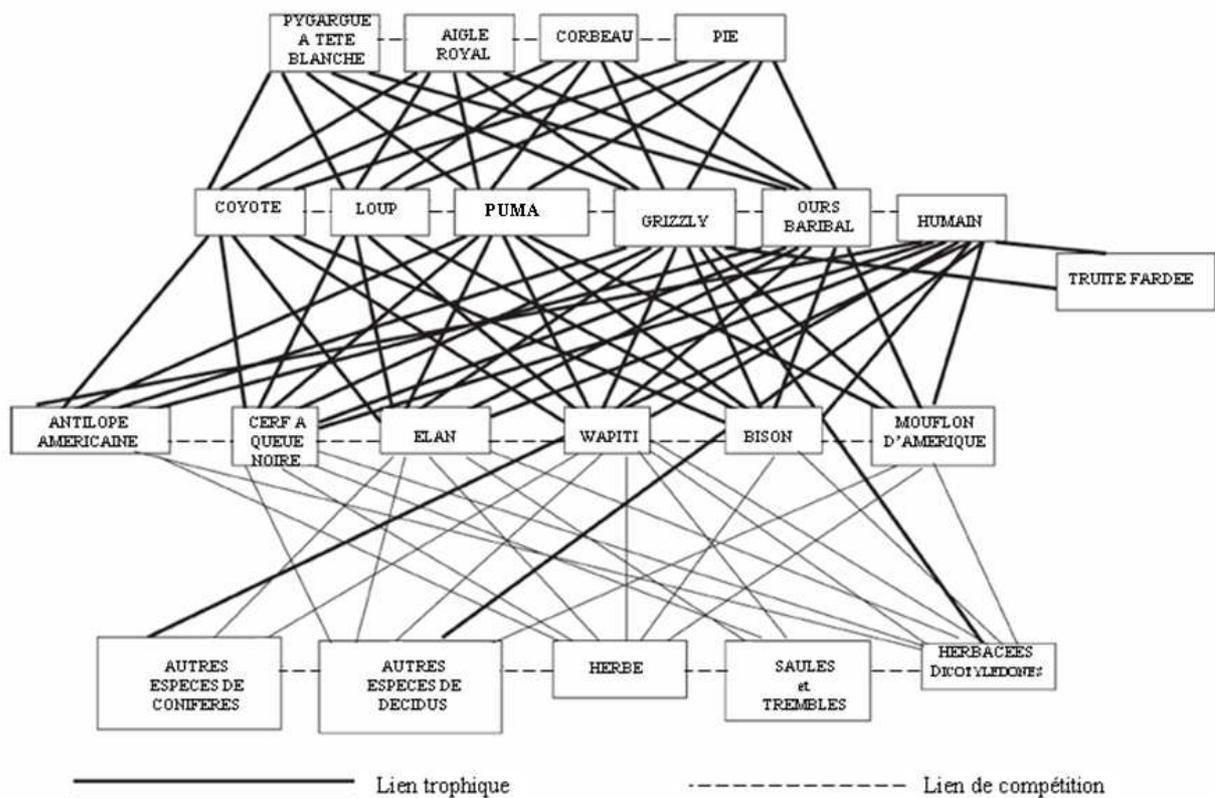


B. Mise en place du suivi hivernal

Depuis le début du projet de réintroduction des loups, des études sont menées afin de déterminer dans un premier temps si l'objectif d'obtenir une population viable est atteint et dans un deuxième temps dans quelle mesure les loups restructurent l'écosystème. Le suivi des loups sur le long terme avait donc pour objectif de renseigner les biologistes sur la survie, la reproduction et la mortalité des loups, la dispersion et la distribution de la population, la sélection des proies et le taux de prédation (Phillips & Smith, 1997).

Le Yellowstone est un système ouvert, présentant une grande diversité de prédateurs et de proies (figure 17). La pertinence de l'étude résultant d'un tel suivi dépend donc de la qualité des détails inclus dans le recueil de données. Le *Yellowstone Wolf Project* a été mis en place pour le recueil de ces données et a pour but une gestion durable et une meilleure compréhension des complexités de cet écosystème. (Smith *et al.*, 2006a)

Figure 17. Complexité de l'écosystème du Yellowstone (Smith et al., 2003)



En 1995, la réintroduction des loups dans le Parc National du Yellowstone a soulevé de nombreuses inquiétudes et débats scientifiques concernant l'impact potentiel des loups sur la population d'ongulés, en particulier sur le fameux troupeau de wapitis de la chaîne nord.

Afin de répondre à ces inquiétudes, le *Yellowstone Wolf Project* a instauré, en novembre 1995, le premier suivi hivernal des loups dans le Parc National du Yellowstone (Smith *et al.*, 2006a).

L'idée d'un suivi hivernal vient des biologistes travaillant sur la prédation du loup sur Isle Royale, île du lac Supérieur (Michigan, USA) en 1958. Cette étude portait sur une période dans l'année où les mouvements et activités des loups étaient suivis de près pour caractériser des aspects particuliers de la prédation des loups sur l'élan (taux de prédation, sélection des proies, viabilité des populations d'élan). Le but du suivi hivernal était de comprendre quels facteurs influencent les interactions loup-élan. Jusqu'à ce jour, le suivi hivernal reste la méthode principale de gestion et de suivi de la dynamique des fluctuations proies-prédateurs sur l'Isle Royale (Smith *et al.*, 2006a).

Au Yellowstone, le suivi hivernal a pour but de recueillir des données sur les modes de prédation du loup, ses mouvements, son comportement, les interactions avec les autres espèces sauvages et les caractéristiques de leurs proies. Il s'agit de comprendre spécifiquement quelle est l'influence de différents facteurs (saison, sévérité de l'hiver, temps passé sur les carcasses, utilisation des carcasses) sur le taux de prédation (fréquence à laquelle les loups tuent) et la sélection des proies (espèces tuées et caractéristiques des proies tuées par les loups). Le suivi hivernal permet en outre d'observer les interactions proies-prédateurs, notamment les comportements de chasse, les techniques de mise à mort, et les interactions intra spécifiques ou avec d'autres animaux non proie (coyotes, ours, renards, couguars, divers charognards). L'observation des loups parcourant de longues distances durant le suivi hivernal ont encouragé les interrogations sur le *leadership* (voir le paragraphe *Partie II. II. D. 6. Le leadership*) au sein de la meute et notamment sur le contrôle des mouvements par un ou plusieurs membres. Afin de contrôler la quantité et la qualité des populations de proies viables, le suivi hivernal comprend un comptage et une classification au sol et par avion des populations d'ongulés (Smith *et al.*, 2006a).

II. Description du protocole de suivi hivernal

Le suivi hivernal des loups du Parc National du Yellowstone consiste en une période d'étude intensive sur trente jours, réalisée deux fois chaque hiver. La première période s'étale de mi-novembre à mi-décembre et la seconde a lieu en mars. L'hiver permet de tirer parti de la couverture neigeuse pour repérer les carcasses. Par ailleurs une augmentation de la vulnérabilité des ongulés entre le début et la fin de l'hiver permet d'observer les changements dans le comportement de prédation des loups (Smith *et al.*, 2006a).

A. Sujets d'étude

1. Choix des individus

En 2006, au moins 136 loups répartis en 13 meutes occupent le Parc National du Yellowstone. Les meutes comptent de 4 (Cougar Creek) à 19 (Leopold) individus, pour une moyenne de 10,5. Sept meutes (75 loups) sont établies sur la chaîne montagneuse au nord du Yellowstone, les six autres meutes (61 loups) occupent le reste du parc. Depuis plusieurs années, la majorité des loups se situe sur la chaîne nord, en dépit d'une plus petite surface (1.000 km²) que le reste du parc (7.991 km²).

Ce fait est attribué à une plus forte densité de proies dans la partie nord (Smith *et al.*, 2007). Cette zone est essentiellement composée d'une végétation de steppe et d'arbustes, qui compte sept espèces indigènes d'ongulés sauvages (wapiti, bison, cerf à queue noire, cerf de virginie, élan, antilope américaine, mouflon canadien), une espèce d'ongulé réintroduite (chèvre des montagnes rocheuses) et cinq espèces de grands carnivores (loup, coyote, grizzly, ours noir, puma) (Smith *et al.*, 2003). Seuls 65 % de la chaîne nord sont dans le Parc National du Yellowstone. Les 35 % restants sont des terres privées ou publiques situées au nord du Yellowstone et longeant la rivière éponyme. Beaucoup d'espèces sauvages sont chassées en dehors des limites du parc. Ainsi, les populations d'animaux sauvages à l'intérieur du parc peuvent être affectées par l'activité humaine périphérique (Smith *et al.*, 2003).

Bien que tous les loups du Yellowstone soient pris en compte, les équipes du *Wolf Project* se sont focalisées sur la chaîne nord du Yellowstone. Lors de chaque suivi hivernal,

trois meutes y sont suivies grâce à la télémétrie, de l'aube jusqu'à la tombée de la nuit (Smith *et al.*, 2006a). En mars 2006, il s'agissait des meutes Leopold, Slough Creek et Hellroaring :

- la meute Leopold, formée en 1996 est issue de l'union de la femelle #7 de la meute *Rose Creek* et du mâle #2 de la meute *Crystal Creek*. Ces deux individus faisaient partie des loups réintroduits sur le parc. Cette meute est donc la première naturellement formée depuis la réintroduction. Sa taille a atteint 23 individus en 2004 puis est tombée à 14 à la fin de 2005,
- la meute Hellroaring s'est formée par la dispersion de plusieurs loups de la meute Leopold en 2005 et l'adjonction d'une femelle de la meute *Geode Creek*. Au début de 2006, elle comptait 7 individus,
- la meute Slough Creek s'est formée en 2003 suite à la scission de la meute *Druid peak* qui comptait alors 37 individus. En 2006, la meute Slough Creek était composée de 15 loups (Smith *et al.*, 2007).

2. Marquage des individus

L'objectif du *Wolf Project* est de maintenir un contact radio avec chaque meute. Comme il existe un risque potentiel de perte ou de dysfonctionnement d'un collier, il est nécessaire que plus d'un loup par meute soient équipés de colliers émetteurs VHF. Chaque année, en automne et/ou en hiver, une séance de capture par fléchage depuis un hélicoptère permet d'équiper de nouveaux loups ou de remplacer des colliers défectueux (Smith *et al.*, 2006a). En janvier et février 2006, 26 loups ont ainsi été capturés afin d'être équipés d'un collier émetteur. A la fin de l'année 2006, 37 loups sur 136 (27 %) portaient un collier émetteur. Depuis 2003, le *Wolf Project* met en service trois à cinq colliers GPS. Ces derniers fournissent une localisation toutes les 30 minutes ; les données sont téléchargées une fois par semaine et le collier se détache automatiquement lorsque la batterie ne fonctionne plus (généralement au bout de 10 mois). Ces colliers trouvent plutôt leur utilité dans le suivi estival des loups (prédation d'été, détection de la tanière, taille, utilisation et chevauchement des domaines vitaux). Cependant, de nombreuses défaillances ont rendu l'analyse des données difficile. Par ailleurs, depuis 2006 le *Wolf Project* a mis en place trois colliers de suivi par satellite à balise ARGOS sur trois meutes dont les territoires sont les moins accessibles en hiver et les moins dégagés pour une observation aérienne (*Yellowstone Delta, Bechler, Mollie*) (Smith *et al.*, 2007).

B. Equipes

En 2006, le *Wolf Project* employait trois personnes à temps plein : le chef de projet Douglas Smith et deux biologistes, Debra Guernsey et Dan Stahler (Smith *et al.*, 2007). Tout au long de l'année, du personnel saisonnier et des volontaires travaillent sur différents aspects du suivi des loups (figure 18). Pour le suivi hivernal, le personnel de terrain comprend des techniciens au sol et du personnel en avion. Le personnel au sol est réparti en trois équipes de deux, pour un total de six personnes. Chaque équipe est assignée à une des trois meutes suivies sur la chaîne nord : Leopold, Slough Creek et Hellroaring (en mars 2006). Un membre d'une équipe doit toujours suivre la même meute pendant trente jours afin de maintenir une continuité dans les observations. Une équipe supplémentaire, de réserve, composée aussi de deux personnes, effectue un roulement afin de remplacer les membres de l'équipe au sol (un jour et demi de congés par semaine sont accordés à chaque membre d'une équipe). Pour chaque équipe, un technicien expérimenté est associé à un débutant (Smith *et al.*, 2006a).

Figure 18. Un des membres du Wolf Project (équipe au sol) tente de repérer les loups de la meute Hellroaring à l'aide d'une antenne réceptrice en H (crédit photo : Aude Bourgeois).



Les meutes localisées en dehors de la chaîne nord sont uniquement suivies par avion. Pendant les périodes de suivi hivernal, l'avion vole tous les jours lorsque la météorologie le permet. Il y a alors une communication permanente entre l'équipe au sol et l'avion afin de mieux repérer les loups, les carcasses ou éventuellement certains dangers comme la présence d'ours dans le secteur (Smith *et al.*, 2006a).

Les conditions de terrain étant parfois très difficiles (position statique dans la neige pendant plus de dix heures, jusqu'à - 40°C, présence de neige et de verglas, terrain accidenté, réveil des ours fin mars, présence de bisons et autres animaux sauvages), les membres responsables du *Wolf Project* insistent continuellement sur l'importance et la primauté de la sécurité de chacun (figure 19). Des directives sont données sur le temps de sommeil minimal, la nourriture, l'habillement, la conduite des véhicules et la randonnée en montagne... (Smith *et al.*, 2006a).

Figure 19. Un des membres de l'équipe du Wolf Project observe les loups pendant plusieurs heures par jours à l'aide d'une longue vue (crédit photo : Aude Bourgeois).



C. Equipement

Chaque équipe de terrain, au sol, composée de deux personnes possède un équipement complet, comprenant :

1. Matériel optique

- 2 paires de jumelles
- 2 longues-vues
- 2 tripodes
- 1 monture de fenêtre pour fixer la longue vue

2. Matériel d'autopsie

- 1 scie à carcasse
- 1 couteau à carcasse
- 1 pas-d'âne
- clips métalliques

- sacs poubelles (pour les prélèvements de métatarse)
- sachets en plastique (pour les prélèvements de moelle osseuse)
- 3×5 enveloppes en papiers (pour les incisives)

3. Matériel électronique

- 1 récepteur de télémétrie et une antenne directive
- 1 antenne omnidirectionnelle attachée au toit du véhicule par un aimant
- 1 dictaphone (et des piles de rechanges)
- 2 radios portables (talkie-walkie)
- 1 GPS
- équipement d'avalanche (selon les conditions climatiques)

4. Matériel de recueil de données

- 1 carnet de notes
- des fiches de suivi journalier
- des cartes du terrain
- 1 grille UTM (*Universal Transverse Mercator*) transparente
- 1 thermomètre
- 2 compteurs manuels
- 2 feutres

5. Autre

- 2 guides pratiques (Smith *et al.*, 2006a)
- 1 véhicule tout terrain
- 2 sièges *Crazy Creek Chair* (si nécessaire)
- Matériel de sureté (bombe au poivre anti-ours, couverture de survie, trousse premiers secours...)

D. Données relevées

Chaque jour les équipes doivent remplir, entre autre, une fiche journalière (annexe II. a. *Winter study scorecard – ground crew*), indiquant si la meute a été localisée et comment (télémétrie, observation visuelle ...), le temps passé à la suivre dans la journée, la durée pendant laquelle les loups sont restés en vue, le temps passé à suivre des traces dans la

neige et la distance parcourue. Pour chaque événement relatif aux loups, des fiches préétablies permettent aux équipes de retranscrire pour l'analyse ce qu'elles ont noté sur le terrain (annexe II).

1. Taux de prédation

Les estimations du taux de prédation sont utiles pour déterminer l'impact du prédateur sur les populations d'ongulés. Plusieurs méthodes existent pour le mesurer, mais la plus exacte consiste à référencer toutes les mises à mort ainsi que l'intervalle de temps entre chaque proie tuée (durée entre le jour suivant la mise à mort jusqu'au jour de la prochaine mise à mort). Les mouvements des loups entre chaque attaque sont aussi notés.

Ces mesures impliquent qu'il n'y ait aucune autre carcasse laissée par les loups entre les deux mises à mort notées, rendant l'estimation d'un taux de prédation basé sur les intervalles généralement difficile à déterminer. L'objectif principal est donc de détecter autant de carcasses que possible laissées par une meute pendant la période d'étude. Sur le terrain, le succès est basé sur le nombre de carcasses que l'équipe de terrain peut recenser. Les loups du Yellowstone sont facilement observables ; leurs activités peuvent être généralement observées jusqu'à l'attaque suivante (Smith *et al.*, 2006a). Le taux de découverte des carcasses grâce à la combinaison du suivi aérien et au sol a été estimé à 73 % pour la période de 1995 à 2000 dans le Parc National du Yellowstone (Smith *et al.*, 2004).

Trouver une carcasse est souvent possible lorsqu'on trouve les loups eux-mêmes. Chaque meute de la chaîne nord ayant un territoire établi, elles peuvent en général être trouvées sur des emplacements précis au sein de leur territoire. Certains cas de figure nécessitent de suivre la piste des loups pour trouver une carcasse :

- lorsqu'on observe les loups au repos et que l'on connaît leur localisation de la veille ou des jours précédents, on peut suivre leurs empreintes pour trouver une éventuelle carcasse que l'on n'a pu repérer visuellement. On trace une bissectrice, coupant la ligne reliant leur localisation actuelle au dernier point relevé. On part du point d'intersection et l'on suit la piste à rebours. Il est nécessaire de toujours laisser l'équivalent de 1,5 km entre l'équipe au sol et les loups afin de ne pas les déranger ;
- lorsqu'on a perdu le contact visuel avec les loups ;

- lorsque les loups ne sont ni en contact radio ni visibles ou que la télémétrie indique qu'une observation visuelle est peu probable. C'est l'un des meilleurs cas de figure pour suivre les traces, car la probabilité de déranger les loups est faible ;
- lorsqu'on a découvert une carcasse il est parfois utile de suivre la piste afin de découvrir la carcasse précédente (Smith *et al.*, 2006a).

Une étude étant menée actuellement dans le Parc National du Yellowstone sur la technique la plus efficace pour détecter des carcasses (aérienne *vs.* au sol), il n'y a aucune communication dans la journée, entre les équipes au sol et l'avion, à propos de la localisation des carcasses (Smith *et al.*, 2006a).

Les localisations des carcasses sont reportées sur une carte et reliées entre elles par les trajets des loups, suivis visuellement ou par télémétrie. Lorsque tous les points sont reliés, une image du taux de prédation apparaît. Parfois, les événements entre une série donnée de mises-à-mort sont inconnus, déformant ainsi l'image du taux de prédation. L'objectif est donc de minimiser cette distorsion et de dessiner une image aussi précise que possible. Tous les soirs, l'équipe au sol et l'équipe aérienne mettent en commun leurs résultats sur une fiche (annexe II. a. *Winter study scorecard – ground crew*) (Smith *et al.*, 2006a).

2. Sélection et utilisation des proies

Le suivi hivernal a aussi pour fonction de comprendre quel type de proie est chassé par les loups. On cherche ainsi à déterminer s'il y a une sélection en fonction de l'âge ou de l'état général de la proie, et quel sont les facteurs influençant les changements dans la sélection des proies (Smith *et al.*, 2006a).

Chaque carcasse d'ongulé accessible est examinée afin de déterminer la cause de la mort, l'espèce, le sexe, l'âge et l'état général de l'animal. Dans un deuxième temps, les équipes de recherche tentent de comprendre l'utilisation des carcasses d'ongulés par les loups, en rapport avec la densité des proies et des prédateurs. Pour cette analyse, toutes les carcasses sont incluses, même les proies tuées par d'autres meutes de loups et des ongulés tués par la rigueur de l'hiver, appelés *winterkill*.

Toute carcasse découverte, qu'elle soit examinée ou non, est recensée et assignée d'un numéro et diverses informations sont consignées sur une fiche de mortalité (annexe II. b. *Mortality / Autopsy Form*) (Smith *et al.*, 2006a).

- **Date de la mort** : si la date de mort exacte n'est pas connue, une date approximative est estimée. La date de détection est également indiquée.
- **Localisation** : la localisation est décrite en utilisant d'une part le nom des lieux (vallées, rivières, montagnes...) et d'autre part les coordonnées UTM, équivalent métrique des longitudes et des latitudes. L'altitude est repérée grâce au système GPS portable et une description de la couverture végétale et de la topographie est également réalisée.
- **Espèce** : la morphologie du crâne ; la taille et la couleur des poils permettent d'identifier l'espèce. Par ailleurs, dans le Parc National du Yellowstone, des suivis sont menés sur d'autres espèces que les loups (wapitis, bisons, pumas, mouflons, coyotes...) et parfois des boucles d'oreille ou des colliers émetteurs permettent d'identifier la carcasse.
- **Sexe, âge** : les éléments morphologiques et la dentition permettent d'identifier le sexe et la classe d'âge de l'animal.
- **Cause de la mort** : la cause de la mort sera classée dans l'une des six catégories suivantes :
 1. ***une prédation par les loups*** peut être affirmée, si la chasse a été observée, ou par un faisceau d'indices (traces de chasse, traces de sang, de poils, végétaux cassés, éclaboussures de sang, rumen séparé de la carcasse...)
 2. ***une probable prédation par les loups*** sera déterminée par des indices montrant que les loups se sont nourris sur la carcasse (fèces, os mâchés et éparpillés, restes apparemment frais), la présence de traces de sang et par ailleurs aucune preuve d'une éventuelle autre cause de mort.
 3. ***une possible prédation par les loups*** est indiquée si des indices suggèrent la présence des loups, un nourrissage sur la carcasse, selon la localisation de la carcasse et si peu d'indices suggérant une autre cause de mort sont trouvés.
 4. ***par malnutrition*** est attribuée à une carcasse comme cause de mort si aucun signe de lutte n'est présent, si l'animal est en décubitus sternal ou latéral dans un lieu à couverture végétale dense. La graisse contenue dans la moelle osseuse des ongulés est la dernière graisse du corps à être métabolisée. Elle est ainsi un bon indicateur de la malnutrition des animaux. L'épuisement des réserves est indiqué par la couleur et la consistance de la moelle (Smith & Guernsey, 2002).
 5. ***indéterminée*** lorsque les indices sont ambigus.

6. **autre** lorsqu'il s'agit d'une prédation par un autre animal (ours, puma, coyote...)

Les équipes de terrain possèdent en outre une grille d'évaluation qui leur fournit une aide dans la détermination des causes de la mort (annexe II. c. *Kill evaluation and categorization chart*).

- **Identité des loups présents** : le nom de la meute et l'identité de chaque loup identifiable sont notés.
- **Epaisseur de la couverture neigeuse** : seulement pour les carcasses fraîches.
- **Charognards** : lorsqu'une équipe arrive sur le site, elle doit observer les charognards présents aux alentours de la carcasse et recenser le nombre pour chacune des espèces. Les loups sont considérés aussi comme charognards lorsqu'ils se nourrissent sur une proie qu'ils n'ont pas tuée.

L'examen d'une carcasse commence dès l'approche, si possible, aussitôt que les loups ont quitté la zone. Il s'agit de repérer tous les os éparpillés et le rumen afin de voir où la proie a été tuée. L'examen méthodique de la carcasse fournit ainsi des informations reportées sur une fiche d'autopsie (annexe II. b. *Mortality / Autopsy Form*) (Smith *et al.*, 2006a) :

- **l'état général de l'animal** est indiqué par la structure et la consistance de la moelle osseuse, la quantité de graisse sous-cutanée, la graisse de l'omentum et péri-rénale ;
- **les maladies et le parasitisme** sont estimés dans un premier temps par l'inspection macroscopique des organes (forme, couleur, texture, contenu), des muscles et du squelette. Des prélèvements de tout ce qui paraît anormal sont effectués pour un examen microscopique. L'arthrose est également évaluée au niveau des différentes articulations. La mâchoire est inspectée à la recherche d'éventuelles lésions de nécrose, signant des abcès dentaires ;
- **l'utilisation de la carcasse** est estimée par ce qui a été consommé en tenant compte du temps entre la mort et l'examen, du temps passé par les loups sur la carcasse, du nombre de charognards et du pourcentage de tissus comestibles restant. Tous les os trouvés sont recensés.
- **Prélèvements** :
 - *les incisives*, afin de connaître l'âge de l'animal, en fonction de l'analyse du cément dentaire,
 - *les métatarses* dont la longueur permet de compléter une base de données sur la nutrition lors de la vie fœtale, ou comme mesure indirecte de la densité de

population. La malnutrition fœtale a été impliquée comme facteur affectant la vulnérabilité des proies sur l'Isle Royale.

- *la moelle osseuse* (figure 20)
- *os déformés par l'arthrose*
- *autres* : si le sexe ou l'espèce sont indéterminés, des prélèvements de poils ou de tissus sont réalisés.

Figure 20. Prélèvement de moelle osseuse sur un fémur de bison tué par la meute Slough Creek du Parc National du Yellowstone en mars 2006 (crédit photo : Aude Bourgeois).



3. Temps passé sur la carcasse

Le temps passé sur la carcasse correspond à la durée durant laquelle les loups restent sur le site. L'objectif est de quantifier l'influence d'une carcasse sur le mouvement et l'activité des loups et d'établir une corrélation avec le taux de prédation. Par ailleurs, des données sur l'influence de la structure sociale sur le temps passé sur la carcasse sont accumulées (qui des dominants ou des subordonnés passent le plus de temps sur la carcasse ?). Cette information ne peut être relevée que si l'heure de la mise à mort est connue exactement, autrement dit, si la chasse a été observée. Le temps passé sur une carcasse que les

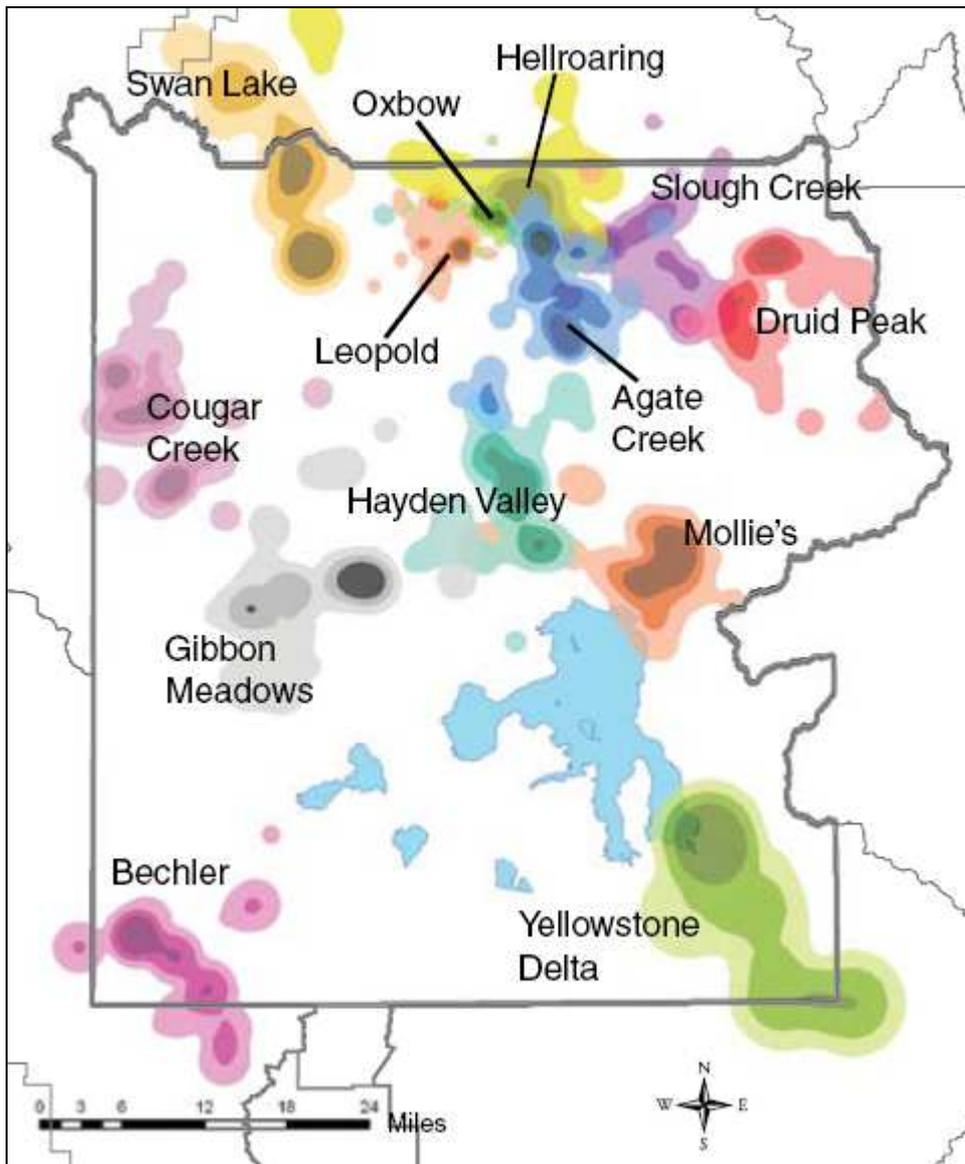
loups n'ont pas tuée est également relevé. Le relevé des données consignées sur une fiche spéciale (annexe II. d. *Time at kill*) (Smith *et al.*, 2006a) a pour objectif :

1. l'estimation du temps passé sur la carcasse, depuis la mise à mort jusqu'au moment où la meute quitte les lieux,
2. l'estimation du temps passé sur la carcasse depuis le moment où la meute est repérée jusqu'au moment où la meute quitte les lieux,
3. l'estimation du temps passé à se nourrir sur la carcasse,
4. l'estimation du temps que le dominant passe à se nourrir sur la carcasse,
5. l'estimation du temps que les subordonnés passent à se nourrir,
6. l'estimation de la distance entre les loups et la carcasse lorsque les loups se reposent aux alentours.

4. Mouvements / Activités

Le relevé des données concernant les mouvements et les activités des loups génère une variété de questions. Il permet dans un premier temps de déterminer les domaines vitaux de chaque meute du Yellowstone (figure 21).

Figure 21. Domaines vitaux des meutes de loups du Parc National du Yellowstone en 2006 (Smith et al., 2007)



Le relevé des activités permet aussi de connaître le temps moyen entre deux mises-à-mort. Plus il y a d'information sur les mouvements et les activités des loups entre deux mises-à-mort, plus la probabilité qu'une carcasse ne soit pas détectée diminue. Ces données permettent aussi d'établir la taille du domaine vital hivernal pour chaque meute. Toutes les informations sont consignées sur des fiches spéciales (annexe II. e. *Ground Tracking Data Form* et annexe II. f. *Daily Activity Summary Form*). Une carte journalière est complétée pour chaque observation visuelle ou relevé de traces dans la neige (annexe II. g. *Field Map*) (Smith et al., 2006a). Les objectifs sont :

1. localiser visuellement chacune des meutes étudiées au moins une fois par jour pendant la période du suivi hivernal (30 jours),
2. noter les activités pour chaque meute à un moment et un lieu donné,
3. suivre les mouvements et les activités des loups tant qu'ils sont en vue.

5. Interactions inter et intra spécifiques

a) Interactions loup-proie

La réintroduction des loups dans l'écosystème du Yellowstone a soulevé de nombreuses questions concernant l'effet potentiel de ce prédateur sur la population d'ongulés sauvages. Les données sur la réponse de la population de wapitis à la réintroduction des loups fourniront un élément de compréhension de la dynamique entre proie et prédateur. Des études actuellement menées tentent de comprendre les paramètres liés aux variations de la population de wapitis et d'évaluer leur variabilité sur les territoires de loups tout au long de l'hiver. Dans ce but, lors de chaque suivi hivernal, les équipes du *Wolf Project*, aériennes et au sol, comptent et classent les wapitis qui sont sur les territoires des meutes (divisés en unités de comptage). Les comptages sont reportés sur une fiche spéciale (annexe II. h. *Elk Ground Counts Form* et la carte en annexe II. i. *South Butte Elk Count Unit*). Les objectifs de cette étude sont :

1. d'obtenir un index de l'abondance des wapitis (densité) en fonction du temps (années) et entre le début et la fin de l'hiver, chaque année, sur les territoires des meutes de loups, suivies par les équipes du *Wolf Project* ;
2. de déterminer la disponibilité et la distribution des classes d'âge et de sexe des wapitis pour les loups ;
3. de déterminer la composition (classifications selon l'âge et le sexe) des hardes de wapitis de la chaîne nord pour chaque unité de comptage.

Le comptage d'ongulés sauvage est une activité secondaire par rapport au suivi des loups ; ainsi elle est souvent effectuée par l'équipe de réserve. Quatre comptages sont réalisés par unité de comptage, ce qui correspond donc à un comptage par semaine pour un suivi hivernal. Les comptages n'excèdent pas 30 minutes et sont réalisés avant 9 h du matin, période de la journée où les wapitis sont le plus visibles. Le comptage aérien s'effectue deux fois chaque hiver, si le budget le permet.

Par ailleurs, l'étude des interactions interspécifiques fournit des informations sur les effets de la présence des loups sur les ongulés sauvages. Les opportunités d'observer des loups interagir avec d'autres espèces en milieu sauvage sont rares et le comportement de prédation est particulièrement difficile à étudier. Le Parc National du Yellowstone a fourni sur ce sujet, des informations précieuses. L'objectif principal est de comprendre les mécanismes du comportement de chasse des loups, poursuivant, attaquant et tuant leur proie (essentiellement des wapitis au Yellowstone). Les données comme le nombre et l'âge des loups impliqués dans une chasse et le comportement de la proie sont notés sur une fiche prévue à cet effet (annexe II. j. *Yellowstone Wolf-Prey Form*) (Smith *et al.*, 2006a).

b) Interactions loup-loup

La couleur des loups appartenant à la sous-espèce *Canis lupus occidentalis*, varie du blanc au presque noir, facilitant la reconnaissance visuelle des individus au sein d'une meute. Par ailleurs, la présence d'un collier émetteur sur certains loups de la meute est un élément supplémentaire permettant la distinction des individus. Cette reconnaissance est fondamentale lors de l'observation des comportements intra-spécifiques. Les données visent à comprendre la part comportementale dans la dynamique des populations de loups. Les différents comportements regroupent les interactions sociales comme la défense ou l'empiètement d'un territoire, la formation des meutes, l'élevage et la reproduction, les loups tuant d'autres loups. (annexe II. k. *Yellowstone Wolf-Wolf Interaction Form*) (Smith *et al.*, 2006a).

c) Interactions loup-non proie

L'une des clés pour comprendre les implications écologiques de la présence du loup dans un écosystème est la connaissance de liens trophiques entre les loups et d'autres carnivores, particulièrement la guildes des charognards. Des recherches sur les interactions loup-charognards sont menées depuis 1998, afin de quantifier la diversité et l'abondance des espèces utilisant les carcasses laissées par les loups. Ces études ont déjà produit des résultats significatifs concernant l'impact des loups sur la communauté des charognards du Yellowstone. Avant la réintroduction des loups, la disponibilité des carcasses était essentiellement fonction de la sévérité de l'hiver et par conséquent, une source irrégulière de nourriture. Cependant, depuis la réintroduction des loups dans le Yellowstone, la disponibilité des carcasses est répartie plus uniformément, tout au long de l'année et est vraisemblablement plus abondante. En modifiant la distribution et l'abondance de la disponibilité en carcasses, les loups facilitent l'acquisition de nourriture par les autres espèces carnivores, ce qui est

essentiel pour la croissance et la *fitness* (valeur adaptative) de beaucoup d'espèces du Yellowstone : corbeaux, pies, coyotes, renards, mais aussi le grizzly, l'aigle royal et le pygargue à tête blanche. Il a été démontré que le loup, en contrôlant le rythme de distribution et la quantité de carcasses, contribue significativement au maintien de la biodiversité de la région. En peu de temps, la guildes des charognards a adopté des stratégies comportementales afin d'utiliser les carcasses laissées par les loups, comme les corbeaux suivant les meutes de loups pour localiser les carcasses et les ours grizzlys adoptant une stratégie similaire (figure 22). Ces études fourniront une plateforme pour étendre les recherches sur les loups, les charognards et les changements qu'ils peuvent produire sur le long terme (Smith *et al.*, 2006a). Sur le terrain il s'agit de renseigner (annexe II. l. *Food for the Masses*, annexe II. m. *Wolf-Bear interaction form* et annexe II. n. *Yellowstone Wolf-Non-prey interaction form*):

1. le nombre de charognards vertébrés se nourrissant sur la carcasse,
2. le taux de nourrissage des différentes espèces pour la consommation de biomasse,
3. les interactions comportementales entre les charognards et les loups sur les sites de carcasses,
4. les stratégies de fourragement des charognards, leur permettant de localiser les carcasses laissées par les loups.

Figure 22. Observation aérienne d'une interaction interspécifique entre les loups (équipés de colliers émetteurs VHF) de la meute Mollie du Parc National du Yellowstone et d'un grizzly et de son ourson profitant d'une carcasse de wapiti tué par cette meute (Smith *et al.*, 2006b).



6. Le *leadership*

Dans le Parc National du Yellowstone, des études visent à définir quand et par quel loup (statut hiérarchique et reproducteur) le *leadership* est revendiqué. Le *leadership* est défini par le fait de diriger les activités de la meute et intervient essentiellement lorsqu'un loup est en avant (*leadership* frontal), conduisant la meute, d'une activité à une autre. On peut observer également un *leadership* non-frontal lorsqu'un individu situé en arrière du groupe prend l'initiative d'une activité. Cette notion est à différencier de la dominance qui est le fait de contrôler le comportement des congénères (Peterson *et al.*, 2002). La nature du *leadership* sera donc examinée dans trois activités cruciales pour la meute : les déplacements, la poursuite d'une proie et sa mise à mort. La difficulté d'observer des loups à l'état sauvage permet d'expliquer que le *leadership* soit encore une notion peu connue du comportement (Smith *et al.*, 2006a).

Les équipes du *Wolf Project* reportent les occurrences de *leadership*. Cela permet de déterminer quel loup initie les activités de la meute dans les situations quotidiennes et critiques. Reconnaître et relever le *leadership* non-frontal permet de savoir quels loups subordonnés sont le plus souvent à l'avant lors des conditions neigeuses à forte dépense d'énergie. Les initiatives non-frontales apparaissent lorsque le loup reproducteur qui n'est pas forcément en tête, décide de changer de direction et l'on voit alors le reste de la meute suivre, y compris le loup qui était en avant. Toutes les données sont relevées sur une fiche spéciale (annexe II. o. *Wolf Leadership Ground Form*) (Smith *et al.*, 2006a).

III. Le suivi hivernal en pratique

A. Expérience personnelle

1. Une mission à l'initiative du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

Après soixante ans d'absence sur le territoire français, le loup a fait son retour de manière naturelle. Sa population ne cesse de croître et semble préfigurer une implantation durable sur le sol français. Chaque année, de nouveaux territoires sont conquis et avec eux réapparaissent les problèmes que pose la cohabitation loup/activité humaine. La gestion des loups exige donc de prendre en compte de grands espaces qui s'étendent bien au-delà des zones bénéficiant déjà d'une protection, telles que les parcs nationaux ou les réserves naturelles. Elle requiert la mise en place d'une nouvelle stratégie de conservation sur des territoires moins protégés par la réglementation mais gérés plus écologiquement avec des moyens financiers appropriés (Degeorges & Nochy, 2004). Les structures en charge du suivi des loups tentent de développer des techniques permettant un meilleur suivi des populations, comme la mise en place depuis 2002 d'un programme de recherche de *l'impact du loup sur les populations d'ongulés sauvages dans les Alpes* impliquant à terme l'utilisation de la télémétrie (Bernard-Laurent, 2005). C'est en poursuivant le même objectif que le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable a initié en 2006 une collaboration scientifique et technique entre les Etats-Unis et la France. Une équipe française s'est rendue dans le Parc National du Yellowstone pour participer au suivi hivernal des loups de mars 2006 et rencontrer des personnes (ranchers, scientifiques, membres d'associations de défense de la nature...) concernées par la gestion de cette espèce.

Mon rôle au sein de la mission consistait à recueillir les protocoles techniques. Il s'agissait de prendre part au travail des équipes au sol, de manière polyvalente afin d'être intégrée dans les divers aspects du suivi sur le terrain.

2. Journée type

a) Suivi et observation des loups

Le matin, dès six heures (au lever du soleil), les équipes explorent par radio-téléométrie les lieux préférentiellement fréquentés par les loups. Chaque équipe possède un récepteur de téléométrie, une antenne portable ainsi qu'une antenne omni-directionnelle fixée au toit de la voiture par un aimant. Cette antenne permet d'indiquer la présence de loups équipés de colliers émetteurs dans la zone parcourue par la voiture. Une fois qu'un signal est obtenu *via* l'antenne omni-directionnelle, l'équipe gare la voiture et utilise l'antenne portable afin de connaître la direction du signal. Chaque collier émetteur possède une fréquence unique et, considérée comme secret fédéral, ainsi ne sont-elles jamais prononcées à haute voix. Lorsque la localisation sur le territoire habituel n'a pas pu être établie, le relais est alors transmis à l'équipe aérienne qui tente de localiser la meute, parfois même en dehors des limites du parc.

Lorsque la direction d'un signal radio est trouvée, l'équipe au sol se poste sur un lieu d'observation et installe les longues vues permettant l'observation des loups. Certains points d'observation stratégiques permettent aux équipes de couvrir visuellement une grande zone du territoire des loups qu'ils suivent. D'une manière générale ces points sont en hauteur, sur une colline ou le versant d'une montagne, permettant d'observer la vallée et les versants opposés des montagnes environnantes. Durant les 30 jours du suivi hivernal de mars 2006, les loups ont été observés par les équipes au sol pendant 423 heures, ce qui correspond à plus de 30 % du temps passé sur le terrain (Smith *et al.*, 2007). L'avion a pu localiser chaque meute entre 11 et 18 jours. Cinquante-sept carcasses ont pu être détectées (toutes meutes confondues du Parc du Yellowstone).

Chaque élément observé est reporté sur l'une des fiches répertoriées en annexes. Dès que le contact visuel est perdu, le personnel de terrain tente d'établir de nouveau un contact radio qui indique que les loups ne sont pas visibles du fait de la végétation ou du relief. Si le contact radio est perdu en revanche, un déplacement est nécessaire afin de localiser de nouveau la meute. Le suivi prend fin à la tombée de la nuit. Les équipes rentrent alors au camp de base, complètent leur fiches et mettent en commun leurs observations avec celles de l'équipe aérienne.

b) Examen des carcasses

Certaines journées sont dédiées à l'examen des carcasses. Au moins deux personnes (équipe polyvalente et/ou une des deux personnes d'une équipe de suivi) consacrent la journée à la recherche des carcasses qui ont été visuellement repérées les jours précédents. Les carcasses sont inspectées lorsque les loups se sont éloignés du lieu, afin d'éviter un dérangement par l'équipe de recherche. Les observations visuelles ont généralement permis d'établir à l'aide d'une carte, des points de coordonnées GPS approximatifs qui renseignent sur le lieu de recherche. L'équipe établit un trajet qui optimise l'examen de plusieurs carcasses lors d'un seul déplacement.

Une fois que la carcasse est repérée, l'inspection est réalisée comme indiqué dans le paragraphe *Partie II. II. D. 2. Sélection et utilisation des proies*. Une inspection de carcasse dure généralement moins d'une heure. La difficulté réside cependant dans la recherche en elle-même et l'accessibilité de la carcasse qui est parfois immergée ou dans des zones au relief escarpé

B. Un développement de moyens pour un suivi rigoureux

Les suivis hivernaux sont des périodes intenses et fatigantes pour les équipes qui effectuent des journées de plus de douze heures de travail, dans des conditions extrêmes (position statique à des températures souvent négatives, déplacements de plusieurs heures à pied, ski ou raquettes sur des terrains parfois difficiles d'accès).

Le protocole de suivi hivernal est lourd et est assuré par une équipe de terrain extrêmement motivée. La grande majorité (six sur huit en mars 2006) des volontaires ou employés saisonniers sont des étudiants en biologie. Certains, encadrés par une université développent un sujet de recherche dans le cadre du *Wolf Project*. L'équipe polyvalente de mars 2006 comptait un retraité passionné du suivi des loups du Yellowstone et un *ranger*, employé à l'année par le Parc. Un grand nombre de personnes sont intéressées par le suivi hivernal et la sélection pour y travailler est sévère, d'autant plus qu'il n'y a que peu de places et que le *Wolf Project* emploie, autant que possible, les mêmes personnes d'une année sur l'autre.

Il est intéressant de voir la rigueur des équipes pour suivre le protocole établi. La plupart du personnel saisonnier est logé à l'intérieur même du Parc National du Yellowstone, dans un camp de base, partagé également par d'autres chercheurs, étudiants ou techniciens.

Toutes les conditions sont ainsi réunies pour que cette période de 30 jours soit entièrement dédiée au suivi hivernal.

Les moyens ainsi mis en place par le *Wolf Project* pour le suivi hivernal m'ont permis d'observer sur plusieurs jours, 26 loups au total provenant de quatre meutes différentes [Sept loups pour la meute d'Hellroaring, six pour la meute de Leopold, douze pour la meute de Slough Creek et un louvart (jeune de l'année) de la meute d'Agathe Creek]. J'ai pu contribuer à l'examen de sept carcasses (trois de bisons, trois de wapitis et deux de mouflons). Il m'a été donné d'observer toute une palette de comportements des loups : deux scènes de chasse (sur un bison et un wapiti), des scènes de nourrissage sur carcasse, des interactions interspécifiques (rapaces, corbeaux...), des interactions intra-spécifiques parmi les membres d'une même meute (jeu, dominance, *leadership*...) et entre membres de deux meutes différentes.

C. Les apports du suivi hivernal

1. Quelques résultats

Les suivis réalisés par le *Wolf Project* permettent d'alimenter des bases de données utiles pour des recherches menées en collaboration avec de nombreuses universités et organismes de recherche des Etats-Unis d'Amérique et du Canada.

Plus de dix ans d'études sur le loup dans le Yellowstone, dont la plupart provenant du suivi hivernal (voir le paragraphe *PartieII.I.B. Historique du suivi hivernal*), ont fourni les bases d'une compréhension scientifique du rôle du loup dans cet écosystème. Les données recueillies par les techniciens de terrain ont été utilisées dans de nombreuses parutions scientifiques (articles, ouvrages, chapitres d'ouvrages et littérature sur le loup en général...) (Smith *et al.*, 2006a) et ont montré un impact du loup à tous les étages de l'écosystème. En effet, il y eut un fort déclin des ongulés sauvages suite à la réintroduction des loups, les wapitis représentant la principale proie. Les carcasses de wapitis représentent une importante ressource de nourriture pour de nombreux charognards (corbeau, pie, aigle, coyote, grizzly et ours noirs). En consommant partiellement leurs proies, les loups leur fournissent une grande quantité d'énergie nécessaire pour maintenir le métabolisme, la croissance ou améliorer leur succès reproducteur. Par ailleurs, les loups modifient la disponibilité dans le temps, des ressources : on est passé d'une ressource occasionnelle à la fin des hivers rigoureux, à des ressources plus constantes tout au long de l'hiver depuis la réintroduction des loups (Wilmers

et al., 2003). Cette fourniture peut favoriser la biodiversité et conduire à des populations plus importantes des différentes espèces de charognards. Les femelles grizzly, par exemple, avec une nourriture énergétique assurée ont de plus grandes portées.

Les coyotes, qui au Yellowstone, vivaient avec l'une des densités les plus élevées pour cette espèce, ont vu leur population décliner de 50 % de 1996 à 1998 (Crabtree & Sheldon, 1999). Avec une densité moins élevée, la taille des portées de coyote a augmenté et la production de jeunes a été suffisante pour stabiliser la population. Cette réduction de la population a un effet direct sur la survie des jeunes d'antilope américaine, qui semble inversement corrélée à la densité de coyotes, la plupart des mortalités de ces jeunes étant imputables à ces canidés (Smith *et al.*, 2003).

Au delà des répercussions sur les populations animales, la réintroduction des loups au Yellowstone semble avoir des effets sur la biodiversité végétale. L'augmentation de taille de certains peupliers faux-trembles (*Populus tremuloides*), des saules (*Salix sp.*) et des peupliers (*Populus spp.*), a été attribuée à la redistribution spatiale des wapitis depuis le retour des loups. En effet, lorsque les loups ont été exterminés dans le Yellowstone, les wapitis, chassés à l'extérieur, étaient en revanche protégés à l'intérieur du parc auquel ils avaient accès toute l'année. La différence observée sur la végétation depuis le retour du loup serait donc due à la redistribution spatiale des wapitis, principalement à cause du risque de prédation affectant les mouvements, le comportement et les schémas de fourragement des ongulés (Ripple *et al.*, 2001 ; Ripple & Beschta, 2003 ; Beschta, 2005). Ces changements de comportement modifient la végétation et semblent être bénéfiques pour de nombreux oiseaux, petits mammifères, castors et élans. Au delà de la simple relation proie prédateur, il apparaît que la réintroduction des loups dans le Yellowstone se répercute sur tous les étages de l'écosystème. Les recherches n'en sont qu'à leur début et déjà elles laissent entrevoir des liens complexes liant trois volets : prédateurs, proies, végétation (Smith *et al.*, 2003).

2. Communication autour du projet

Du fait de la présence de routes sur leurs territoires, certaines meutes de la chaîne nord sont devenues particulièrement tolérantes envers la présence humaine, certaines allant même jusqu'à implanter leur tanière à proximité des routes. Ce phénomène a induit un engouement de la part du public pour l'observation des loups sauvages. Lors du suivi de 2006 il ne fut pas rare de voir, en plein hiver, des voitures arrêtées sur le bord de la route et des visiteurs équipés de longues vues observant les loups. Il est aussi intéressant de voir les équipes du *Wolf*

Project communiquer volontiers avec ces visiteurs. Durant l'été 2006, il a été estimé que plus de 13.000 personnes ont pu observer les loups. Depuis 2000, le nombre de visiteurs a augmenté de telle manière qu'un projet de gestion de la route *Druid Road*, financé par des fonds privés a été instauré. Les principaux objectifs sont :

- la sécurité des visiteurs par la régulation du trafic en cas de forte affluence ;
- la sécurité des loups par l'interdiction momentanée de l'accès à certaines zones critiques (tanière, lieux de rendez-vous..) et la facilitation du franchissement des axes routiers ;
- Le contentement des visiteurs par la protection des comportements naturels des loups sauvages, par la pérennisation des opportunités d'observer des animaux sauvages et par une communication active autour des sujets de recherche menés dans le parc.

En sus de cette communication de proximité, le *Wolf Project* prend part à de nombreuses conférences scientifiques et de vulgarisation (plus d'une centaine en 2006). Par ailleurs, le chef de projet Douglas Smith est fréquemment sollicité pour des interviews (60 en 2006) (Smith *et al.*, 2007).

CONCLUSION

Le suivi des populations de la faune sauvage, en France, est devenu nécessaire, d'autant plus lorsqu'il s'agit de prédateurs pouvant entrer en concurrence avec l'activité humaine (élevage, chasse...). Lorsqu'il s'agit de loups en particulier, l'opinion publique est demandeuse d'informations sur le statut (démographique, sanitaire, juridique...) de l'espèce. Le recueil de ces informations nécessite généralement la mise en place de moyens importants.

L'objectif de ce travail s'inscrivait dans le cadre d'un échange de connaissances entre la France et les Etats-Unis et s'intéressait plus spécifiquement à la télémétrie comme outil aidant au suivi des populations de loups. Il en ressort que la transposition en France du suivi réalisé au Yellowstone est délicate du fait des nombreuses différences qui nous séparent (environnement, structures en charge du suivi, statut juridique de l'espèce, financement des recherches...). En effet, le *Wolf Project* bénéficie de financements à la fois privés et publics d'un montant global difficilement envisageable pour un projet de recherche en France. Le travail réalisé ici invite cependant à s'inspirer des points forts du suivi hivernal observé dans le Parc National du Yellowstone :

- un suivi rigoureux. Cela se traduit dans un premier temps par la mise en place d'un protocole complet, qui s'attache à explorer tous les aspects de la biologie du loup. Dans un deuxième temps, les responsables du *Wolf Project* peuvent compter sur des équipes fiables. La participation en tant que techniciens de passionnés ou d'étudiants (mais prenant part également aux projets de recherche), garantit une implication importante de la part des équipes dans le relever des données lors du suivi ;
- une ouverture à la fois vis-à-vis du public et des structures de recherche. Toute action d'étude ou de gestion des populations de loups, en France comme aux USA, déchaîne les passions. Il est ainsi essentiel de bien informer les gens des intérêts du radiopistage afin de réduire les conflits avec l'opinion publique en évitant les insatisfactions ou les incompréhensions concernant l'aspect invasif ou les buts véritables de l'étude. Le *Wolf Project*, en association avec diverses structures, éduque sur l'intérêt du radiopistage, les employés, visiteurs et randonneurs du Parc du Yellowstone, ainsi que les habitants et éleveurs de la périphérie. Ce procédé

s'inscrit dans les recommandations de *l'Animal Care and Use Committee* (1998) qui conseille vivement de prendre le temps d'expliquer les activités de terrain aux gens intéressés ou concernés. Une meilleure communication permet ainsi une meilleure cohabitation. Par ailleurs, l'ouverture du *Wolf Project* se traduit également dans le milieu scientifique par la collaboration avec de nombreuses universités et un échange permanent de savoirs et de connaissances.

La télémétrie paraît sans conteste être une technique utile au suivi des populations lupines. Elle demande de s'informer régulièrement sur les améliorations disponibles, afin d'utiliser une technique adéquate et peu invasive. Son emploi sur les populations de loups en France nécessitera donc une réflexion préalable pour une adaptation optimale.

BIBLIOGRAPHIE

ALBERTA WILDLIFE ANIMAL CARE COMMITTEE. (2005) Classe protocol #009. Class activity: Canid capture, handling, immobilization, and release.

ALEXANDER S.M., PAQUET P.C., LOGAN T.B., SAHER D.J. (2005) Snow-tracking versus radiotelemetry for predicting wolf-environment relationships in the Rocky Mountains of Canada. *Wildlife Society Bulletin*, **33**, 1216-1224.

ALFREDEEN A.C. (2006) *Denning behaviour and movement pattern during summer of wolves Canis lupus on the Scandinavian Peninsula*. Thèse de Biologie, Université de Lantbruks, Suède, 36p.

ALTHOFF D.P., STORM G.L., COLLINS T.W., KUECHLE V.B. (1989) Remote sensing system for monitoring animal activity, temperature, and light. In : AMLANER C.J. Jr, editor. *Biotelemetry X*, Univ. Arkansas Press, Fayetteville, 116-124.

AMLANER C.J. Jr. (1980) Design of antennas for use in radio telemetry. In: AMLANER C.J., MACDONALD D.W., editors. *A handbook on biotelemetry and radio-tracking*. Pergamon Press, Oxford, 251-261

ANCEL A., GENDNER J.P., LIGNON J., JOUVENTIN P., LE MAHO Y. (1992) Satellite radio-tracking of emperor penguins walking on sea-ice to reefed at sea. In : PRIEDE I.G., SWIFT S.M., editors. *Wildlife telemetry. Remote monitoring and tracking of animals*. Ellis Horwood, New York, NY, 201-202.

ANDERSON D.J. (1982) The home range: a new nonparametric estimation technique. *Ecology*, **63**, 103-112.

ANGERBJORN A., BECKER D. (1992) An automatic location system for wildlife telemetry. In : PRIEDE I.G., SWIFT S.M., editors. *Wildlife telemetry. Remote monitoring and tracking of animals*. Ellis Horwood, New York, NY, 68-75.

ANIMAL CARE AND USE COMMITTEE. (1998) Guidelines for the capture, handling, and care of mammals as approved by the American Society of Mammalogists. *Journal of Mammalogy*, **79**, 1416-1431.

ARJO W., PLETSCHER D.H. (1999) Behavioral responses of coyotes to wolf recolonization in northwestern Montana. *Canadian Journal of Zoology*, **77**, 1919-1927.

ARNEMO J.M., AHLQVIST P., SEGERSTRÖM P. (2004) *Biomedical protocol for free-ranging gray wolves (Canis lupus): Capture, anaesthesia, surgery, tagging, sampling and necropsy procedures*. Norwegian School of Veterinary Science, Tromsø, Norvège, 7p.

ATTWOOD T.C., GESE E.M., KUNKEL K.E. (2007) Comparative patterns of predation by cougars and recolonizing wolves in Montana's Madison Range. *Journal of Wildlife Management*, **71**, 1098-1106.

- BALLARD W.B., FRANZMANN A.W., GARDNER C.L. (1982) Comparison and assessment of drugs used to immobilize Alaskan gray wolves (*Canis lupus*) and wolverines (*Gulo gulo*) from a helicopter. *Journal of Wildlife Diseases*, **18**, 339-342.
- BALLARD W.B., WHITMAN J.S., GARDNER C.L. (1987) *Ecology of an exploited wolf population in south-central Alaska*. Wildlife Monographs, no 98. The Wildlife Society, Bethesda, MD, 54p.
- BALLARD W.B., AYRES L.A., RONEY K.E., SPRAKER T.H. (1991) Immobilization of gray wolves with a combination of tiletamine hydrochloride and zolazepam hydrochloride. *J. Wildl. Mgmt.*, **55**, 71-74.
- BALLARD W.B., REED D.J., FANCY S.G., KRAUSMAN P.R. (1995a) Accuracy precision, and performance of satellite telemetry for monitoring wolf movements. In CARBYN LN, FRITTS SH, SEIP DR, editors. *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Occasional Publication 35, 461-467.
- BALLARD W.B., MCNAY M.E., GARDNER C.L., REED D.J. (1995b) use of Line-Intercept track sampling for estimating wolf densities. In CARBYN LN, FRITTS SH, SEIP DR, editors. *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Occasional Publication 35, 469-480.
- BALLARD W.B., AYRES L.A., KRAUSMAN P.R., REED D.J., FANCY S.G. (1997) *Ecology of wolves in relation to a migratory caribou herd in northwest Alaska*. Wildlife Monographs, no 135. The Wildlife Society, Bethesda, MD. 47p.
- BALLARD W.B., EDWARDS M., FANCY S.G., BOE S., KRAUSMAN P.R. (1998) Comparison of VHF and satellite telemetry for estimating sizes of wolf territories in northwest Alaska. *Wildlife Society Bulletin*, **26**, 823-829.
- BANGS E.E., FRITTS S.H. (1996) Reintroducing the gray wolf to central Idaho and Yellowstone National Park. *Wildlife Society Bulletin*, **24**, 402-413.
- BEKOFF M., MECH L.D. (1984) Simulation analyses of space use : Home range estimates, variability, and sample size. *Behav. Res. Meth. Instrum. And Computers*, **16**, 32-37.
- BERG W.E., KUEHN D.W. (1982) Ecology of wolves in north-central Minnesota. In HARRINGTON F.H and PAQUET P.C. Editors. *Wolves of the world: Perspectives of behaviour, ecology and conservation*. Noyes Publications, Park Ridge, NJ, 4-11.
- BERNARD LAURENT A. (2005) Un programme de recherche de « l'impact du loup sur les populations d'ongulés sauvages dans les Alpes ». *Quoi de neuf? Bulletin d'information du réseau loup par l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage*, **13**, 8.
- BESCHTA R.L. (2005) Reduced cottonwood recruitment following extirpation of wolves in Yellowstone's northern range. *Ecology*, **86**, 391-403.
- BESSA-GOMES C., PETRUCCI-FONSECA F. (2003) Using artificial neural networks to assess wolf distribution patterns in Portugal. *Animal Conservation*, **6**, 221-229.

- BJÄRVALL A, ISAKSON E. (1982) Winter ecology of a pack of three wolves in Northern Sweden. *In: HARRINGTON F.H., PAQUET P.C., editors. Wolves of the world: Perspectives of behaviour, ecology, and conservation.* Noyes Publications, Park Ridge, NJ, 146-157.
- BJORGE R.R., GUNSON J.H. (1985) Evaluation of wolf control to reduce cattle predation in Alberta. *Journal of Range Management*, **38**, 483-487.
- BOITANI L. (2003) Wolf conservation and recovery. *In: MECH L.D., BOITANI L., editors. Wolves: Behavior, ecology and conservation.* University of Chicago Press, Chicago, IL, USA, 317-340.
- BOSAK A. (1992) Some new design concepts for simple lightweight radio-tracking equipment. *In : PRIEDE I.G., SWIFT S.M., editors. Wildlife telemetry. Remote monitoring and tracking of animals.* Ellis Horwood, New York, NY, 92-97.
- BOYD D.K. (1994) Prey taken by colonizing wolves and hunters in the Glacier National Park area. *J. Wildl. Mgmt.*, **58**, 289-295.
- BRADLEY E.H., PLETSCHER D.H., BANGS E.E., KUNKEL K.E., SMITH D.W., MACK C.M., MEIER T.J., FONTAINE J.A., NIEMEYER C.C., JIMENEZ M.D.. (2005) Evaluating wolf translocation as a nonlethal method to reduce livestock conflicts in the northwestern United States. *Conservation Biology*, **19**, 1498-1508.
- BRAY O.E., LARSEN K.H., MOTT D.F.. (1975) Winter movements and activities of radio-equipped starlings. *J. Wildl. Mgmt.*, **39**, 795-801.
- BRECK S.W., WILLIAMSON R., NIEMEYER C., SHIVIK J.A. (2002) Non-lethal radio activated guard for deterring wolf depredation in Idaho: Summary and call for research. *Proceedings of the 20th vertebrate Pest Conference*, University of California, 223-226.
- BUECHNER H.K., CRAIGHEAD F.C. Jr., CRAIGHEAD J.J., COTE C.E. (1971) Satellites for research on free roaming animals. *BioScience*, **21**, 1201-1205.
- BURCH J.W., ADAMS L.G., FOLLMANN E.H., REXSTAD E.A. (2005) Evaluation of wolf density estimation from radiotelemetry data. *Wildlife Society Bulletin*, **33**, 1225-1236.
- BURKHOLDER B.L. (1959) Movements and behaviour of a wolf pack in Alaska. *J. Wildl. Mgmt.*, **23**, 1-11.
- CAIN III J.W., KRAUSMAN P.R., JANSEN B.D., MORGART J.R. (2005) Influence of topography and GPS fix interval on GPS collar performance. *Wildlife Society Bulletin*, **33**, 926-934.
- CARBYN L.N. (1983) Wolf predation on elk in Riding Mountain National Park, Manitoba. *Journal of Wildlife Management*, **47**, 963-976.
- CEDERLUND G., LEMNELL P.A. (1980) A simplified technique for mobile radio tracking. *In: AMLANER C.J., MACDONALD D.W., editors. A handbook on biotelemetry and radio-tracking.* Pergamon Press, Oxford, 319-322.

- CEDERLUND G., DREYFERT T., LEMNELL P.A. (1979) *Radiotracking techniques and the reliability of systems used for larger birds and mammals*. Liber Tryck, Stockholm, 102p.
- CIUCCI P., MASI M., BOITANI L. (2003) Winter habitat and travel route selection by wolves in the northern Apennines, Italy. *Ecography*, **26**, 223-235.
- COLLECTE LOCALISATION SATELLITE. (2008) *Manuel utilisateur Argos 2007-2008*. CLS, 54p.
- CLUFF H.D., WALTON L.R., PAQUET P.C. (2002) *Movements and habitat use of wolves denning in the central Arctic, Northwest Territories and Nunavut, Canada*. Final report for the west Kitikmeot/Slave Study Society, Yellowknife, NT Canada, 85p.
- COCHRAN W.W. (1980) Wildlife telemetry. In: SCHEMNITZ S.D., editor. *Wildlife management techniques manual*. Fourth ed., rev. The Wildl. Soc., Washington DC, 507-520.
- COCHRAN W.W., LORD R.D. Jr. (1963) A radio-tracking system for wild animals. *Journal of Wildlife Management*, **27**, 9-24.
- COCHRAN W.W., WARNER D.W., TESTER J.R., KUECHLE V.B. (1965) Automatic radio-tracking system for monitoring animal movements. *BioScience*, **15**, 98-100.
- CONSTABLE P., HINCHCLIFF K., DEMMA N., CALLAHAN M., DALE B., FOX K., ADAMS L., WACK R., KRAMER L. (1998) Electrocardiographic consequences of a peripatetic lifestyle in gray wolves (*Canis lupus*). *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Int. Phys.*, **120**, 557-563.
- COOK S.J., NORRIS D.R., THEBERGE J.B. (1999) Spatial dynamics of a migratory wolf population in winter, south-central Ontario (1990-1995). *Canadian Journal of Zoology*, **77**, 1740-1750.
- CORSI F., DUPRE E., BOITANI L. (1999) A large-scale model of wolf distribution in Italy for conservation planning. *Conservation Biology*, **13**, 150-159.
- COULOMBE M.L., MASSÉ A., CÔTÉ S.D. (2006) Quantification and accuracy of activity data measured with VFH and GPS telemetry. *Wildlife Society Bulletin*, **34**, 81-92.
- CRABTREE R.L., SHELDON J.W. (1999) Coyotes and canid coexistence. In CLARK T.W., CURLEE A.P., MINTA S.C., KAREIVA P.M., editors. *Carnivores in Ecosystems: The Yellowstone experience*. New Haven (CT): Yale University Press, 127-163.
- DEAT A., MAUGET C., MAUGET R., MAUREL D., SEMPERE A. (1980) The automatic, continuous and fixed radio tracking system of the Chizé Forest: theoretical and practical analysis. In : AMLANER C.J., MACDONALD D.W., editors. *A handbook on biotelemetry and radio tracking*. Pergamon Press, Oxford, UK, 439-451.
- DEGEORGES P.J.; NOCHY A. (2004) Le loup, "affaire d'état". *Les cahiers du prosep*, **9**, 27p.

- DELGIUDICE G.D., KUNKEL K.E., MECH L.D., SEAL US. (1990) Minimizing capture-related stress on white-tailed deer with a capture collar. *Journal of Wildlife Management*, **54**, 299-303.
- DEMMA D.J., BERBER-MEYER S.M., MECH L.D. (2007) Testing Global Positioning System telemetry to study wolf predation on deer fawns. *Journal of Wildlife Management*, **71**, 2767-2775.
- D'EON R.G., DELPARTE D. (2005) Effects of radio-collar position and orientation on GPS radio-collar performance, and the implications of PDOP in data screening. *Journal of Applied Ecology*, **42**, 383-388.
- DIXON K.R., CHAPMAN J.A. (1980) Harmonic mean measure of animal activity areas. *Ecology*, **61**, 1040-1044.
- DONALDSON N. de N. (1980) Encapsulation and packaging of implanted components. In: AMLANER C.J., MACDONALD D.W., MACDONALD D.W. Jr., editors. *A handbook on biotelemetry and radio tracking*, Pergamon Press, Oxford, 217-224.
- DUCHAMPS C., LEONARD Y., ROULAND P., MARBOUTIN E. (2003) Les outils moléculaires donnent leurs premiers résultats. *Quoi de neuf ? Bulletin d'information du réseau loup par l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage*, **10**, 7-9.
- DUSSAULT C., COURTOIS R., OUELLET J.-P., HULOT J. (2001) Influence of satellite geometry and differential correction on GPS location accuracy. *Wildlife Society Bulletin*, **29**, 171-179.
- DYSON R.F. (1965) Experience with succinylcholine chloride in zoo animals. *International Zoo Yearbook*, **5**, 205-206.
- FANCY S.G., BALLARD W.B. (1995) Monitoring wolf activity by satellite. In: CARBYN L.N., FRITTS S.H. SEIP D.R., editors. *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta, 329-333.
- FANCY S.G., PANK L.F., DOUGLAS D.C., DURBY C.H., GARNER G.W., AMSTRUP S.C., REGELIN W.L. (1988) *Satellite telemetry: a new tool for wildlife research and management*. U.S. Fish and Wildlife Service Resource, Publication Number 172.
- FANCY S.G., PANK L.F., WHITTEN K.R., REGELIN W.L. (1989) Seasonal movements of caribou in arctic Alaska as determined by satellite. *Canadian Journal of Zoology*, **67**, 644-650.
- FINDO S., CHOVAANKOVA B. (2004) Home ranges of two wolf packs in the Slovak Carpathians. *Folia Zoologica*, **53**, 17-26.
- FRAME P.F., MEIER T.J. (2007) Field-assessed injury to wolves captured in rubber-padded traps. *Journal of Wildlife Management*, **71**, 2074-2076.
- FRAME P.F., HIK D.S., CLUFF H.D., PAQUET P.C. (2004) Long foraging movement of a denning tundra wolf. *Arctic*, **57**, 196-203.

- FRITTS S.H., MECH L.D. (1981) *Dynamics, movements, and feeding ecology of a newly protected wolf population in northwestern Minnesota*. Wildlife Monographs, n°80. The Wildlife Society, Bethesda, MD, 79p.
- FRITTS S.H., PAUL W.J., MECH L.D. (1984) Movements of translocated wolves in Minnesota. *Journal of Wildlife Management*, **48**, 709-721.
- FRITTS S.H., BANGS E.E., FONTAINE J.A., BREWSTER W.G., GORE J.F. (1995) restoring wolves to the Northern Rocky Mountains of the United States. In: CARBYN L.N., FRITTS S.H., SEIP D.R., editors. *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta, 107-125.
- FRITTS S.H., STEPHENSON R.O., HAYES R.D., BOITANI L. (2003) Wolves and humans. In: MECH L.D., BOITANI L., editors. *Wolves: Behavior, ecology and conservation*. University of Chicago Press, Chicago, IL, USA, 289-316.
- FULLER T.K. (1989a) Denning behavior of wolves in north-central Minnesota. *American Midland Naturalist*, **121**, 184-188
- FULLER T.K. (1989b) *Population dynamics of wolves in north-central Minnesota*. Wildlife Monographs, n°105. The Wildlife Society, Bethesda, MD, 41p.
- FULLER T.K., KEITH L.B. (1980) Wolf population dynamics and prey relationships in northeastern Alberta. *Journal of Wildlife Management*, **44**, 583-602.
- FULLER T.K., KEITH L.B. (1981) Immobilization of wolves in winter with etorphine. *Journal of Wildlife Management*, **45**, 271-273.
- FULLER T.K., KUEHN D.W. (1983) Immobilization of wolves using ketamine in combination with xylazine or promazine. *Journal of Wildlife Diseases*, **19**, 69-72.
- FULLER T.K., SAMPSON B.A. (1988) Evaluation of simulated howling survey for wolves. *Journal of Wildlife Management*, **53**, 60-63.
- FULLER T.K., SNOW W.J. (1988) Estimating wolf densities from radiotelemetry data. *Wildlife Society Bulletin*, **16**, 367-370.
- GARROTT R.A., BARTMANN R.M., WHITE G.C. (1985) Comparison of radio-transmitter packages relative to deer fawn mortality. *Journal of Wildlife Management*, **49**, 758-759.
- GENTILE J.R. (1987) The evolution of anti-trapping sentiment in the United States: A review and commentary. *Wildlife Society Bulletin*, **15**, 490-503.
- GILLINGHAM M.P., PARKER K.L. (1992) Simple timing device increases reliability of recording telemetric activity data. *Journal of Wildlife Management*, **56**, 191-196.
- GILMER D.S., COWARDIN L.M., DUVAL R.L., MECHLIN L.M., SHAIFFER C.W., KUECHLE V.B. (1981) Procedures for the use of aircraft in wildlife biotelemetry studies. U.S. Fish and Wildl. Serv. Resour. Publ. 140.

- GORMAN M.L., MILLS M.G.L., FRENCH J. (1992) Satellite tracking of the African wild dog *Lycaon pictus*. In : PRIEDE I.G., SWIFT S.M., editors. *Wildlife telemetry. Remote monitoring and tracking of animals*. Ellis Horwood, New York, NY, 218-228.
- HARRINGTON F.H., MECH L.D. (1979) Wolf howling and its role in territory maintenance. *Behaviour*, **68**, 207-249.
- HARRINGTON F.H., MECH L.D. (1982) An analysis of howling response parameters useful for wolf pack censusing. *Journal of Wildlife Management*, **46**, 686-693.
- HARRIS R.B., FANCY S.G., DOUGLAS D.C., GARNER G.W., MCCABE T.R., PANK L.F. (1990) Tracking wildlife by satellite: current systems and performance. U.S. Fish and Wildlife Service Technician report, No 30, 52p.
- HAYES R.W. (1982) A telemetry device to monitor big game traps. *Journal of Wildlife Management*, **46**, 551-553.
- HAYES R.D., GUNSON J.R. (1995) Status and management of wolves in Canada. In: CARBYN L.N., FRITTS S.H., SEIP D.R., editors. *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta, 21-33.
- HAYES R.D., HARESTAD A.S. (2000) Demography of recovering wolf population in the Yukon. *Canadian Journal of Zoology*, **78**, 36-48.
- HEBBLEWHITE M., PAQUET P.C., PLETSCHER D.H., LESSARD R.B., CALLAGHAN C.J. (2003) Development and application of a ratio estimator to estimate wolf kill rates and variance in a multiple-prey system. *Wildlife Society Bulletin*, **31**, 933-946.
- HEEZEN K.L., TESTER J.R. (1967) Evaluation of radio-tracking by triangulation with special reference to deer movements. *Journal of Wildlife Management*, **31**, 124-141.
- HENSHAW R.E. (1982) Can the wolf be returned to New York ? In: HARRINGTON F.H., PAQUET P.C., editors. *Wolves of the world: Perspectives of behaviour, ecology, and conservation*. Noyes Publications, Park Ridge, NJ, 395-422.
- HOUSTON D.B. (1982) *The Northern Yellowstone Elk: Ecology and management*. New York: Macmillan.
- HOWARD W. (1960) Innate and environmental dispersal of individual vertebrates. *American Midland Naturalist*, **63**, 151-161.
- HOWEY P.W. (1992) Tracking of birds by satellite. In : PRIEDE I.G., SWIFT S.M., editors. *Wildlife telemetry. Remote monitoring and tracking of animals*. Ellis Horwood, New York, NY, 177-184.
- HSU H.H., JOUNG S.J., LIAO Y.Y., LIU K.M.. (2007) Satellite tracking of juvenile whale sharks, *Rhincodon typus*, in the Northwestern Pacific. *Fisheries Research*, **84**, 25-31.
- JAMES A.R.C., STUART SMITH A.K. (2000) Distribution of caribou and wolves in relation to linear corridors. *Journal of Wildlife Management*, **64**, 154-159.

- JANSEN D.K. (1982) A new potting material for radio-telemetry packages. *Copeia*, **1**, 189.
- JEDRZEJEWSKI W., SCHMIDT K., THEUERKAUF J., JEDRZEJEWSKA B., SELVA N., ZUB K., SZYMURA L. (2002) Kill rates and predation by wolves on ungulate populations in Bialowieza Primeval Forest (Poland). *Ecology*, **83**, 1341-1356.
- JETHVA B.D., JHALA Y.V. (2004) Foraging ecology, economics and conservation of Indian wolves in the *Bhal* region of Gujarat, Western India. *Biological Conservation*, **116**, 351-357.
- JOHNSON M.R. (1995) Rabies in wolves and its potential role in a yellowstone wolf population. In: CARBYN L.N., FRITTS S.H., SEIP D.R., editors. *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta, 431-439.
- JONES G. (1990) Directional and omni-directional antennas. *Telonic quarterly*, **3**, 4.
- KEATING K.A., BREWSTER W.G., KEY C.H. (1991) Satellite telemetry: performance of animal-tracking systems. *Journal of Wildlife Management*, **55**, 160-171.
- KENWARD R.E. (1987) *Wildlife radio-tagging*. Academic Press, London, UK, 222p.
- KOJOLA I., ASPI J., HAKALA A., HEIKKINEN S., ILMONI C., RONKAINEN S. (2006) Dispersal in an expanding wolf population in Finland. *Journal of Mammalogy*, **87**, 281-286.
- KOLENOSKY G.B. (1972) Wolf predation on wintering deer in east-central Ontario. *Journal of Wildlife Management*, **36**, 357-369.
- KOLENOSKY G.B., JOHNSTON D. (1967) Radio-tracking timber wolves in Ontario. *American Zoologist*, **7**, 289-303.
- KOLZ A.L., JOHNSON R.E. (1975) An elevating mechanism for mobile receiving antennas. *Journal of Wildlife Management*, **39**, 819-820.
- KOLZ A.L., LENTFER J.W., FALLEK H.G. (1980) Satellite radio tracking of polar bears instrumented in Alaska. In AMLANER C.J. Jr., MACDONALDS D.W., editors. *A Handbook on Biotelemetry and RadioTracking*. Pergamon Press, Oxford, London, 743-752.
- KREEGER T.J. (2003) The internal wolf: Physiology, pathology, and pharmacology. In: MECH L.D., BOITANI L., editors. *Wolves: Behavior, ecology and conservation*. University of Chicago Press, Chicago, IL, USA, 192-217.
- KREEGER T.J., SEAL U.S. (1990) Immobilization of gray wolves (*Canis lupus*) with sulfentanil citrate. *Journal of Wildlife Diseases*, **26**, 561-563.
- KREEGER T.J., SEAL U.S., FAGGELLA A.M. (1986) Xylazine hydrochloride-ketamine hydrochloride immobilization of wolves and its antagonism by tolazoline hydrochloride. *Journal of Wildlife Diseases*, **22**, 397-402.

- KREEGER T.J., FAGGELLA A.M., SEAL U.S., MECH L.D., CALLAHAN M., HALL B. (1987) Cardiovascular and behavioural responses of gray wolves to ketamine-xylazine immobilization and antagonism by yohimbine. *Journal of Wildlife Diseases*, **23**, 463-470.
- KREEGER T.J., SEAL U.S., CALLAHAN M., BECKEL M. (1988) Use of xylazine sedation with yohimbine antagonism in captive gray wolves. *Journal of Wildlife Diseases*, **24**, 688-690.
- KREEGER T.J., MANDSAGER R.E., SEAL U.S., CALLAHAN M., BECKEL M. (1989) Physiological response of gray wolves to butorphanol-xylazine immobilization and antagonism by naloxone and yohimbine. *Journal of Wildlife Diseases*, **25**, 89-94.
- KREEGER T.J., KUECHLE V.B., MECH L.D., TESTER J.R., SEAL U.S. (1990a) Physiological Monitoring of Gray Wolves (*Canis lupus*) by radiotelemetry. *Journal of Mammalogy*, **71**, 258-261.
- KREEGER T.J., SEAL U.S., CALLAHAN M., BECKEL M. (1990b) Physiological and behavioural responses of gray wolves to immobilization with tiletamine and zolazepam (Telazol). *Journal of Wildlife Diseases*, **26**, 90-94.
- KREEGER T.J., SEAL U.S., COHEN Y., PLOTKA E.D., ASA C.S. (1991) Characterization of prolactin secretion in gray wolves. *Canadian Journal of Zoology*, **69**, 1366-1374.
- KREEGER T.J., HUNTER D.L., JOHNSON M.R. (1995) Immobilization protocol for free-ranging gray wolves (*Canis lupus*) translocated to Yellowstone National Park and Central Idaho. *Proc. Joint Mtg. of Wildl. Dis. Assoc., Am. Assoc. Wildl. Vet., Am. Assoc. Zoo. Vet.*
- KUECHLE V.B. (1982) State of the art of biotelemetry in North America. *In: CHEESEMAN C.L., MITSON R.B., editors. Telemetric studies of Vertebrates*, Academic Press, London, UK, 1-18.
- KUECHLE L.B. (2005) *Selecting receiving antennas for radio tracking*. Advanced Telemetry Systems, Inc, Isanti, Minnesota, 8p.
- KUECHLE V.B., HAYNES J.M., REICHLER R.A. (1989) Use of small computers as telemetry data collectors. *In : AMLANER C.J., Jr, editor. Biotelemetry X*, Univ. Arkansas Press, Fayetteville, 695-699.
- KUEHN D.W., FULLER T.K., MECH L.D., PAUL W.J., FRITTS S.H., BERG W.E. (1986) Trap-related injuries to gray wolves in Minnesota. *Journal of Wildlife Management*, **50**, 90-91.
- KUNKEL K.E., CHAPMAN R.C., MECH L.D., GESE E.M. (1991) Testing the Wildlink activity-detection system on wolves and white-tailed deer. *Canadian Journal of Zoology*, **69**, 2466-2469.
- KUNKEL K.E., RUTH T.K., PLETSCHER D.H., HORNOCKER M.G. (1999) Winter prey selection by wolves and cougars in near Glacier National Park, Montana. *Journal of Wildlife Management*, **63**, 901-910.

- KUNKEL K.E., PLETSCHER D.H., BOYD D.K., REAM R.R., FAIRCHILD M.W. (2004) Factors correlated with foraging behaviour of wolves in and near Glacier National Park, Montana. *Journal of Wildlife Management*, **68**, 167-178.
- KUZYK G.W. (2001) Observation of a large wolf pack on a fragmented landscape in west-central Alberta. *Alberta Naturalist*, **31**, 26-27.
- LAVER P.N., KELLY M.J. (2008) A critical review of home range studies. *Journal of Wildlife Management*, **72**, 290-298.
- LICHT D.S., MCAULEY D.G., LONGCORE J.R., SEPIK G.F. (1989) An improved method to monitor nest attentiveness using radio telemetry. *Journal of Field Ornithology*, **60**, 251-258.
- MACDONALD D.W. (1978) Radio-tracking: some applications and limitations. In: STONEHOUSE B., editor. *Animal Marking*, University Park Press, Baltimore, 192-204.
- MARZLUFF J.M., NEATHERLIN E. (2006) Corvid response to human settlements and campgrounds: Causes, consequences, and challenges for conservation. *Biological Conservation*, **130**, 301-314.
- MCLOUGHLIN P.D., WALTON L.R., CLUFF H.D., PAQUET P.C., RAMSAY MA. (2004) Hierarchical habitat selection by tundra wolves. *Journal of Mammalogy*, **85**, 576-580.
- MCNAY M.E., VER HOEF J.M. (2000) *Investigation of wolf population response to intensive trapping in the presence of high ungulate biomass*. Alaska Department of Fish and Game. Federal Aid in Wildlife Restoration Research final report. Grants W-27-1 through W-27-5. Project 14.17. Juneau, Alaska, USA.
- MCSHARRY P.E., ADLAM D., DE BONO J.P., CHANNON K.M. (2006) Activity index from continuous telemetry in a mouse model of voluntary wheel exercise training. *Computers in Cardiology*, **17**, 89-92.
- MECH L.D. (1966) Hunting behaviour of timber wolves in Minnesota. *Journal of Mammalogy*, **47**, 347-348.
- MECH L.D. (1972) Spacing and possible mechanisms of population regulation in wolves. *American Zoologist*, **12**, 642.
- MECH L.D. (1973) *Wolf numbers in the Superior National Forest of Minnesota*. USDA Forest Service research paper NC-97. North central Forest Experiment Station, St. Paul, MN, 10p.
- MECH L.D. (1975) Disproportionate sex ratios of wolf pups. *Journal of Wildlife Management*, **39**, 737-740.
- MECH L.D. (1977) Productivity, mortality and population trend in wolves from eastern Minnesota. *Journal of Mammalogy*, **58**, 559-574.

- MECH L.D. (1980) Making the most of radio-tracking. *In: AMLANER C.J., MACDONALD D.W., editors. A handbook on biotelemetry and radio-tracking.* Pergamon Press, Oxford, 85-95.
- MECH L.D. (1983) *A handbook of animal radiotracking.* Univ. Of Minn. Press, Mpls. 108p.
- MECH L.D. (1986) *Wolf population in the central Superior National Forest, 1967-1985.* USDA Forest Service research paper NC-270. North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN, 6p.
- MECH L.D. (1992) Daytime activity of wolves during winter in northeastern Minnesota. *Journal of Mammalogy*, **73**, 570-571.
- MECH L.D. (1995) What do we know about wolves and what more do we need to learn? *In: CARBYN L.N., FRITTS S.H., SEIP D.R., editors. Ecology and conservation of wolves in a changing world.* Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta, 537-545.
- MECH L.D., FRENZEL L.D. (1971) *Ecological studies of the timber wolf in northeastern Minnesota.* USDA Forest Service Research Paper NC-52. North Central Forest Experimentation Station, St Paul, MN, 62p.
- MECH L.D., GESE E.M. (1992) Field testing the Wildlink capture collar on wolves. *Wildlife Society Bulletin*, **20**, 221-223.
- MECH L.D., BARBER S.M. (2002) *A critique of wildlife radio-tracking and its use in national parks.* A report to the US National Park Service, 80p.
- MECH L.D., BOITANI L. (2003) Wolf social ecology. *In : Wolves : Behavior, ecology and conservation.* University of Chicago Press, Chicago, IL, USA, 1-34.
- MECH L.D., KUECHLE V.B., WARNER D.W., TESTER J.R. (1965) A collar for attaching radio transmitters on rabbits, hares and raccoons. *Journal of Wildlife Management*, **29**, 898-902.
- MECH L.D., CHAPMAN R.C., COCHRAN W.W., SIMMONS L., SEAL U.S. (1984) A radio-triggered anesthetic dart collar for recapturing large mammals. *Wildlife Society Bulletin*, **12**, 69-74.
- MECH L.D., KUNKEL K.E., CHAPMAN R.C., KREEGER T.J. (1990) Field testing of commercially manufactured capture collars on wild deer. *Journal of Wildlife Management*, **54**, 297-299.
- MECH L.D., KURTZ H.J., GOYAL S. (1997) death of a wild wolf from canine parvoviral enteritis. *Journal of Wildlife Diseases*, **33**, 321-322.
- MECH L.D., ADAMS L.G., MEIER T.J., BURCH J.W., DALE B.W. (1998) *The wolves of Denali.* University Minnesota Press, Minneapolis.
- MEIER T.J., BURCH J.W., MECH L.D., ADAMS L.G. (1995) Pack structure dynamics and genetic relatedness among wolf packs in a naturally regulated population. *In:*

- CARBYN L.N., FRITTS S.H., SEIP D.R., editors. *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta, 293-302.
- MERRILL S.B. (2002) *An evaluation of the use of global positioning system telemetry in studying wolf biology*. Ph.D. dissertation, University of Minnesota, St. Paul. 135p.
- MERRILL S.B., MECH L.D. (2000) Details of extensive movements by Minnesota wolves (*Canis lupus*). *American Midland Naturalist*, **144**, 428-433.
- MERRILL S.B., MECH L.D. (2003) The usefulness of GPS telemetry to study wolf circadian and social activity. *Wildlife Society Bulletin*, **31**, 947-960.
- MERRILL S.B., ADAMS L.G., NELSON M.E., MECH L.D. (1998) Testing releasable GPS collars on wolves and white-tailed deer. *Wildlife Society Bulletin*, **26**, 830-835.
- MICROWAVE TELEMETRY INC. (2006) Argos performance in Europe. *Tracker News*, **7**.
- MILLS K.J., PATTERSON B.R., MURRAY D.L. (2006) Effects of variable sampling frequencies on GPS transmitter efficiency and estimated wolf home range size and movement distance. *Wildlife Society Bulletin*, **34**, 1463-1469.
- MOEN R., PASTOR J., COHEN Y., SCHWARTZ C.C. (1996) Effects of moose movement and habitat use on GPS collar performance. *Journal of Wildlife Management*, **60**, 659-668.
- MOEN R., PASTOR J., COHEN Y. (1997) Accuracy of GPS telemetry collar locations with differential GPS. *Journal of Wildlife Management*, **61**, 530-539.
- MOEN R., PASTOR J., COHEN Y. (2001) Effects of animal activity on GPS telemetry location attempts. *Alces*, **37**, 207-216.
- MORRIS P. (1980) An elementary guide to practical aspects of radio tracking mammals. In: AMLANER C.J., MACDONALD D.W., MACDONALD D.W. Jr., editors. *A handbook on biotelemetry and radio tracking*, Pergamon Press, Oxford, 161-168.
- MORRIS J.A. (1992) An easily constructed hand-held direction-finding antenna. In : PRIEDE I.G., SWIFT S.M., editors. *Wildlife telemetry. Remote monitoring and tracking of animals*. Ellis Horwood, New York, NY, 90-91.
- MULLER G., LIEBSCH N., WILSON R.P. (2005) From the field: A new shot at a release mechanism for devices attached to free-living animals. *Wildlife Society Bulletin*, **33**, 337-342.
- MURIE A. (1944) *The wolves of Mount McKinley*. US. National Park Service Fauna Series, no. 5, US Government Printing Office, Washington, DC, 238p.
- NELLIS C.H. (1968) Some methods for capturing coyotes alive. *Journal of Wildlife Management*, **32**, 402-405.
- NELSON M.E., MECH L.D. (2004) Tracking of white-tailed deer migration by Global Positioning System. *Journal of Mammalogy*, **85**, 505-510.

- NICHOLLS T.H., OSTRY M.E., FULLER M.R. (1981) *Marking ground targets with radio transmitters dropped from aircraft*. US For. Serv. Res. Note NC-274, 4p.
- OKARMA H., JEDRZEJEWSKI W. (1997) Livetrapping wolves with nets. *Wildlife Society Bulletin*, **25**, 78-82.
- OLSON S.F. (1938) Organization and range of the pack. *Ecology*, **19**, 168-170.
- OTIS D.L., WHITE G. (1999) Autocorrelation of location estimates and the analysis of radiotracking data. *Journal of Wildlife Management*, **63**, 1039-1044.
- PAUL W.J., GIPSON P.S. (1994) *Wolves: Prevention and control of wildlife damage*. Animal and Plant Health Inspection Service. Animal Damage Control, United States Department of Agriculture.
- PETERSON R.O., CIUCCI P. (2003) The wolf as a Carnivore. In MECH L.D., BOITANI L., editors. *Wolves : Behavior, ecology and conservation*. University of Chicago Press, Chicago, IL, USA, 104-130.
- PETERSON R.O., WOOLINGTON J.D., BAILEY T.N. (1984) *Wolves of the Kenai Peninsula, Alaska*. Wildlife Monographs, no 88. The Wildlife Society, Bethesda, MD. 52p.
- PETERSON R.O., JACOBS A.K., DRUMMER T.D., MECH L.D., SMITH D.W. (2002) Leadership behaviour in relation to dominance and reproductive status in gray wolves, *Canis lupus*. *Canadian Journal of Zoology*, **80**, 1405-1412.
- PHEBUS G. (1986) *Le livre de la chasse : manuscrit français 616 de la Bibliothèque nationale de Paris*. Introduction et commentaires de Marcel Thomas et François Avril, traduction par R. et A. Bossuat, Paris : Philippe Lebaud, 177p.
- PHILLIPS M.K., SMITH D.W. (1997) *Yellowstone Wolf Project: Biennial Report 1995 and 1996*. National Park Service, Yellowstone Center for Resources, Yellowstone National Park, Wyoming, YCR-NR-97-4.
- PHILLIPS M.K., HENRY V.G., KELLY B.T. (2003) Restoration of the red wolf. In MECH L.D., BOITANI L., editors. *Wolves : Behavior, ecology and conservation*. University of Chicago Press, Chicago, IL, USA, 272-288.
- PRIEDE I.G. (1992) Wildlife telemetry : An introduction. In : PRIEDE I.G., SWIFT S.M., editors. *Wildlife telemetry. Remote monitoring and tracking of animals*. Ellis Horwood, New York, NY, 3-25.
- REMPEL R.S., RODGERS A.R., ABRAHAM K.F. (1995) Performance of a GPS animal location system under boreal forest canopy. *Journal of Wildlife Management*, **59**, 543-551.
- RIPPLE W.J., BESCHTA R.L. (2003) Wolf reintroduction, predation risk, and cottonwood recovery in Yellowstone National Park. *Forest Ecology and Management*, **184**, 299-313.

- RIPPLE W.J., LARSEN E.J., RENKIN R.A., SMITH D.W. (2001) Trophic cascades among wolves, elk, and aspen on Yellowstone National Park's northern range. *Biological Conservation*, **102**, 227-234.
- RODGERS A.R., REMPEL R.S., ABRAHAM K.F. (1996) A GPS-based telemetry system. *Wildlife Society Bulletin*, **24**, 559-566.
- RODGERS A.R. (2001) Tracking animals with GPS: the first 10 years. In SIBBALD A., GORDON I.J., editors. *Tracking animals with GPS*. Aberdeen, Macaulay, Land Use Research Institute, 1-10.
- ROTHMAN R.J., MECH L.D. (1979) Scent-marking in lone wolves and newly formed pairs. *Animal Behaviour*, **27**, 750-760.
- RYSER A., SCHOLL M., ZWAHLEN M., OETLIKER M., RYSER-DEGIORGIS M.P., BREITENMOSER U. (2005) A remote-controlled teleinjection system for the low-stress capture of large mammals. *Wildlife Society Bulletin*, **33**, 721-730.
- SAHR D.P., KNOWLTON F.F. (2000) Evaluation of tranquilizer trap devices (TTDs) for foothold traps used to capture grey wolves. *Wildlife Society Bulletin*, **28**, 597-605.
- SALTZ D., ALKON P.U. (1985) A simple computer-aided method for estimating radio-location error. *Journal of Wildlife Management*, **49**, 664-668.
- SAMUEL M.D., FULLER M.R. (1996) Wildlife radiotelemetry. In: BOOKHOUT T.A., editor. *Research and Management Techniques for Wildlife and Habitats*, 5th ed. rev. The Wildlife Society, Bethesda, MD, 370-418.
- SAND H., ZIMMERMANN B., WABAKKEN P., ANDREN H., PEDERSEN H.C. (2005) using GPS technology and GIS cluster analyses to estimate kill rates in wolf-ungulate ecosystems. *Wildlife Society Bulletin*, **33**, 914-925.
- SCHMIDT D.F., SHAFFERY J.P., BALL N.J., LOENNEKE D., AMLANER C.J. Jr. (1989) Electrophysiological sleep characteristics in bobwhite quail. In : AMLANER C.J., Jr., editor. *Biotelemetry X*, Univ. Arkansas Press, Fayetteville, 339-344.
- SCHOBER F., BUGNAR W.M., WAGNER J. (1989) A software package for acquisition and evaluation of biotelemetric data from domestic and wild animals. . In : AMLANER C.J., Jr., editor. *Biotelemetry X*, Univ. Arkansas Press, Fayetteville, 700-708.
- SCHULTZ R.N., JONNAS K.W., SKULDT L.H., WYDEVEN A.P. (2005) Experimental use of dog-training shock collars to deter depredation by gray wolves. *Wildlife Society Bulletin*, **33**, 142-148.
- SCOTT B.M.V., SHACKLETON D.M. (1982) A preliminary study of the social organization of the Vancouver Island wolf (*Canis lupus crassodon*). In: HARRINGTON F.H., PAQUET P.C., editors. *Wolves of the world: Perspectives of behaviour, ecology, and conservation*. Noyes Publications, Park Ridge, NJ, 12-25.
- SEAL U.S., MECH L.D. (1983) Blood indicators of seasonal metabolic patterns in captive adult gray wolves. *Journal of Wildlife Management*, **47**, 704-715.

SEAL U.S., PLOTKA E.D., PACKARD J.M., MECH L.D. (1979) Endocrine correlates of reproduction in the wolf. I. Serum progesterone, estradiol and LH during the estrous cycle. *Biology of Reproduction*, **21**, 1057-1066.

SHELLEY D.P., GEHRING T.M. (2002) Behavioral modification of Gray Wolves, *Canis lupus*, suffering from sarcoptic mange: Importance of sequential monitoring. *Canadian Field Naturalist*, **116**, 648-650.

SMITH D.W., GUERNSEY D. (2002) *Yellowstone Wolf project: Annual Report, 2001*. National Park Service, Yellowstone Center for Resources, Yellowstone National Park, Wyoming, YCR-NR-2002-04.

SMITH D.W., MECH L.D., MEAGHER M., CLARK W.E., JAFFE R., PHILLIPS M.K., MACK J.A. (2000) Wolf-bison interactions in Yellowstone National Park. *Journal of Mammalogy*, **81**, 1128-1135.

SMITH D.W., PETERSON R.O., HOUSTON D.B. (2003) Yellowstone after wolves. *BioScience*, **53**, 330-340.

SMITH D.W., DRUMMER T.D., MURPHY K.M., GUERNSEY D.S., EVANS S.B. (2004) Winter prey selection and estimation of wolf-kill rates in Yellowstone National Park, 1995-2000. *Journal of Wildlife Management*, **68**, 153-166.

SMITH D.W., STAHLER D., GUERNSEY D. (2006a) *Yellowstone Wolf Project. Winter Study Handbook*. March 2006. 39p.

SMITH D.W., STAHLER D., GUERNSEY D. (2006b) *Yellowstone Wolf project: Annual Report, 2005*. National Park Service, Yellowstone Center for Resources, Yellowstone National Park, Wyoming, YCR-2006-04.

SMITH D.W., STAHLER D., GUERNSEY D., METZ M., NELSON A., ALBERS E., MCINTYRE R. (2007) *Yellowstone Wolf project: Annual Report, 2006*. National Park Service, Yellowstone Center for Resources, Yellowstone National Park, Wyoming, YCR-2007-01.

SMITH R.M., TREVOR DEUTSCH B. (1980) A practical, remotely controlled, portable radio telemetry receiving apparatus. In : AMLANER C.J., MACDONALD D.W., editors. *A handbook on biotelemetry and radio tracking*. Pergamon Press, Oxford, UK, 269-273

SNYDER N.F.R., BEISSINGER S.R., FULLER M.R. (1989) Solar radio-transmitters on snail kites in Florida. *Journal of Field Ornithology*, **60**, 171-177.

STAHLER D., HEINRICH B., SMITH D. (2002) Common ravens, *Corvus corax*, preferentially associate with grey wolves, *Canis lupus*, as a foraging strategy in winter. *Animal Behaviour*, **64**, 283-290.

STEPHENSON R.O., BALLARD W.B., SMITH C.A., RICHARDSON K. (1995) Wolf biology and management in Alaska, 1981-92. In : CARBYN L.N., FRITTS S.H., SEIP D.R., editors. *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta. 43-54.

- STOHR W. (1989) Long term heart rate telemetry in small mammals. *In* : AMLANER C.J. Jr, editor. *Biotelemetry X*, Univ. Arkansas Press, Fayetteville, 353-375.
- SWIHART R.K., SLADE N.A. (1985) Testing for independence of observations in animals movements. *Ecology*, **66**, 1176-1184.
- TABERLET P., WALTS L.P., LUIKART G. (1999) Noninvasive genetic sampling: look before you leap. *Trends in Ecology and Evolution*, **14**, 323-327.
- TAILLADE M. (1992) Animal tracking by satellite. *In* : PRIEDE I.G., SWIFT S.M., editors. *Wildlife telemetry. Remote monitoring and tracking of animals*. Ellis Horwood, New York, NY, 149-160.
- THEUERKAUF J., JEDRZEWSKI W., SCHMIDT K., OKARMA H., RUCZYNSKI I., SNIEZKO S., GULA R. (2003) Daily patterns of wolf activity in the Bialowieza Forest, Poland. *Journal of Mammalogy*, **84**, 127-137.
- THIEL R.P., FRITTS S.H. (1983) Chewing-removal of radio collars by gray wolves in Wisconsin. *Journal of Wildlife Management*, **47**, 851-852.
- THIEL R.P., MECH L.D., RUTH G.R., ARCHER J.R., KAUFMAN L. (1987) Blastomycosis in wild wolves. *Journal of Wildlife Diseases*, **23**, 321-323.
- THURBER J.M., PETERSON R.O. (1993) Effects of population density and pack size on the foraging ecology of gray wolves. *Journal of Mammalogy*, **74**, 879-889.
- TOMKIEWICZ S. (1990) The phenomena of signal bounce and phase cancellation. *Telonic quarterly*, **3**, 2-3.
- TOMKIEWICZ S. (1996) GPS application for Wildlife – A review. *Telonic Quarterly*, **9**, Spring and summer.
- TOMKIEWICZ S. (1998) It doesn't count if it's not line-of-sight. *Telonic quarterly*, **2**.
- TOMKIEWICZ S.M. Jr., BEATY D.W. (1987) Wildlife satellite telemetry: a progress report – 1987. *In Proc. Argos Users Conf.*, Service Argos, Greenbelt, MD, 191-198.
- U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE. (1984) Federal radionavigation plan. DoD-4650.4, Dep. Def. And Dep. Transp., Washington, D.C. 204 p.
- VAN BALLEMBERGHE V. (1984) Injuries to wolves sustained during livecapture. *Journal of Wildlife Management*, **48**, 1425-1429.
- VAN BALLEMBERGHE V., ERICKSON A.W., BYMAN D. (1975) *Ecology of the timber wolf in northeastern Minnesota*. Wildlife Monographs, n°43. The Wildlife Society, Washington, D.C. 44p.
- VAN WINKLE W. Jr., MARTIN D.C., SEBETICH M.J. (1973) A home-range model for animals inhabiting an ecotone. *Ecology*, **54**, 205-209.
- VENKATARAMAN A.B., SAANDEEP R., BASKARAN N., ROY M., MADHIVANAN A., SUKUMAR R. (2005) Using satellite telemetry to mitigate

elephant-human conflict: An experiment in northern West Bengal, India. *Current Science*, **88**, 1827-1831.

VILA C., URIOS V., CASTROVIEJO J. (1995) Observations on the daily activity patterns in the Iberian wolf. In : CARBYN L.N., FRITTS S.H., SEIP D.R., editors. *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta. 335-340.

WABAKKEN P., SAND H., KOJOLA I., ZIMMERMANN B., ARNEMO J.M., PEDERSEN H.C., LIBERG O. (2007) Multistage, long-range natal dispersal by a Global Positioning System-collared Scandinavian wolf. *Journal of Wildlife Management*, **71**, 1631-1634.

WALZER C., KACZENSKY P. (2008) Choisir un émetteur ou une balise : revue des possibilités et limites. *Actes du V^{ème} Congrès International Vétérinaire sur les Animaux Sauvages et Exotiques*, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 174-178.

WHITE G.C., GARROTT R.A. (1990) *Analysis of Wildlife radio-tracking data*. Academic Press, Inc., San Diego.

WILMERS C.C., CRABTREE R.L., SMITH D.W., MURPHY K.M., GETZ W.M. (2003) Trophic facilitation by introduced top predators: grey wolf subsidies to scavengers in Yellowstone National Park. *Journal of Animal Ecology*, **72**, 909-916.

WORTON B.J. (1989) Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, **70**, 164-168.

YOUNG S.P., GOLDMAN E.A. (1944) *The wolves of North America*. American Wildlife Institute, Washington, DC, 385p.

ZIMMERMANN B., STORAAS T., WABAKKEN P., NICOLAYSEN K., STEINSET O.K., DOTTERER M., GUNDERSEN H., ANDREASSEN H.P. (2001) GPS collars with remote download facilities, for studying the economics of moose hunting and moose-wolf interactions. In *Tracking Animals with GPS. An International conference held at the Macaulay Land Use Research Institute*, Aberdeen, SD, 12-13 March 2001, 33-38.

ANNEXES

ANNEXE I :
FOURNISSEURS D'ÉQUIPEMENTS DE TÉLÉMÉTRIE CONTACTÉS

Advanced Telemetry Systems, Inc www.atstrack.com
AVM Instrument Company, Ltd. www.avminstrument.com
Ayama Radio Tracking www.ayama.com
Biotelemetrys, Inc. www.biotelemetrys.com
BlueSky Telemetry Ltd. www.blueskytelemetry.com
Data Sciences International, Inc. www.datasci.com
H.A.B.I.T research www.habitresearch.com
Holohil Systems Ltd. www.holohil.com
L.L. Electronics www.radiotracking.com
Lotek Engineering, Inc. www.lotek.com
Merlin Systems, Inc www.merlin-systems.com
North Star Science and Technology, LLC www.northstarst.com
Sirtrack Limited www.sirtrack.com
Telemetry Solutions www.telemetrysolutions.com
Televilt International AB www.televilt.se
Telenax www.telenax.com
Telonics, Inc. www.telonics.com
TenXsys www.tenxsys.com
Titley Electronics Pty Ltd www.titley.com.au
Vetric aerospace www.vetric-aerospace.com
Wildlife Materials, Inc. <http://wildlifematerials.com>

ANNEXE II. :
FICHES UTILISÉES PAR LES ÉQUIPES DU SUIVI HIVERNAL DES LOUPS DU
PARC NATIONAL DU YELLOWSTONE

ANNEXE II.b.

YELLOWSTONE WOLF PROJECT

MORTALITY / AUTOPSY FORM

Data entered (initials)
Into database :
Data in database
Double checked:

Fill in top portion of form, regardless of whether the carcass was examined.

If carcass is examined or site visited but no samples collected assign autopsy number and record any autopsy information

Yearly mortality No: - Species:

Species ID # if applicable: [e.g.-wolf # 001F; elk collar frequency 220.000]

Date of Death: / / Est: Yes / No date Detected: / /

Was Kill Located in Northern Range?: Yes No

General location:

UTM: Easting Northing NAD 83 / 27 Elevation feet

Topography: Flat Rolling Hills Cover: Upland grass Sagebrush Burn
(circle one) Slope Ravine (circle one) Wet meadow Conifer River/Creek
Ridge Riparian brush Aspen Lake
Thermal area Unvegetated

Sex: (circle one) Male Female Unknown

If Male, Circle Antler Condition: pedicel velvet polished

Age: Calf Yearling Adult Old Adult (10+ years) Unknown

Est. Teeth wear (yrs.) Cementum age (after lab analysis)

Cause of Death: 1) definite wolf kill (Saw wolves kill, blood trail with wolves of wolf tracks present)

2) probable wolf kill (Wolves present at fresh kill; blood trail, but kill not seen)

3) possible wolf kill 4) malnutrition 5) unknown 6) other (specify)

Cause of Death explanation:

Which Wolves Present or circle unknown # of Wolves

Wolf Pack or circle unknown Snow depth (fresh kills only): inches

Scavengers: Present? Yes No Unknown If scavengers present, circle each species & record # observed.

Grizzly Bear # Black Bear # Coyote # Fox # Mt Lion #

Raven # Magpie # Bald Eagle # Golden Eagle #

Eagle Unk # Other (specify) #

Comments:

Kill discovered by (circle one): aerial ground both air & ground backtrack GPS cluster

Observed by:

(Use First Initial & Entire Last Name)

(Autopsy Data Continued On Back)

AUTOPSY INFORMATION

Autopsy No.: _____ Date Examined: ___/___/___

If kill detected by air crew, record ground UTM as well: East _____ North _____ NAD27

Did air crew correctly ID: species? Yes / no sex? yes / no age? Yes / no NOT APPLICABLE

If no for any of above, specify air crew error(s): _____

Was Bone Marrow: solid gelatinous not examined %fat content: _____(after lab drying)

Subcutaneous fat present? Yes / No Omentum fat present? Yes / No Kidney fat present? Yes / No

Disease and Parasitism (When possible inspect for ticks, lung worm, liver flue, tapeworm, muscle cysts):

Examined for: _____ (If examined, specify those present) [circle one for each]

Parasites?: Yes No _____ Infection: slight mod severe

Abnormal Organs? Yes No _____ Sample collected? Yes No

Abnormal Tissues? Yes No _____ Sample collected? Yes No

Arthritis:

Vertebrae Arthritis Present? Yes No Not examined

If arthritis is present, circle type & # of vert.: Cervical # ___(7 total) Thoracic # ___(13 total) Lumbar # ___(6 total)

Severity of Arthritis: Cervical: slight / mod / sev Thoracic: slight / mod / sev Lumbar: slight / mod / sev

Pelvic Arthritis Present? Yes / No / Not Examined Circle type: acetabulum Rt / Lt femur ball Rt / Lt

Severity for each: Rt Ace: slight / mod / sev Lt Ace: slight / mod / sev Rt Fem: slight / mod / sev Lt Fem: slight / mod / sev

Other Joint Arthritis Present? Yes / No / Not Examined Specify which: _____ severity: slight / mod / sev

Jaw Necrosis Present? Yes / No / Not Examined Uppers: slight / mod / sev Lower: slight / mod / sev

Carcass Use:

Number of days after wolves left kill when carcass was examined: _____ day(s)

Utilization:

1 = 76-100% no soft tissue; hide usually present; generally disarticulated

2 = 51-75% all organs consumed, all or most of quarters consumed; some head/neck present; partial/slight disarticulation

3 = 26-50% organs usually consumed, major portions of hind quarters consumed; front quarters, head/neck largely intact; usually articulated

4 = 0-25% some organs consumed; most soft tissue intact; skeleton articulated

Parts eaten by wolves or scavengers :

Organs: 1) liver 2) heart 3) lungs 4) kidneys 5) pancreas
6) spleen 7) stomach 8) large intestine 9) small intestine 10) all 11) none

Muscle: 1) lumbar 2) thoracic 3) cervical 4) pelvis 5) front right quarter
6) front left quarter 7) hind right quarter 8) hind left quarter 9) all 10) none

Bones found: skull: Yes / No pelvis: Yes / No vert. col. # found _____
no. mandibles _____ no. scapulae _____
no. leg bones: Fe (femur) _____ Hum (humerous) _____
Tib (tibia) _____ R&U (radius & ulna) _____
Mt (metatarsus) _____ Mc (metacarpus) _____

Samples collected : none / metatarsus / mandible / skull / pelvis / vertebrae **Mt length** _____ mm (after bone boiling)

Teeth: 1) UR – PM₂, PM₃, PM₄, M₁, M₂, M₃ 3) LR – PM₂, PM₃, PM₄, M₁, M₂, M₃

2) UL – PM₂, PM₃, PM₄, M₁, M₂, M₃ 4) LL – PM₂, PM₃, PM₄, M₁, M₂, M₃ 5) Incisors – I₁, I₂, I₃, I₄

Marrow Bone: 1) femur 2) humerus **Other** (tissue or hair for DNA): _____

Snow depth [fresh kills only]: _____ inches

Scavengers Present? Yes / No / Unknown **If scavengers present, circle each species and record number observed**

Grizzly Bear # _____ Black Bear # _____ Coyote # _____ Fox # _____ Mt Lion # _____

Raven # _____ Magpie # _____ Bald Eagle # _____ Golden Eagle # _____

Eagle Unk # _____ Other (specify) _____ # _____

Comments: _____

Examined by: _____

ANNEXE II.c.: KILL EVALUATION AND CATEGORIZATION CHART

LIST NUMBERS THAT APPLY ON PREY CARCASS FORM

Carnivore Kill:

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Signs of Struggle evident <ol style="list-style-type: none"> a. Scuff or track evidence of chase and struggle b. Blood on ground from pursuit c. Broken branches d. Blood on trees | <ol style="list-style-type: none"> 2. SubQ Hemorrhage on hide/carcass 3. Aspirated blood in trachea, mouth, nose. |
|--|---|

CARNIVORE	POSSIBLE	PROBABLE	POSITIVE
COUGAR	4. Old cougar trx. Discernable by shape and stride pattern only. 5. Ungulate prey hair in small “clumps” around carcass has appearance of being sheared off or cut near root base. 6. Feces covered in “toilet” but dry or chalky in appearance. 7. Toilets, scrapes, bed sites not apparent or appeared “weathered”. 8. Carcass remains in dense cover, small drainage or side draw.	9. Fresh cougar tracks discernable by detailed toe and pad arrangement. 10. Carcass remains concealed near tree &/or brush 11. Carcass remains not scattered, but clustered in area < 30m. 12. Remains buried/cached w/light debris such as plucked hair, small sticks, leaf-needle-soil duff. During winter, caches may be completely of snow packed on top of carcass. 13. Cougar feces dark moist, or liquid. 14. Toilets and/or scrapes appear recently created. 15. Tree scratching at site 16. Two – four bed sites oriented upslope from carcass and concealed at base of tree, against boulder or rock outcrop. 17. Bedsites contain cougar hair. 18. Rumen rejected as food, possibly buried/cached. 19. Presence of cougar via visual, tracks, or radio-location.	20. Canine punctures to back of neck, or at throat. 21. Hemorrhage to back, of neck or at throat near jawline. 22. Canine holes measure 4.5 to 5.0 cm apart for top canine punctures &/or 3.0-4.0 cm apart for bottom pair. 23. Claw marks or claw tracks apparent along neck, shoulders, or back, or face. 24. Drag marks to cache/concealment site with ungulate prey hair along drag line. 25. Kill not scavenged by bear or wolf.
WOLF	26. Old wolf trx. Discernable by shape and stride pattern only 27. Carcass remains in open habitat with ≤ canopy cover. 28. Feces in open and not covered; feces dry or chalky in appearance; or no feces present at all	29. Fresh wolf tracks discernable by detailed toe and pad arrangement. 30. Carcass remains scattered possibly > 30m from the kill site. 31. No bed sites evident. 32. If bed sites evident, generally more than 2-4 bed sites oriented in “spoke-wheel” fashion around kill site; bedsites in open or grass or under canopy cover, but not necessarily at base of tree. 33. Bedsites contain wolf hair. 34. Radio-collared wolves at or in vicinity of kill	35. Hemorrhage apparent on hide at back of metatarsus and femur areas. 36. If any hide or organs left to examine on head at throat: canine punctures to throat on cows and calves. 37. No cougar or bear sign at site.
BEAR	38. Old bear tracks discernable by shape or as depressions in soil only. 39. Carcass may be in open (generally grizzly bear) or forest cover (generally black bear) Note: Bears in Yellowstone scavenge carcasses (winter kill, cougar and wolf kills) during spring, so make sure no other carnivore sign is evident at the site. Bear predation in YNP is generally directed at calves and fawns where most of the carcass is entirely consumed; or bison kills (Grizzly bears).	40. Recent bear tracks that show track details. 41. Moist/wet bear scats in vicinity of kill. 42. Bedsites within meters of carcass or next to carcass. 43. Bedsites contain bear hair. 44. Grizzly or black bear hair on antlers, trees, or brush. 45. Carcass buried with large amount of material including large sticks and dirt; area has churned or rototilled appearance indicative of Grizzly bear. 46. Carcass in tree cover or draw, but not cached – indicative of Black bear. 47. Hide on carcass is inverted over the head and down legs resulting in a “banana-peel” appearance. 48. Viscera consumed as food.	49. bear sign only; no other cougar or wolf sign present. 50. Broken neck-rift on occipital condyle/cervical vertebrae. 51. Extensive bruising on back of hind quarters, ribs and/or shoulders. 52. Bite marks to spine behind shoulders.

Data entered (initials)
 Into database : _____
 Data in database
 Double checked: _____

Pack: _____ Date: _____ Years: _____ Obs: _____

ANNEXE II.f. Winter Study – Daily Activity Summary

(EXAMPLE DATA ON BACK)

Point/ Route	Time Start	Time End	Activity Type ¹	Sleep (minutes)	Rest (minutes)	Travel (minutes)	Hunt (minutes)	Feed (minutes)	OOS (minutes)	Other ² (minutes)
A										
B										
C										
D										
E										
F										
G										
H										
I										
J										
K										
L										
M										
N										
O										
P										
Q										
R										
S										
T										
U										
V										
W										
X										
Total Behavior times ³										

Total Observation times⁴

Please give a shot verbal summary of the day's events

¹ Record the predominant activity of the group. For each activity, calculate the number of minutes that the group engaged in that activity and enter into the appropriate column.

² Please specify the other activities observed. These can include behaviors such as social interactions, group ceremony, or howling.

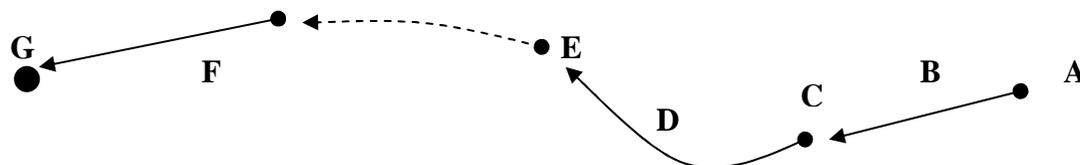
³ Add the number of minutes in each column for each activity type

⁴ Add the number of number of minutes in the Total Behavior Times row.

Winter Study – Daily Activity Summary

Example data:

Point/ Route	Time Start	Time End	Activity Type ¹	Sleep (minutes)	Rest (minutes)	Travel (minutes)	Hunt (minutes)	Feed (minutes)	OOS (minutes)	Other ² (minutes)
A	0645	0648	Rest		4					
B	0649	0651	Hunt				3			
C	0652	1601	Rest		549					
D	1602	1608	Travel			7				
E	1609	1650	OOS						42	
F	1651	1730	Travel			40				
G	1731	1746	OOS						16	
Total Behavior times ³										
Total Observation times ⁴				661	553	47	3		58	



Please give a short verbal summary of the day's events:

Pack first seen resting a Cache Only. Began hunting along the Orbital Ridge. Bedded down again on Hill Obeens. In the afternoon, travelled along the Slippan Falls and lost sight of them behind Peak Abboo. Visuals of them travelling again on Wattsda Point before we lost sight of them for the day.

¹ Record the predominant activity of the group. For each activity, calculate the number of minutes that the group engaged in that activity and enter into the appropriate column.

² Please specify the other activities observed. These can include behaviors such as social interactions, group ceremony, or howling.

³ Add the number of minutes in each column for each activity type

⁴ Add the number of number of minutes in the Total Behavior Times row.

ANNEXE II.g. FIELD MAP



Data entered (initials)
 Into database : _____
 Data in database
 Double checked: _____

ANNEXE II.h. ELK GROUND COUNTS FORM

Count Unit: _____

<u>CLOUD COVER (CC)</u>	<u>PRECIPITATION (PC)</u>	<u>% SNOW COVER</u>	<u>SNOW DEPTH</u>	<u>ACTIVITY</u>	<u>VEG COVER</u>	<u>TOPOGRAPHY</u>
0 = clear	0 = none	0 = none	0 = none	B = bedded	0 = open / none	1 = flat
1 = up to ¼	1 = light / intrm rain	1 = <30%	1 = 1-6in.	S = standing	1 = <30%	2 = rolling
2 = ¼ to ½	2 = constant rain	2 = 31-60%	2 = 7-12in.	M = moving	2 = 31-60%	3 = slope
3 = ½ to ¾	3 = hail	3 = 61-100%	3 = >12in.		3 = 61-100%	
4 = ¾ +	4 = snow				4 = gully	
	5 = t-storm				5 = other	

Date: _____ Year: _____ Observer: _____ Time start / stop (24 hr): _____ / _____

Weather: F _____, CC _____, PC _____, % Snow Cover _____, Snow Depth _____, Crust on Snow? (circle) Y or N

Elk counts: Record the activity and classify for groups of elk seen in the count unit. Don't forget to plot each group on the map with the correct group number and take a UTM at the center of the group.
 If a second data sheet is needed, please change the group numbers so they are continuous (Group 14, 15, 16, etc.)

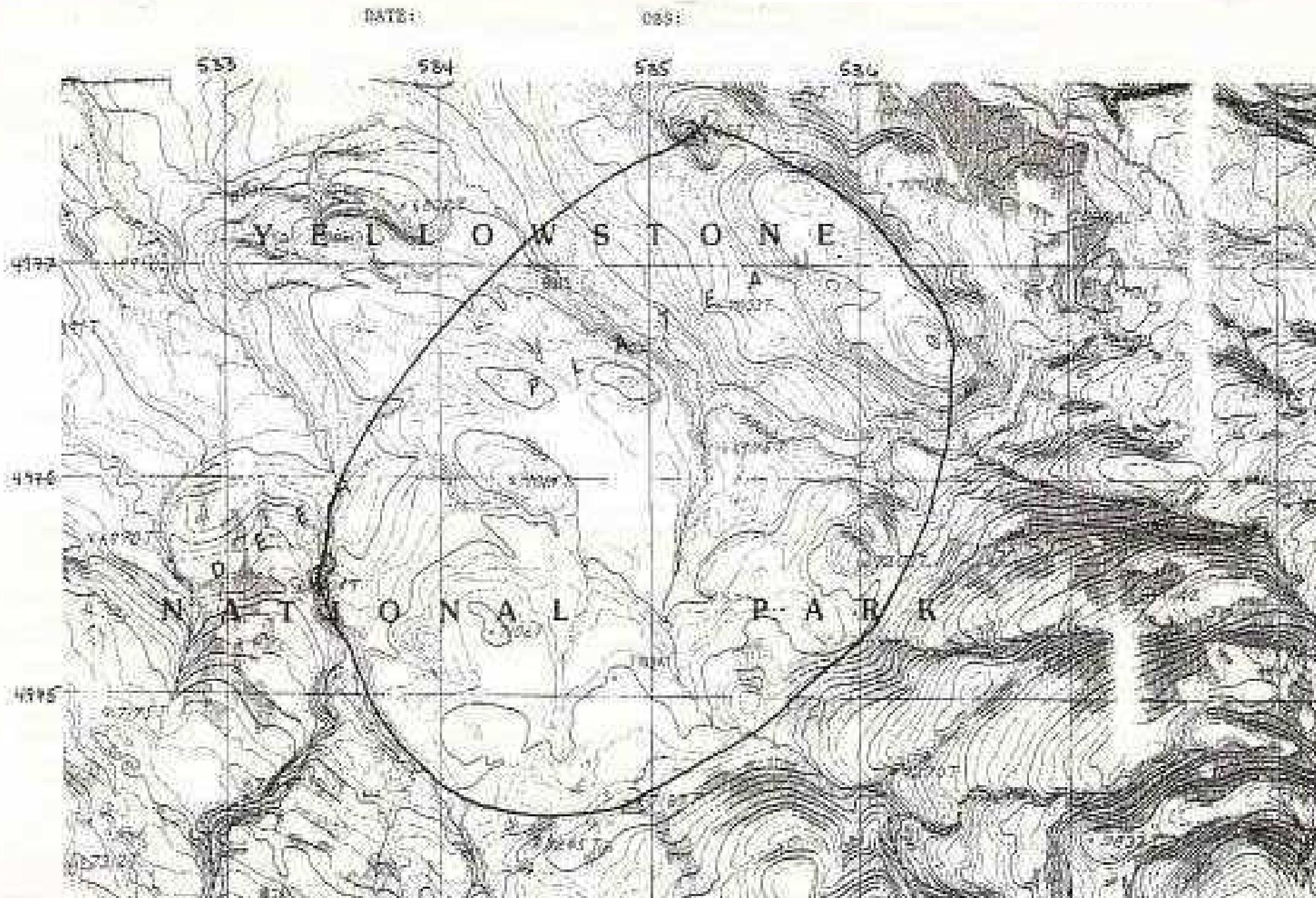
	Activity	Veg Cover	Topography	No. of Cows	No. of Calves	No. of Bulls	No. of Spikes	No. of Unknowns	Total elk Counted	UTM (NAD 27) Easting / Northing
Group 1										
Group 2										
Group 3										
Group 4										
Group 5										
Group 6										
Group 7										
Group 8										
Group 9										
Group 10										
Group 11										
Group 12										
Group 13										
Total counts	_____	_____	_____							_____

Total number of elk counted in this unit: _____

COMMENTS (specify if other ungulates were seen and how many): _____

FOR DATABASE MANAGER USE ONLY	
# of calves/100 cows: _____	# of bulls/100 cows: _____

ANNEXE II.i. South Butte Elk Count Unit



PREY INFO: (Circle all that apply for each category and provide # of each age type when applicable)

Species: _____

Encounter Group Size: ____ or UNKNOWN **Encounter Group Comp.:** __MA __FA __YY __UNK MIXED

Attempt Group Size: ____ or UNKNOWN **Attempt Group Comp.:** __MA __FA __YY __UNK MIXED

Prey Response during: (Applies to portion of group that wolves are engaging with)

Approach: GT SG MG RN ST CH KI TP FS MW EY AH MC OS U*

Watch: GT SG MG RN ST CH KI TP FS MW EY AH MC OS U

Attack: GT SG MG RN ST CH KI TP FS MW EY AH MC OS U

Target: GT SG MG RN ST CH KI TP FS MW EY AH MC OS U

If wolves target, individual prey info: MA FA YY UNK

Capture Attempt: GT SG MG RN ST CH KI TP FS MW EY AH MC OS U

If capture attempt, individual prey info: MA FA YY UNK

If prey initiate encounter:	Prey Behavior:	approach	chase	attack	
	Wolf Response:	travel away	stand ground	attack	reposition

If prey attempt to injure any wolves at any point, what happened to the wolf?

No injury	Kicked	Antlered/Horned	Tripped	Unknown
-----------	--------	-----------------	---------	---------

DID PREDATION ATTEMPT RESULT IN A KILL? Yes No Unknown **MORT #:** _____

COMMENTS: _____

EXAMPLE 1 :

Eight wolves (Alpha male 2M, alpha female 7F, auxiliary adults 220F, 259F, uncollared aux. adult, pup 287M, and 2 uncollared pups) are travelling when first seen in the morning at 064000. 2M initiates an approach of 10 bull elk at 065450. The elk group together and stand their ground. Two pups (287M and uncollared pup) and 2 auxiliary adults (220F and 259F) also participate in the approach. The 5 wolves then start running after the 10 bull elk (Elk separate into groups of 4 and 6 and both sub-groups run). Two wolves (7F and an unknown aged wolf) then join the original 5 wolves at this point in an attack of the group of 6 bulls. 7F initiates a target of a bull that separates from the group and continues to run. 2M and 259F also participate in the target. The wolves end pursuit at 065605 and rally together before travelling away and moving out of sight.

Continue comments on additional pages if necessary. Did you? (circle one): Y N

* GT = Group together, SG = Separate from the group, MG = Move to an already formed group, RN = Run from wolves, ST = Stand ground, do not run from wolves, CH = Charge at wolves, KI = Kick at wolves, TP = Turn in place to counter rear attack, FS = Foot stamp: strike ground with forelimb while standing, MW = Move to water (I.E. lake, river, pond, etc.), EY = Group members encircle wolves, MC = Move to vegetation, OS = Specify other prey response, U = prey response unknown

FORM NUMBER: _____
(Internal use only)

Data entered (initials)
Into database : _____

ANNEXE II.k. YELLOWSTONE WOLF-WOLF INTERACTION FORM

Date: ___/___/___ Time of Encounter (Begin/End): _____/_____ Duration: ___ min ___ sec

RESIDENT PACK INFO:

Pack: _____ # Wolves Present: _____ ID's Present: _____

INTRUDING PACK INFO:

Pack: _____ # Wolves Present: _____ ID's Present: _____

General Location: _____

UTM (at first point of encounter/trespass): Easting _____ Northing _____ (NAD27)

Did interaction occur at (circle): kill (Mort #) _____ - _____ den/rendezvous neutral site (specify): _____

Topography: Flat Rolling Hills Cover: Upland grass Sagebrush Burn
Slope Ravine Wet meadow Conifer River/Creek
Ridge Riparian brush Aspen Lake
Thermal area Unvegetated

Snow Depth (meters): _____ Temperature (F): _____

Interaction Type (circle): Aggressive Non-aggressive Was interaction (circle): Intra-Pack or Inter-Pack

Interaction in territorial overlap (circle) ? Yes No Unknown

Who Initiated Interaction ? Resident(s) Intruder(s) Unknown

If aggressive, RESIDENT behavior : Chase Attack Kill Aproach Flee Stand-Ground Howl Other _____

Resident individuals involved in each behavior (circle all that apply and indicate # of each classification):

AM = Alpha Male AF = Alpha Female

Chase _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Attack _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Kill _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Approach _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Flee _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Stand Ground _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Howl _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Other _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk

WOLF ID's			
AM	AF	A-A	PUP

If aggressive, INTRUDER behavior : Chase Attack Kill Aproach Flee Stand-Ground Howl Other _____

Intruding individuals involved in each behavior (circle all that apply and indicate # of each classification):

AM = Alpha Male AF = Alpha Female

Chase _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Attack _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Kill _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Approach _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Flee _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Stand Ground _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Howl _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk
Other _____> AM AF ___Auxiliary-Adults ___Pup ___Unk

WOLF ID's			
AM	AF	A-A	PUP

ANNEXE III. FOOD FOR THE MASSES – FORM 1

Date _____ Pack Name _____ Location _____ UTM _____/_____ date Detected _____ D.O.D _____ Observers _____

Species Killed _____ Species Age calf/yearling/adult Species Sex m/f Mortality Number _____ Autopsy Number _____ Weather sn/rn/cl/pc/s

Distance from observers to carcass: _____ Distance from carcass to road: _____ Snow depth _____ cm

COVER: (If carcass is moved from present location fill out a new form for At Carcass and Carcass Arena and record time.)

At Carcass: Describe ground cover (snow/ no snow), terrain (trees shrubs, grass etc.), slope (% incline) and % of carcass visible. (If part of carcass is obscured from view, determine a correction factor for species concerned):

Carcass Arena: % visible _____ (% area not obscured by geographic features) Field of View: % visible _____

In the table below, record percent cover by Grass/Snow, Shrub and Trees for the visible areas of Field of View (FOV) and Carcass Arena (Arena). Arena and FOV percentages should each total 100%.

Grass		Snow		Shrub		Trees		Other	
Arena	FOV								

ADDITIONAL INSTRUCTIONS:

At Carcass: To determine a correction factor, keep notes on the # of individuals within a species visible on a carcass compared to the # seen when they are scared off by another animal. For example if you see 2 ravens feeding and then 10 fly away when a coyote approaches, make a note of before and after raven #'s.

Carcass Arena and FOV: to determine % visible for Carcass arena, make your best approximation. For Field of View, draw a circle on a topo map of 500m for FOV. Within this circle, shade in all areas that are obscured by geography (as if viewed from above). % viewable =%unshaded. Use the table above to record areas within the viewable area that are visible vs. not visible due to obstruction from vegetation.

Data sheet: Record observations every 5 minutes “At Carcass” and every 15 minutes in “Carcass Arena” and Field of View”. For each defined area (IE. At Carcass, Carcass Arena,& Field of View) record the number and behaviour code for each animal present under the appropriate species column. For example, if 2 wolves are feeding and 10 ravens are standing within 15 meters of carcass, data would be recorded as 2F under “At carcass – W” and 10G under “Carcass Arena – R”. Use other category for uncommon species.

Defined Areas: “At Carcass” means in a position to eat without moving. “Carcass Arena” means within a 15 m radius, bt not “at carcass”, “Field of View” means 500 meters centered around carcass but not “carcass arena”.

Behavioral Codes: F = feeding; eating/ripping at kill. V = vigilant; standing or squatting, head up and looking around. RA = rest-alert; laying down, head up. RS = rest-sleep; laying down, head down. G = bird on ground. T = travel. P = perched. S = any interspecies interaction. O = Other. For mammals use F,V,RA, RS, T, S, O. For birds use F, P, G, T, S, O.

Stage of Consumption: (1) *Evisceration* = initial opening of body cavity and feeding on organs (freshly killed). (2) *Major Muscle Mass* = organs primarily consumed, feeding on major portion of hindquarters (pelvis and femur), ribs and lower neck. (3) *Minor Muscle Mass* = ribs and pelvis fully exposed, feeding on lower quarters, neck, head and picking remains off bones. Slight disarticulation (4) *Bones/Hide* = less than 1% of soft tissue remains, carcass generally disarticulated, feeding on hide and bones.

Protocol: Carcass should be monitored continuously until stage 3, at which point carcass should be monitored until nightfall, through the night (if possible) and 4 hours from first light the next morning. The carcass should then be monitored 4 hours on, 4 hours off until stage four or until kill is abandoned by all scavengers.

Bird Pecks : Pecking rates of birds should be sampled continuously through the life of a carcass. Pick a bird at random, record the species, position relative to the carcass (top or side), other scavenger species and numbers feeding, and conduct a timed 1 minute focal file counting the # of pecks within that minute.

ANNEXE II.m. WOLF-BEAR INTERACTION FORM

Date: ___/___/_____ Time (Begin / End): ___/___/_____

General Location: _____

UTM: _____ / _____ UTM Method [circle one] NAD 83 NAD 27 Elevation _____ ft

Topography	Flat	Rolling hills	Cover:	Upland grass	Sagebrush	Burn
[circle one]	Slope	Ravine	[circle one]	Wet meadow	Conifer	Creek
	Ridge			Riparian brush	Aspen	Lake
				Thermal area	Unvegetated	

KILL INFORMATION [if applicable]:

Mortality Number: _____ **Kill Type** [circle one]: Definite Wolf Kill Probable Wolf Kill

Definite Bear Kill Probable Bear Kill Unknown Other (specify): _____ No Kill

Species killed: _____

Sex [circle one]: Male / Female / Unknown **Age** [circle one]: Calf Yearling Adult Old Adult Unknown

Distance from road: _____ km

Wolf Pack: _____ **Wolf Id #'s:** _____

DESCRIPTION OF BEAR(S) [CIRCLE EACH THAT APPLY]:

Total # of Bears: _____ **Species:** Grizzly Black Unknown

of Bears – Age & Size* [circle & enter # of bears for each]: COY [10-15lbs] Yearling [51-100]

2 Year-old [101-200] _____ Sub-Adult [101-200] _____ Med Adult [201-400] _____ Lg Adult [400-600+] _____

Social Group: Sow w/ cubs Solitary Adult Sub-Adult 2+ Adults

Color: Blonde Grey/Silver Reddish Brown Light Brown Medium Brown

Dark Brown Black Other [specify]: _____

Tagged/Collared: Yes / No **Color of Tag:** _____ **Hair Sample Collected:** Yes / No

*Black bear weight will be lower than indicated on this form.

SIGNIFICANT SITE CHARACTERISTICS [circle one]:

Kill Wolf Den Wolf rendezvous Other [indicate site]: _____

BEHAVIOR/INTERACTION DATA [circle all that apply]:

Bear Interaction Type:

Bedded Approach Chase Charge Kill Ran Follow Walk Away On Kill Stood Ground

Climb Tree Socialize Defending Young Other [indicate behavior]: _____

Wolf Interaction Type:

Bedded Approach Chase Kill Ran Follow Walk Away On Kill Stood Ground

Nips Socializing Defending Young Other [indicate behavior]: _____

Continued on back

ANNEXE II.n. YELLOWSTONE WOLF- NON-PREY INTERACTION FORM

Non-Prey) coyote, fox, cougar, eagle, raven, magpie, owl

Wolf and (fill in non-prey species) _____ **Kill number** _____ - _____

Date: _____ **Time of day:** _____ **Duration of interaction:** _____ hours _____ min

Over what distance did interaction occur?: _____ (km/m)

Pack Involved in Interaction: _____

Wolf ID's Involved in Interaction: _____

General location: _____

UTM (at first point of encounter) Easting _____ Northing _____ **NAD 27 / 83**

Did interaction occur at (circle one) kill site den site neutral site (specify): _____

Topography	Flat	Rolling hills	Cover:	Upland grass	Sagebrush	Burn
(circle one)	Slope	Ravine	(circle one)	Wet meadow	Conifer	Creek
	Ridge			Riparian brush	Aspen	Lake
				Thermal area	Unvegetated	

Snow Depth (meters): _____ **Temperature** (F): _____

Interaction Type (circle all that apply): Chase Attack Kill Play Howl Other (specify): _____

Who initiated interaction (circle one) ? Wolf Non-Prey Unknown

Wolves Present and/or Involved in Interacted			
Wolves involved in interaction	ID # (s)	Wolves NOT involved in interaction	ID # (s)
# _____ pups		# _____ pups	
# _____ breeding adults		# _____ breeding adults	
# _____ unknown		# _____ unknown	
# _____ non-breeding adults*		# _____ non-breeding adults	
Total Involved _____		Total NOT Involved _____	

* ≥ 12 months of age

Non-Prey Species Present and/or Involved in Interaction		
	Non-prey animals present	Non-prey involved in interaction
Total number of Non-prey		
Sex, age & ID # (if known)		
Social status (if known)		

If wolves attack other animal, what was point of contact: (circle all that apply)

Neck Nose Hind end Unknown Other (write details in comment section) No
 Contact

Repeat attack? (circle one): Yes (Wolves attacked, came back) No N/A (Not Applicable)

Time between attacks _____

Observers (Use 1st initial and entire last name): _____

Data entered (initials)
 Into database : _____
 Data in database
 Double checked: _____

ANNEXE II.o. WOLF LEADERSHIP GROUND FORM

PACK _____

OBS (Use 1st initial and entire last name) _____

*Leadership Bout is defined as a period of time that one wolf leads

If you know who is **First in Line, then mark either "alpha" or "non-alpha" and record identity number

***Activity of Pack: T = Travel, CH = Chase, K = Kill

RECORD ADDITIONAL COMMENTS ON BACK

Date Winter Study Y / N	*Leadership Bout		Single File (Y/N)	**First in Line				Alpha Place in Line		***Activity of Pack			Group Size	Snow Conditions		1 st in Line Initiate? (Yes, No, Unknown)	Non-Frontal Leadership Obs in Bout? (Yes, No, Unknown)
	Begin Time	End Time		alpha	non-alpha	Breeder?	Wolf ID (include Sex)	M	F	T	CH	K		Snow Depth ¹	Crust ² (Y/N)		
11/15/2000	7 : 45	7 : 55	y	X		yes	002M	1	3		X		8			yes	no

¹ Record depth of snow on wolf (chest, elbow, ankle) or 0 for no snow
OR
² Crusted is defined by wolf travelling on **top of snow**, usually without breaking through

LE SUIVI DES LOUPS (*Canis lupus*) PAR TÉLÉMÉTRIE : L'EXEMPLE DU SUIVI HIVERNAL DES LOUPS DU PARC NATIONAL DU YELLOWSTONE (ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE).

BOURGEOIS Aude

Résumé

La télémétrie est une technique qui permet d'obtenir des informations sur un animal par le biais d'ondes radio. De part le monde, elle est fréquemment utilisée pour le suivi des loups (*Canis lupus*). Trois techniques de télémétrie existent : le suivi VHF (*Very High Frequency*), le suivi par satellite et le pistage par GPS (*Global Positioning System*). Ces systèmes possèdent leurs avantages et leurs inconvénients (coût, précision, options disponibles..) et sont utilisés soit seuls soit en complément d'autres techniques pour répondre à une variété de questions scientifiques sur la biologie des loups. La télémétrie est notamment utilisée dans le Parc National du Yellowstone aux Etats-Unis d'Amérique, lors du suivi hivernal des loups. Il s'agit d'une période de trente jours, réalisée deux fois chaque hiver, au cours de laquelle trois meutes de loups sont suivies afin de connaître les paramètres de la dynamique de leur population, la sélection des proies et le taux de prédation. Ce suivi est réalisé depuis 1995, selon un protocole rigoureux, ayant déjà fourni de nombreux résultats.

Mots clés

TELEMETRIE, RADIOPISTAGE, VHF, GPS, SATELLITE, DYNAMIQUE DES POPULATIONS, PREDATION, FAUNE SAUVAGE, LOUP, *Canis lupus*, YELLOWSTONE (ETAT-UNIS D'AMÉRIQUE)

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Dr. P. Arné

Assesseur : Dr. A. Fontbonne

Adresse de l'auteur :

M^{elle} BOURGEOIS Aude
12, avenue Paul Appell
75014 Paris
FRANCE

RADIO-TRACKING WOLVES (*Canis lupus*): THE EXAMPLE OF THE WOLVES' WINTER STUDY IN THE YELLOWSTONE NATIONAL PARK (UNITED STATES OF AMERICA).

BOURGEOIS Aude

Summary

Telemetry is a technique which allows us to obtain information about an animal through the use of radio signals. In the world, it is frequently used to study wolves (*Canis lupus*). Three techniques exist: VHF (Very High Frequency) tracking, satellite tracking and GPS (Global Positioning System) tracking. These technologies have their advantages and disadvantages (cost, accuracy, options available...), and are used either alone or to supplement other techniques to meet a variety of scientific questions on the biology of wolves. Telemetry is particularly used in Yellowstone National Park in the United States of America, during the winter study of wolves. Three wolf packs are intensively monitored for 30-day periods twice each winter, to determine population dynamics parameters, kill rate and prey selection. Since 1995, these studies, according to a strict protocol, have already produced numerous results.

Keywords

TELEMETRY, RADIO-TRACKING, VHF, GPS, SATELLITE, POPULATION DYNAMICS, PREDATION, WILDLIFE, WOLF, *Canis lupus*, YELLOWSTONE (UNITED STATES OF AMERICA)

Jury:

President : Pr.

Director : Dr. A. Arné

Assessor : Dr. F. Fontbonne

Author's address:

M^{elle} BOURGEOIS Aude
12, avenue Paul Appell
75014 Paris
FRANCE