

**VETAGRO SUP  
CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON**

Année 2017 - Thèse n°094

***ESTIMATION DE L'ABONDANCE DES FELINS  
APPLICATION AUX PANTHÈRES DES NEIGES***

**THESE**

Présentée à l'UNIVERSITÉ CLAUDE-BERNARD - LYON I  
(Médecine - Pharmacie)  
et soutenue publiquement le 7 décembre 2017  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

*Marianne BOURLAT*  
Née le 2 mars 1991  
à Châtenay-Malabry (92)





**VETAGRO SUP  
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2017 - Thèse n°094

***ESTIMATION DE L'ABONDANCE DES FELINS  
APPLICATION AUX PANTHERES DES NEIGES***

**THESE**

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I  
(Médecine - Pharmacie)  
et soutenue publiquement le 7 décembre 2017  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

*Marianne BOURLAT*  
Née le 2 mars 1991  
à Châtenay-Malabry (92)





**Liste de Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon** MAJ: 13/04/2017

Civilité	Nom	Prénom	Département	Grade
Mme	ABITBOL	Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
Mme	ARCANGIOLI	Marie-Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	ARTOIS	Marc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
Mme	AYRAL	Florence	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Stagiaire
Mme	BECKER	Claire	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
Mme	BELLUCO	Sara	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
Mme	BENAMOU-SMITH	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	BENOIT	Etienne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
M.	BERNY	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
Mme	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
Mme	BOULOCHER	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	BOURDOISEAU	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
M.	BOURGOIN	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	BRUYERE	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	BUFF	Samuel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	BURONFOSSE	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
M.	CACHON	Thibaut	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	CADORÉ	Jean-Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	CAROZZO	Claude	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	CHABANNE	Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	CHALVET-MONFRAY	Karine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
Mme	DE BOYER DES ROCHES	Alice	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
Mme	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
M.	DEMONT	Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
Mme	DJELOUADJI	Zorée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
Mme	ESCRIOU	Catherine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	FAU	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	FOURNEL	Corinne	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
M.	FREYBURGER	Ludovic	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	FRIKHA	Mohamed-Ridha	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
Mme	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
M.	GONTHIER	Alain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	GRANCHER	Denis	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
Mme	GREZEL	Delphine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	GUERIN	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
Mme	HUGONNARD	Marine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	JANKOWIAK	Bernard	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
M.	JAUSSAUD	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
Mme	JOSSON-SCHRAMME	Anne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Contractuel
M.	JUNOT	Stéphane	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	KODJO	Angeli	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
Mme	KRAFFT	Emilie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
Mme	LAABERKI	Maria-Halima	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
Mme	LAMBERT	Véronique	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
Mme	LATTARD	Virginie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
Mme	LE GRAND	Dominique	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
Mme	LEBLOND	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	LEDoux	Dorothee	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
M.	LEFEBVRE	Sébastien	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Stagiaire
Mme	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	LEPAGE	Olivier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	LOUZIER	Vanessa	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	MARCHAL	Thierry	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
M.	MOUNIER	Luc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
M.	PEPIN	Michel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
M.	PIN	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	PONCE	Frédérique	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	PORTIER	Karine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	POUZOT-NEVORET	Céline	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
Mme	PROUILLAC	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
Mme	REMY	Denise	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	RENE MARTELLET	Magalie	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	ROGER	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
M.	SABATIER	Philippe	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
M.	SAWAYA	Serge	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	SCHRAMME	Michael	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	SERGENTET	Delphine	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	THIEBAULT	Jean-Jacques	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	TORTEREAU	Antonin	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	VIGUIER	Eric	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
M.	ZENNER	Lionel	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur



## Remerciements

**A Monsieur le Professeur Philippe VANHEMS**

De la faculté de médecine de Lyon,  
Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,  
Mes hommages respectueux.

**A Madame la Professeur Emmanuelle GILOT-FROMONT**

De VetAgro Sup, campus vétérinaire de Lyon,  
Qui nous a fait l'honneur d'encadrer et de corriger ce travail,  
Un grand merci pour votre disponibilité, vos conseils et votre soutien.

**A Monsieur le Professeur Philippe BERNY**

De VetAgro Sup, campus vétérinaire de Lyon,  
Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse,  
Mes sincères remerciements.





**A ma sœur, à mes parents**

A votre soutien et votre amour inconditionnels qui m'ont aidé à grandir, rêver, devenir et ont fait de ma vie vingt-six années de bonheur et de réussite.

Je vous dois tout, merci du fond du cœur.

**A mes amis**

Aux amis de toujours, aux jolies rencontres, aux coups de cœur amicaux, aux petits moments inoubliables partagés avec chacun de vous.

Merci d'avoir rendu mon enfance et mes études plus douces et plus drôles.

**A l'équipe d'OSI Panthera et aux gardes de la réserve Sarychat Ertash**

A cette belle expédition, à la découverte, au partage. Je suis revenue de ce voyage des étoiles plein les yeux et des projets plein le cœur et j'espère continuer cette aventure à vos côtés par la suite.

**A la vie**

Qui mérite plus d'attention, plus d'amour et plus de panthères des neiges.



## TABLE DES MATIERES

TABLE DES ANNEXES.....	13
TABLE DES FIGURES.....	15
TABLE DES TABLEAUX.....	15
LISTE DES ABREVIATIONS.....	19
INTRODUCTION.....	21
PARTIE I : ESTIMATION DE L'ABONDANCE DES FELINS.....	23
I) Difficultés et enjeux de l'étude des félins.....	23
A) Caractéristiques des félins rendant leur étude en milieu naturel difficile.....	23
1) Phylogénie.....	23
2) Caractéristiques morphologiques.....	23
3) Mode de vie.....	24
4) Aire de répartition et habitat.....	25
B) Statut de conservation des félins.....	26
1) Classification du risque d'extinction des félins.....	26
2) Menaces et causes de la disparition des félins.....	27
a) Perte du territoire.....	27
b) Chasse, braconnage, commerce illégal.....	28
c) Conflits humains, persécutions.....	29
d) Autres causes d'origine humaine.....	30
C) Intérêt de la connaissance de ces espèces pour leur protection.....	30
1) Enjeu de la conservation des félins.....	30
2) Des études nécessaires mais difficiles.....	32
3) Mesures de protection.....	32
II) Principes de l'estimation de l'abondance.....	34
A) Définition des paramètres démographiques à évaluer.....	34
1) Effectif d'une population.....	34
2) Abondance.....	34
3) Densité de population.....	34
B) Méthodes classiques d'évaluation de l'abondance.....	35
1) Dénombrement total.....	35
2) Dénombrement par échantillonnage.....	35
3) Capture-Marquage-Recapture.....	37
C) Application aux félins.....	38
III) Méthodes d'estimation de l'abondance des félins.....	38
A) Les indices de présence.....	38
1) Principe de la recherche d'indices de présence.....	38
a) Historique.....	38
b) Méthode de terrain.....	39

c)	Indices de présence .....	40
2)	Estimation de l'abondance à partir des indices de présence .....	40
a)	Estimation de l'abondance relative à partir des empreintes .....	40
b)	Estimation de l'abondance réelle à partir des empreintes .....	41
3)	Intérêts et limites de la méthode des indices de présence .....	44
a)	Intérêts .....	44
b)	Limites .....	45
B)	Les pièges photographiques .....	45
1)	Principe d'utilisation, choix du matériel et pose des pièges photographiques .....	45
a)	Historique .....	45
b)	Modèles de pièges et fonctionnement .....	46
c)	Choix du modèle .....	46
d)	Choix du nombre de pièges .....	47
e)	Installation des pièges .....	47
2)	Estimation de l'abondance à partir des pièges photographiques .....	49
a)	Identification des individus sur les photographies obtenues .....	49
b)	Conditions nécessaires à l'estimation de l'abondance .....	51
c)	Principe de l'estimation de l'abondance .....	52
d)	Estimation de l'abondance .....	53
e)	Estimation de la densité de population .....	53
3)	Limites d'une méthode se voulant non invasive .....	54
4)	Perspectives d'avenir pour la recherche par pièges photographiques .....	55
C)	Les analyses génétiques .....	56
1)	Récolte des échantillons sur le terrain .....	56
a)	Reconnaissance des fèces de félins .....	56
b)	Conservation des prélèvements .....	56
2)	Identification de l'espèce puis des individus à partir des prélèvements .....	57
a)	Extraction de l'ADN .....	57
b)	Identifier l'espèce .....	58
c)	Identifier les individus .....	59
3)	Intérêts et limites de la méthode .....	60
a)	Intérêts .....	60
b)	Limites .....	60
i.	Prélèvements de terrain .....	60
ii.	Quantité et qualité de l'ADN .....	60
4)	Perspectives d'avenir pour les analyses génétiques .....	61
<b>PARTIE II : APPLICATION AUX PANTHERES DES NEIGES DANS LA RESERVE DE SARYCHAT</b>		
<b>ERTASH AU KIRGHIZISTAN .....</b>		
<b>63</b>		
I)	Contexte et enjeux de l'étude des panthères des neiges .....	63
A)	Aire de répartition .....	63
B)	Habitat type et domaine vital .....	64
C)	Caractéristiques morphologiques .....	65
1)	Pelage .....	65

2)	Tête.....	65
3)	Membres.....	65
4)	Queue.....	66
D)	Comportement social, reproduction.....	66
E)	Régime alimentaire.....	67
1)	Proies sauvages.....	67
2)	Proies domestiques.....	68
3)	Végétaux.....	69
F)	Enjeux de la recherche sur les panthères des neiges.....	69
1)	Conflits entre humains et panthères des neiges.....	69
2)	Braconnage.....	70
3)	Changement climatique.....	70
4)	Mortalité due aux accidents et maladies infectieuses.....	70
5)	Menaces émergentes.....	71
6)	Protection des panthères des neiges.....	71
II)	Matériel et méthode.....	72
A)	Programme OSI Panthera.....	72
B)	Déroulement d'une expédition.....	72
C)	Objectifs du suivi de la population de léopards des neiges.....	73
D)	Méthode d'échantillonnage, principe des transects.....	74
E)	Relevés des indices de présence.....	77
1)	Méthodologie.....	77
2)	Identification des empreintes.....	77
3)	Relevé des grattages.....	78
4)	Identification des fèces.....	79
F)	Pose et relevé des pièges photographiques.....	80
III)	Résultats.....	81
A)	Effort d'observation dans la réserve de Sarychat-Ertash.....	81
B)	Observations directes.....	82
C)	Transects effectués.....	82
D)	Indices de présence relevés.....	85
1)	Indices de présence relevés par transect.....	85
2)	Indices de présence relevés par zone de la réserve.....	87
3)	Indices de présence relevés par année.....	89
E)	Images obtenues à partir des pièges photographiques.....	91
1)	Utilisation des images comme indices de présence.....	92
2)	Identification individuelle des panthères des neiges.....	92
3)	Autres informations apportées par les photographies.....	95
4)	Non fonctionnement des pièges photographiques.....	97
F)	Analyses génétiques sur fèces.....	98
IV)	Discussion.....	103
A)	Zones étudiées et transects.....	103

B) Indices de présence .....	104
C) Pièges photographiques.....	106
D) Analyses génétiques.....	107
E) Estimation de l'abondance .....	108
F) Limites des expéditions participatives .....	109
G) Objectifs et perspectives d'avenir pour OSI Panthera.....	109
BIBLIOGRAPHIE.....	113
ANNEXES .....	117

## TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : classification de la famille des Félidaes.....	117
Annexe 2 : carte du monde des félins.....	123
Annexe 3 : définition des statuts de conservation.....	125
Annexe 4 : résumé des cinq critères (A-E) utilisés pour évaluer l'appartenance d'un taxon à l'une des catégories du groupe Menacé de la liste rouge de l'UICN (En danger critique, En danger, ou Vulnérable).....	127
Annexe 5 : statut de conservation des félins.....	129
Annexe 6 : Capture-Marquage-Recapture modèle de Jolly-Seber .....	131





## TABLE DES FIGURES

Figure 1: structure des catégories	26
Figure 2 : relation entre densité estimée en léopards (nombre d'individus par 100km <sup>2</sup> ) dans quatre sites indépendants de la zone étudiée (cercles blancs), et densité en traces (nombre de traces sur 100km)	41
Figure 3 : mesures linéaires et angulaires décrivant l'empreinte d'un puma	42
Figure 4 : une empreinte de puma montrant 40 repères générés par le logiciel FIT (Footprint Identification Technique) à partir desquels les mesures sont réalisées	43
Figure 5 : choix des lieux d'installation des pièges photographiques dans des sites particulièrement fréquentés par des jaguars équipés de colliers GPS	48
Figure 6 : six ocelots photographiés par pièges photographiques et identifiés grâce à des marques distinctives	50
Figure 7 : identification de deux pumas à partir de caractéristiques évidentes	51
Figure 8 : disposition des pièges photographiques en 2003 • et 2004 dans une étude sur le jaguar au Brésil	54
Figure 9 : : un ocelot déféquant dans des latrines, dans la cavité créée par le tronc d'un arbre, sur l'île de Barro Colorado au Panama	56
Figure 10 : alignement de séquences de quelques espèces de carnivores et de proies	58
Figure 11 : identification de panthères des neiges par PCR	59
Figure 12 : aire de répartition des panthères des neiges et probabilités de présence	63
Figure 13 : éléments d'adaptations morphologiques des panthères des neiges	66
Figure 14 : Ibex ( <i>Capra sibirica</i> ) à gauche, argali ( <i>Ovis ammon</i> ) à droite	68
Figure 15 : carte du Kirghizistan, limites de la réserve Sarychat-Ertash en vert	73
Figure 16 : limites de la réserve de Sarychat-Ertash en vert, traversée par l'Ertash en bleu	75
Figure 17 : vallée de l'Ertash au cœur de la réserve Sarychat-Ertash	75
Figure 18 : noms des zones étudiées dans lesquelles des transects sont réalisés	76
Figure 19 : empreinte de panthère des neiges d'aspect ancien (à gauche), empreinte de loup d'aspect très frais (à droite) à Sarychat-Ertash	78
Figure 20 : grattage d'une panthère des neiges de 28cm de long d'aspect ancien à Sarychat-Ertash.	78
Figure 21 : fèces de panthère des neiges d'aspect ancien contenant des tiges de <i>Myricaria germanica</i> (à gauche), tiges non digérées de <i>Myricaria germanica</i> dans des fèces de panthère des neiges (à droite), à Sarychat-Ertash	79
Figure 22 : fèces de loup calcifiées d'aspect très ancien (à gauche), fèces d'ours brun de l'Himalaya d'aspect ancien mesurant 15 cm (à droite), à Sarychat-Ertash.	79
Figure 23 : pose d'un piège photographique devant un bloc rocheux isolé à Sarychat-Ertash	81
Figure 24 : installation d'un piège photographique par une équipe OSI Panthera dans un vallon étroit à Sarychat-Ertash	81
Figure 25 : jeune panthère des neiges âgée de deux ou trois mois, observée à Ekibaytal en août 2014	82
Figure 26 : transects réalisés entre 2009 et 2012	83
Figure 27 : transects réalisés entre 2009 et 2012 sur les zones de Sirdibai et Solomo.	83
Figure 28 : : transects réalisés entre 2009 et 2012 sur les zones Birbaytal, Ekibaytal, Uchbaytal, Djamansou et Sarychky	84
Figure 29 : transects réalisés entre 2009 et 2012 sur la zone de Gueulu	84
Figure 30 : zones de la réserve en fonction du nombre total d'indices relevés en fonction de l'effort d'échantillonnage entre 2009 et 2015	88
Figure 31 : nombre d'indices de présence en fonction de l'effort d'échantillonnage entre 2009 et 2015	90
Figure 32 : nombre d'indices de présence en fonction de l'effort d'échantillonnage par année et par zone entre 2009 et 2015.	91
Figure 33 : nombre de pièges posés entre 2009 et 2015	92
Figure 34 : photographies d'une même panthère des neiges photographiée en novembre et décembre 2014	94
Figure 35 : photographie de deux individus non identifiables	95
Figure 36 : séquence de photographies prises à quelques secondes d'intervalle d'une panthère des neiges réalisant un grattage de ses postérieurs	96
Figure 37 : séquence de photographies prises à quelques secondes d'intervalle d'une panthère des neiges réalisant un marquage urinaire	97
Figure 38 : nombre et aspect des échantillons de fèces récoltées entre 2009 et 2015	98
Figure 39 : placement des individus dans les zones où les prélèvements de fèces ont été effectués.	102



## TABLE DES TABLEAUX

<i>Tableau I : mesures des empreintes de plusieurs félins dans le ranch Shayamanzi en Afrique du Sud</i>	43
<i>Tableau II : estimation du nombre d'individus ayant produit les empreintes décrites dans le tableau I</i>	44
<i>Tableau III : concentration en ADN dans des échantillons de fèces âgés de 1 à 9 jours exposés à la lumière directe du jour, mesurée par PCR quantitative</i>	57
<i>Tableau IV : ensemble des transects effectués chaque année et nombre d'indices de présence relevés sur chaque transect pondéré par l'effort d'échantillonnage</i>	85
<i>Tableau V : récapitulatif du nombre d'indices de présence trouvés par type d'indice, du nombre total d'indices de présence et du nombre de transects effectués par zone de la réserve</i>	88
<i>Tableau VI : nombre total d'indices trouvés chaque année, pondéré par l'effort d'échantillonnage</i>	90
<i>Tableau VII : nombre d'échantillons transmis au laboratoire chaque année puis gardés à chaque étape de l'analyse génétique entre 2011 et 2014</i>	99
<i>Tableau VIII : identification des panthères des neiges à partir de 7 marqueurs microsatellites</i>	99



## LISTE DES ABREVIATIONS

ADN : Acide DésoxyriboNucléique.

CITES : Convention on International Trade of Endangered Species

CMR : Capture Marquage Recapture

FIT : Footprint Identification Technique

GSLEP : Global Snow Leopard and Ecosystem Protection Program

ITIS : Integrated Taxonomic Information System

MMDM : Mean Maximum Distance Moved

OSI : Objectif Sciences International

PCR : Polymerase Chain Reaction

SLCU : Snow Leopard Conservation Unit

TCL : Tiger Conservation Landscape

TCU : Tiger Conservation Unit

IUCN : International Union for Conservation of Nature

WWF : World Wide Fund for Nature



## INTRODUCTION

La biodiversité est entrée dans la sixième extinction de masse se traduisant par un taux d'extinction des espèces très supérieur au « bruit de fond » correspondant au taux d'extinction entre les cinq périodes d'extinction de masse précédentes (Ceballos et al. 2015). Plus de 70% des espèces de mammifères sont concernées et les félins ne sont pas épargnés.

Il existe trente-sept espèces de félins dont certaines sont classées « en danger critique d'extinction » par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) (IUCN 2017). Or malgré ce statut alarmant, un nombre restreint d'études assurant le suivi de ces espèces ont été publiées.

L'estimation de l'abondance, la répartition géographique, les besoins d'une espèce sont pourtant des paramètres fondamentaux à connaître avant de déterminer des mesures ciblées de protection.

La panthère des neiges (*Uncia uncia*) est un exemple de félin très peu étudié et dont le statut « vulnérable » a été déterminé à la suite d'un regroupement de données obtenues par des études à très petite échelle dans des petites zones de l'aire de répartition et extrapolées à de plus grandes régions (IUCN 2016d).

Ce travail s'inscrit dans ce contexte de nécessité de regrouper les connaissances que nous avons sur les espèces de félins qu'il est urgent de mieux connaître et de protéger.

La première partie de ce travail présente les félins et les caractéristiques qui les rendent si difficiles à étudier, les enjeux de leur conservation ainsi que trois méthodes d'étude et de suivi (indices de présence, piégeage photographique et analyses génétiques) aidant à l'obtention des informations nécessaires à la mise en place de plans de conservation.

La seconde partie présente l'étude des panthères des neiges dans la réserve de Sarychat Ertash au Kirghizistan. Cette étude consiste en la collecte et l'analyse des données provenant de relevés d'indices de présence, de piégeage photographique et des fèces récoltées sur le terrain par le programme de recherche participative OSI Panthera, entre 2009 et 2015.





# PARTIE I : ESTIMATION DE L'ABONDANCE DES FELINS

## I) Difficultés et enjeux de l'étude des félins

### A) Caractéristiques des félins rendant leur étude en milieu naturel difficile

#### 1) Phylogénie

La famille des Felidae comporte deux sous-familles, les Pantherinae ou grands félins et les Felinae ou petits félins, quatorze genres et quarante-deux espèces divisées en deux cents six sous-espèces (« ITIS Standard Report Page: Felidae » s. d.). La classification complète est présentée en annexe I.

Les Pantherinae comporte sept espèces faisant toutes parties des espèces les plus emblématiques de la biodiversité d'un point de vue écologique, culturel et économique. Ce sont le lion (*Panthera leo*), le tigre (*Panthera tigris*), le léopard (*Panthera pardus*), les panthères nébuleuses (*Neofelis nebulosa* et *Neofelis diardi*), le jaguar (*Panthera onca*) et le léopard des neiges (*Uncia uncia*).

Parmi les Felidae, on trouve également des genres incluant des félins populaires tels que le guépard (*Acinonyx jubatus*), le lynx boréal (*Lynx lynx*) et le puma (*Puma concolor*) mais surtout un grand nombre d'espèces de petits félins et de chats sauvages tels que l'ocelot (*Leopardus pardalis*), le chat viverrin (*Prionailurus viverrinus*), le chat des marais (*Felis chaus*) ou encore le chat des sables (*Felis margarita*) (« ITIS Standard Report Page: Felidae » s. d.).

Le seul félin domestique, le chat domestique (*Felis catus*), fait également partie des Felidae. Dans la suite de ce manuscrit, le terme « félins » sera employé pour désigner les espèces de félins sauvages et nous n'évoquerons plus le chat domestique.

Bien que chaque espèce possède ses particularités, des caractéristiques morphologiques, biologiques et environnementales communes à tous les félins rendent leur observation directe et leur étude de façon plus générale difficiles.

#### 2) Caractéristiques morphologiques

Le groupe des félins est très homogène morphologiquement.

Ce sont des carnivores stricts et leur technique de chasse implique une approche lente et silencieuse de la proie suivie d'une course rapide et brève avant la mise à mort par morsure (Sunquist et Sunquist 2014). Ce sont donc des prédateurs dont les caractéristiques morphologiques permettent d'être discrets, indétectables dans leur environnement, souples et rapides.

Ils présentent :

- un corps allongé, souple et musclé
- une tête arrondie, due à une mâchoire plus courte que celle des autres carnivores permettant des mouvements verticaux puissants
- une longue queue sauf chez les lynx
- des membres thoraciques très souples grâce à une clavicule « flottante », reliée au sternum par un unique ligament
- des membres pelviens plus longs que les membres thoraciques
- des griffes rétractibles sauf chez le guépard, le chat viverrin et le chat à tête plate (*Prionailurus planiceps*) (Hunter 2015)

La diversité dans le groupe vient surtout de la taille. Le tigre de Sibérie (*Panthera tigris altaica*) est le félin le plus grand du monde pouvant mesurer jusqu'à un mètre de hauteur et 3,7 mètres de long, queue comprise, pour un poids allant jusqu'à 350kg. En comparaison le record du plus petit félin est détenu par le chat rubigineux (*Prionailurus rubiginosus*) pesant en moyenne 1,5kg à l'âge adulte (Hunter 2015).

Le pelage de chaque espèce de félin est en lien avec son environnement, son mode de vie et de chasse (Hunter 2015). Les félins au pelage fauve uni sont peu nombreux et évoluent en milieu découvert, montagneux pour le puma et les lynx, désertique pour le chat des sables, en savane pour le lion et le caracal (*Caracal caracal*). Le jaguarondi (*Puma yagouaroundi*) est l'exception car il présente un pelage roux à brun uni et vit en milieu forestier. Le pelage des autres félins présente des motifs appelés rosettes. Plus l'animal évolue en milieu forestier dense, plus ces motifs sont complexes, denses et irréguliers se confondant avec les ombres imprécises créées par les rayons lumineux passant entre les feuilles (L et Mckenna s. d.). Les exemples caractéristiques sont les félins vivants dans les forêts tropicales d'Amérique du sud tels que le jaguar et l'ocelot. Les chasseurs nocturnes ont un pelage plus sombre que les diurnes. Les félins africains ont un pelage aux motifs plus espacés et plus réguliers adaptés à leur environnement mixte contenant savane, plaines, prairies et arbres tels que le léopard, le guépard ou encore le serval (*Leptailurus serval*). Enfin le tigre présente un pelage orangé et des rayures se confondant avec les hautes herbes verticales.

En plus de leur discrétion et de leur camouflage, les félins possèdent des sens de la vision, de l'ouïe et de l'odorat bien plus développés que les nôtres (L et Mckenna s. d.) ce qui leur laisse peu de chance de les surprendre.

### 3) Mode de vie

Deux particularités biologiques des félins les rendant difficiles à observer sont à noter.

D'une part, les félins sont des animaux presque exclusivement solitaires, exception faite du lion qui forme des groupes sociaux (Hunter 2015). Ils ne se rencontrent que pendant la saison de reproduction. Les mâles peuvent parfois former une coalition de frères dans les premiers mois de leur vie adulte comme c'est le cas chez le guépard mais c'est rare (Sunquist et Sunquist 2014). Les femelles sont accompagnées des jeunes jusqu'à ce qu'ils soient capables de chasser pour eux-mêmes, vers un an à un an et demi. Les petits restent souvent cachés dans une tanière, un tronc creux ou un relief rocheux au cours des premiers mois (L et Mckenna s. d.).

D'autre part, les félins sont crépusculaires ou nocturnes. Ils chassent peu le jour, préférant s'abriter et dormir (Sunquist et Sunquist 2014). Le seul félin chassant régulièrement de jour est le guépard, ce serait une technique d'évitement des léopards et des lions qui ont tendance à lui voler ses proies (L et Mckenna s. d.).

#### 4) Aire de répartition et habitat

Les félins sauvages sont présents sur quatre continents, ils ne sont pas présents en Océanie et en Antarctique. Sur les autres continents on les trouve dans tous les pays sauf au Japon, à Madagascar et dans les régions polaires (Macdonald et Loveridge 2010). Les félins occupent tous les types d'habitat sauf la toundra (L et Mckenna s. d.).

L'aire de répartition de chaque espèce varie beaucoup en taille, certaines espèces étant endémique d'une seule île et d'autres étant étendue sur plusieurs pays voire plusieurs continents. L'annexe 2 présente les espèces de félins que l'on trouve sur chaque continent.

Le léopard est le félin ayant la plus grande aire de répartition. Elle comprend toute l'Afrique sub-saharienne, la péninsule arabique et l'Asie, dont la chaîne de l'Himalaya, l'Inde, la Chine et les îles de Java et du Sri Lanka (IUCN 2015a). On peut expliquer cette très grande aire de répartition par sa faculté à habiter tous types de milieux, de la forêt tropicale au désert en passant par les zones marécageuses, les grandes plaines et la savane. On le trouve à des altitudes allant du niveau de la mer à 4600 mètres d'altitude au Kenya (IUCN 2015a). On peut également citer l'ocelot, largement présent du nord de l'Argentine ou sud des Etats-Unis et qui s'est également adapté à plusieurs milieux tels que les mangroves, les marécages, les plaines d'herbe, et la forêt tropicale plus ou moins dense (IUCN 2014e). A l'inverse, le chat des Andes (*Leopardus jacobitus*) est un exemple de félin ne vivant que dans un type d'habitat particulier, ici les paysages rocheux, secs et froids de la cordillère des Andes (IUCN 2014c).

Cependant on peut noter que l'aire de répartition des félins est en constante diminution, et que toutes les espèces sont touchées. Pour ne donner que quelques exemples connus, le tigre occupe aujourd'hui moins de 6% de son aire de répartition d'origine avec un déclin de 42% ces dix dernières années en raison de la transformation de son habitat en exploitations agricoles et industrielles (IUCN 2014d). Il a disparu d'Asie centrale et de deux îles indonésiennes (Java et Bali). Le léopard aurait disparu d'au moins 36% de son aire de répartition d'origine en Afrique (IUCN 2015a). Les lions d'Afrique se sont éteints dans 26 pays et seuls 7 pays (le Botswana, l'Ethiopie, le Kenya, l'Afrique du Sud, la Tanzanie, la Zambie et le Zimbabwe) en compteraient encore plus d'un millier (IUCN 2014j).

Les études des félins dans leur environnement sont extrêmement limitées par ces aires de répartition parfois très grandes et les habitats dans lesquels ils vivent. Du cœur de la forêt amazonienne aux crêtes de l'Himalaya en passant par les déserts, leurs milieux de vie sont souvent hostiles et inaccessibles aux équipes de recherche.

Lorsque l'aire de répartition est grande ou que l'accès à l'habitat est difficile, les études se concentrent sur des petites zones souvent de la taille d'un parc national ou d'une réserve naturelle et les données obtenues sur ces petites zones sont ensuite extrapolées à de plus grandes régions ce qui mène à de grandes imprécisions (« Overview of The IUCN Red List » s. d.).

## B) Statut de conservation des félins

### 1) Classification du risque d'extinction des félins

D'après l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), dix-huit espèces de félins sont menacées d'extinction. Une espèce est dite menacée si elle est classée dans une des catégories « vulnérable », « en danger » ou « en danger critique » d'extinction (« Overview of The IUCN Red List » s. d.). La définition de chaque catégorie est présentée en annexe 3.

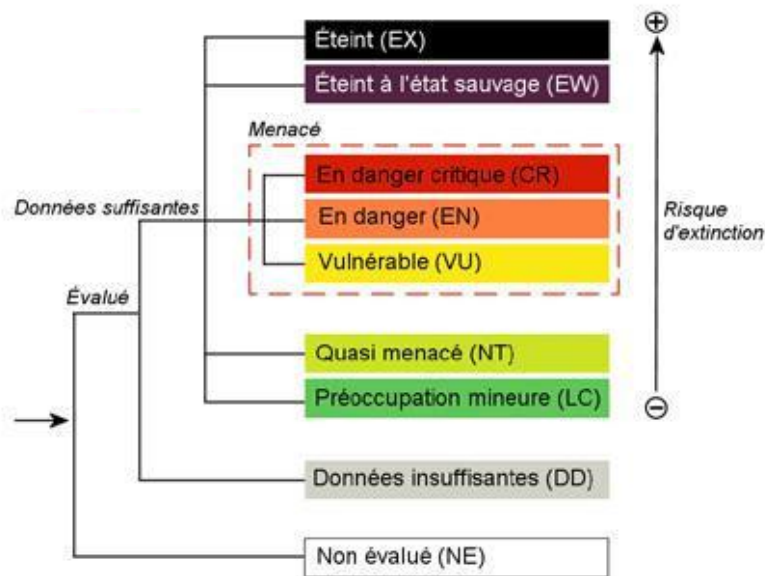


Figure 1: structure des catégories. D'après l'UICN.

Les critères utilisés pour définir le statut de conservation de chaque espèce sont des critères quantitatifs choisis en fonction des facteurs de risque d'extinction et des cycles biologiques des espèces. Ils prennent notamment en compte l'effectif, en nombre d'individus matures, constaté, estimé, déduit ou supposé de l'espèce et l'évolution de cet effectif, la répartition géographique, la structure ou fragmentation des populations et la probabilité d'extinction à moyen ou long terme (« Overview of The IUCN Red List » s. d.). Ces critères sont répertoriés en annexe 4.

Parmi les espèces de félins, cinq sont classées « en danger » et treize sont « vulnérables » mais certaines sous-espèces d'une espèce « vulnérable » peuvent être classées « en danger » ou en danger critique ». C'est le cas par exemple du léopard, classé « vulnérable » mais dont les deux sous-espèces léopard d'Arabie (*Panthera pardus nimr*) et léopard de l'Amour (*Panthera pardus orientalis*) sont « en danger critique » d'extinction (IUCN 2015b). Le caracal est lui classé « préoccupation mineure » donc non menacé car il est commun dans le centre et le sud de l'Afrique mais il est considéré « en danger critique » au Pakistan et au bord de l'extinction dans plusieurs pays du nord de l'Afrique.

Le statut de conservation de chaque espèce de félin est donné en annexe 5.

En comparant les caractéristiques biologiques et la répartition géographique des espèces les plus menacées, on s'aperçoit que deux facteurs de risque semblent particulièrement intervenir. D'une part, plusieurs espèces ou sous-espèces menacées sont endémiques d'une région ou d'une île et ont une aire de répartition limitée. Parmi ces espèces on compte par exemple le lynx pardelle (*Lynx pardinus*) ne vivant que dans le sud de l'Espagne (IUCN 2014a), le chat bai (*Catopuma badia*), endémique de l'île de Bornéo (IUCN 2014h), ou encore le chat à pieds noirs (*Felis nigripes*), endémique des régions arides du sud de l'Afrique (IUCN 2016b). D'autre part, ces espèces sont souvent inféodées à un milieu ou à un habitat particulier, et montrent une faible tolérance à la présence humaine et aux modifications des habitats dues aux activités agricoles et industrielles. Le chat à tête plate, « en danger » d'extinction, n'habite que les marais de Malaisie alors que ces zones humides sont exploitées excessivement pour la pêche ou asséchés pour l'agriculture (IUCN 2014i). Au contraire, le marguay (*Leopardus wiedii*) et l'ocelot sont deux espèces d'Amérique du sud non menacées, s'acclimatant assez bien aux habitats présentant un haut taux de dérangement, aux forêts exploitées ou aux plantations (IUCN 2014g, 2014f). De même, le puma est distribué largement du Canada jusqu'en Amérique du sud et a montré des capacités à s'adapter à tous types de milieux jusqu'au milieu les plus ouverts.

Le classement des espèces dans l'une ou l'autre des catégories implique des données disponibles sur les effectifs et la répartition géographique. Or ces données sont manquantes dans de très nombreux cas ou estimées avec une incertitude considérable à partir de quelques études réalisées dans des petites régions de l'aire de répartition (« Overview of The IUCN Red List » s. d.). On obtient ainsi des résultats incertains comme pour le chat de Temminck (*Catopuma temminckii*) en Asie, supposé non menacé presque « vulnérable », alors qu'aucune estimation de l'effectif n'a jamais été réalisée (IUCN 2014b) ou encore le chat de Biet (*Felis bieti*), félin « vulnérable » méconnu vivant dans des régions reculées de Chine (IUCN 2014k).

On note ici l'importance des études ayant pour objet l'estimation de l'abondance, paramètre fondamental à la détermination du statut de conservation d'une espèce et donc au degré d'urgence de mettre en place des mesures de protection.

## 2) Menaces et causes de la disparition des félins

### a) Perte du territoire

La première cause de déclin des populations de félins est la destruction et la fragmentation de plus en plus importante de leurs habitats naturels. Elle est essentiellement due à la conversion des espaces naturels en terres agricoles, en pâturages ou en zone d'exploitation forestière pour le commerce du bois légal ou non (Macdonald et Loveridge 2010).

La plupart des espèces de félins d'Asie du sud et d'Amérique du sud vivent en forêt dense et ont besoin d'une couverture forestière suffisante notamment pour chasser (Sunquist et Sunquist 2014). Or ces dernières forêts tropicales primaires connaissent un taux de déforestation très élevé. A titre d'exemple, l'île de Sumatra qui abrite des tigres et des panthères nébuleuses aurait déjà perdu entre 65 et 80% de sa forêt primaire au profit de l'agriculture (« Sumatra, une île paradisiaque menacée » s. d.)

Les espèces dont l'habitat est lié à l'eau sont également menacées par l'assèchement presque systématique des zones humides et marécageuses considérées comme des terrains perdus à exploiter par les politiques gouvernementales locales. On peut citer le chat viverrin, aussi appelé chat pêcheur et dont l'effectif déclinerait fortement suite à la dégradation de son habitat (IUCN 2016c).

La disparition, la dégradation et la fragmentation des espaces naturels réduisent l'habitat disponible pour les félins et entraînent par conséquent d'autres menaces liées à de la compétition interspécifique. Cette compétition a lieu :

- Entre espèces de carnivores se partageant les mêmes ressources et devant cohabiter sur des territoires restreints, par exemple lions et léopards en Afrique (IUCN 2014j)
- Entre félins et hommes lorsque la perte d'habitat entraîne un rapprochement des animaux des villages et des plantations, augmentant le nombre de prédation des félins sur les troupeaux domestiques et en réponse, le nombre de persécutions des hommes sur les félins (Macdonald et Loveridge 2010).

#### b) Chasse, braconnage, commerce illégal

La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) a inscrit vingt-trois espèces ou sous-espèces de félins à l'annexe I, interdisant le commerce international des spécimens ou de toute partie ou produit dérivé de ces spécimens (« CITES » s. d.). Toutes les autres espèces et sous-espèces de félins sont inscrites à l'annexe II, leur commerce international n'est pas interdit mais est régulé dans le but d'éviter une exploitation incompatible avec leur survie (« CITES » s. d.).

Pourtant, le braconnage et le commerce illégal de félins vivants, morts ou de parties telles que la peaux, les os, les griffes touchent mondialement toutes les espèces de félins (Macdonald et Loveridge 2010).

Le braconnage serait le quatrième trafic le plus important au monde après le trafic de drogue, la contrefaçon et la traite d'êtres humains. Le chiffre d'affaire du braconnage est estimé à quatorze milliards de dollars par an (« Stop au trafic illégal d'espèces sauvages ! » s. d.) Les braconniers sont aujourd'hui organisés, armés et financés et constituent de puissantes organisations criminelles. Les félins sont particulièrement touchés par le braconnage d'une part pour leur pelage, d'autres part pour la poudre qui est produite à partir des os et des griffes (Macdonald et Loveridge 2010). Parmi les félins ayant les peaux les plus convoitées on peut citer les panthères nébuleuses en Asie et les petits félins d'Amérique du sud comme le marguay et l'ocelot en raison de leur fourrure tachetée particulière (IUCN 2016a, 2014g).

Les produits dérivés tels que les os, le crâne, les griffes ou le pénis de grands félins sont aussi retrouvé sur les marchés noirs et la demande est en constante augmentation (Macdonald et Loveridge 2010). Ces produits sont réputés en médecine asiatique traditionnelle, entre autre pour leur pouvoir aphrodisiaque mais également comme objet de décoration ou amulette (Nowell 2007). Ce commerce a déjà eu raison de plusieurs sous-espèces de tigres : le tigre de Bali (*Panthera tigris balica*), endémique de l'île de Bali, s'est éteint dans les années 1940, le tigre de Java (*Panthera tigris sondaica*), endémique de l'île de Java et le tigre de la Caspienne (*Panthera tigris virgata*), sous-espèce de tigre la plus occidentale, se sont éteints dans les années 1970 (IUCN 2014d). Il y aurait encore cent cinquante tigres tués illégalement par an en Asie alors que leur abondance n'est estimée qu'à 3890 individus en 2016 (Nowell 2007).

Une étude sur des marchés de Thaïlande et de Birmanie entre 2001 et 2010 a montré la présence constante de grands félins morts ou vivants à vendre. Ces marchés sont situés aux frontières Thaïlande/Birmanie, Thaïlande/Laos et Birmanie/Chine où le commerce illégal des grands félins est connu, très actif mais non contrôlé et surtout impuni malgré les lois nationales et internationales (Oswell 2010). En effet, les produits sont exposés sur les étalages des marchés à ciels ouverts sans précaution particulière de discrétion de la part des commerçants (Oswell 2010). Il a ainsi été dénombré un minimum de cent soixante-sept léopards, cent quarante-neuf panthères nébuleuses, quatre-vingt-onze tigres et deux panthères des neiges en dix ans et sur ces marchés seulement.

Des félins sont capturés afin d'être vendus comme animal de compagnie. C'est le cas de petits félins d'Amérique, de la panthère nébuleuse (Hunter 2011) et du guépard (IUCN 2008). Entre 2011 et 2013, quarante guépards principalement chatons ont été saisis par les douanes, surtout en Somalie (Nowell 2007).

Enfin, certains petits félins d'Asie sont chassés pour la consommation humaine, ce qui est une pratique culturelle interdite mais tolérée dans plusieurs pays d'Asie du sud comme le Cambodge ou le Viet Nam (Appel et Duckworth 2016).

Sur le continent Africain, la chasse privée est légale et couramment pratiquée sur les lions, les guépards et les léopards. Pour une somme allant de trente mille à des centaines de milliers de dollars, des chasseurs amateurs du monde entier peuvent venir tuer un animal pour le plaisir dans des réserves privées (Lindsey et al. 2013). Un nouveau type de chasse appelée « chasse en boîte » a d'ailleurs vu le jour en réponse à la demande sans cesse croissante de trophées de chasse. Des lionceaux sont élevés au biberon par des bénévoles et des touristes, dans des fermes à lionceaux ayant pour fonction première officielle de contribuer à la sauvegarde des espèces menacées. A l'âge de jeune adulte, ils sont enfermés dans des enclos où ils sont à la merci des chasseurs. Ces chasses sont très prisées puisque proposées à un prix attractif, elles sont faciles, garantissent un trophée et sont peu dangereuses, les animaux étant non agressifs puisqu'ils ont toujours vécu au contact de l'homme (Lindsey et al. 2013). En Afrique du Sud, il y aurait aujourd'hui plus de lions en captivité qu'à l'état sauvage. En 2014, 75% des lions d'Afrique du Sud se trouvaient dans les fermes d'élevage destinés à la chasse. Six cents lions seraient ainsi tués chaque année (IUCN 2014j).

### c) Conflits humains, persécutions

La majorité des espèces de félins vivent dans des pays en voie de développement en Asie, en Afrique et en Amérique du sud, caractérisés par une densité de population élevée et une grande partie de l'économie liée à l'agriculture et à l'élevage. Les félins étant exclusivement carnivores, des conflits pour les ressources et des persécutions suite aux prédatons des félins sur les troupeaux domestiques ne sont pas anecdotiques (Wang et Macdonald 2009).

Ces prédatons ont lieu pour tous les grands félins, que ce soit le lion et le léopard en Afrique, le tigre en Asie et le puma en Amérique. Ces félins prédatent un grand nombre de proies par an, des ongulés sauvages également chassés pour la consommation par les peuples locaux ou occasionnellement des animaux domestiques.

Les petits félins sont également concernés, notamment le chat pêcheur régulièrement tué en représailles des dommages qu'il occasionne dans les filets de pêche et les bancs de poissons. Ils sont empoisonnés, pris dans des pièges ou tués à coups de matraque (Appel et Duckworth 2016). Des habitants de l'île indienne Sagar Island ont admis avoir éradiqué volontairement le chat pêcheur de leur île de cette façon en 2012 (IUCN 2016c)

Malheureusement, la présence toujours plus proche des grands prédateurs aux abords des villes et villages entraîne également des prédateurs ou des attaques des félins sur les hommes (Mondol et al. 2009). Plusieurs attaques mortelles de léopards ou de tigres sur des hommes, femmes ou enfants ont été rapportées. Au Bangladesh on a déploré quarante morts dues aux tigres entre 2000 et 2010 (Inskip et al. 2013). Dans ces conditions, les mesures associatives ou gouvernementales pour la protection du tigre ne sont pas bien reçues par les populations locales et ne sont pas appliquées.

#### d) Autres causes d'origine humaine

Il existe probablement de multiples conséquences encore non identifiées des activités humaines sur les populations de félins. On peut citer à titre d'exemple, deux causes humaines de mortalité et dérangement des félins encore très peu documentées.

La première est les accidents de la route, surtout lorsque des routes à grande vitesse traversent des parcs et réserves naturelles en Europe et en Amérique du Nord, ou que de plus en plus de routes menant aux plantations et exploitations forestières traversent l'habitat des félins d'Amérique du sud (Macdonald et Loveridge 2010). En Europe, le lynx est le seul félin considéré comme grand carnivore et est donc en conflit avec les éleveurs. Il est chassé et braconné pour cela mais il est surtout victime d'accidents de la route. Dans le Jura, la mortalité due à une raison humaine (chasse ou accident de route) a été estimée à 70% de la mortalité des lynx (Breitenmoser-Würsten et al. 2007).

La deuxième cause est liée aux effets du tourisme dans les grands parcs nationaux. En Afrique, il a été montré que les véhicules touristiques interféraient avec la chasse des guépards, éloignaient les proies des félins, et pouvaient séparer une mère de ses petits entraînant un plus grand taux de mortalité chez les jeunes (Roe, Leader-Williams, et Dalal-Clayton 1997). Ces conséquences du tourisme sur les animaux observés ne sont pas encore vraiment connues et comprises mais seraient à étudier dans un avenir proche car les safaris touristiques se sont multipliés ces dernières années.

### C) Intérêt de la connaissance de ces espèces pour leur protection

#### 1) Enjeu de la conservation des félins

A l'heure où nous vivons la sixième grande période d'extinction de masse des espèces, la conservation de la biodiversité est un enjeu majeur mondial. Les félins ont une valeur intrinsèque et une valeur patrimoniale forte.



La valeur intrinsèque est la valeur de la biodiversité en elle-même et pour elle-même, en considérant que, quel que soit son usage éventuel par l'homme, la diversité de la vie sur Terre doit être préservée et que les êtres humains ont le devoir moral de la respecter (« Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité » s. d.). Cela signifie que chaque espèce de félin a de la valeur par le simple fait d'exister et devrait être traitée avec respect et compassion comme toute forme de vie sur Terre.

La valeur patrimoniale des félins est esthétique, éducative, spirituelle et culturelle (« Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité » s. d.). Les félins ont été décrits dans plusieurs civilisations comme symboles de divinité, de force, de puissance, de protection. Dans les divinités égyptiennes, on trouve Bastet, déesse aux traits félins du foyer et de la maternité ou Sekhmet, déesse guerrière lionne, instrument de la vengeance de Rê le soleil (« Liste des divinités et dieux égyptiens | Dieux égyptiens » s. d.). En Asie, les tigres et les léopards ont toujours été vénérés comme des divinités protectrices et des symboles de force et de beauté (Wang et Macdonald 2009). On peignait des tigres sur les boucliers des soldats ou sur les murs des villes fortifiées afin de les protéger et on plaçait des statues de grand félin à l'entrée des temples. Aujourd'hui encore, des exemples d'invocations des félins dans les rituels culturels et religieux sont connus au travers de toute la planète, que ce soit au cœur des montagnes d'Asie centrale où les panthères des neiges restent les protectrices des montagnes sacrées dans la religion Bouddhiste (T. McCarthy et Mallon 2016), en Afrique où les chasseurs de groupes ethniques effectuent des danses invoquant le courage et la force des félins avant de partir à la chasse ou en Amérique du sud où le jaguar est très attaché aux symboles de puissance et beauté par les peuples indigènes (Soisalo et Cavalcanti 2006).

Enfin, ils possèdent une valeur économique forte que certains pays notamment en Afrique ont su tourner à leur avantage au travers du tourisme (« Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité » s. d.).

Les félins sont des prédateurs et sont des composants essentiels des écosystèmes. Ils ont un rôle important dans la régulation des populations de proies et en conséquence sur les populations de nombreux autres mammifères, oiseaux, reptiles et sur les végétaux. Un exemple typique de la répercussion que peut avoir la diminution d'un effectif de prédateurs sur leur écosystème entier est celui des pumas et des loups (*Canis lupus*) dans les grands parcs nord-américains. Lorsque ces prédateurs sont absents, l'abondance en proies et notamment en grands ongulés est forte entraînant un surpâturage des prairies et une faible diversité de la végétation. Les prédateurs chassent ces ongulés mais modifient également leur comportement, les obligeant à être vigilants et à se déplacer pour fuir. Ainsi les prairies, arbustes et branches basses des arbres peuvent se régénérer et apporter de nouveau, nourriture et refuges pour un grand nombre d'autres espèces plus petites. Ces grands prédateurs régulent également l'abondance et le comportement de plus petits prédateurs permettant une augmentation de l'abondance en petits mammifères. Cette diversité en faune et flore structure le paysage, limite son érosion et ainsi va jusqu'à modifier le lit des rivières (GrrlScientist 2014).

Ce concept de cascade trophique reste controversé et peu étudié mais il est utilisé sous le concept « d'espèce parapluie » par les gouvernements et les associations de protection de la nature. La protection d'une espèce emblématique tel qu'une espèce de félin permettrait de protéger toutes les espèces animales et végétales de l'écosystème dans lesquels ils vivent (Thornton et al. 2016).

## 2) Des études nécessaires mais difficiles

L'estimation de l'abondance et la répartition géographique sont deux paramètres clés utilisés par l'UICN pour évaluer le statut de conservation d'une espèce (« Overview of The IUCN Red List » s. d.). La protection d'une espèce menacée commence toujours par son étude, par l'évaluation de ces deux paramètres mais également de son habitat, du contexte environnemental, climatique, humain, politique et industriel dans lequel elle évolue afin de cibler les dangers spécifiques qui la menacent et de déterminer précisément des mesures de protection efficaces. Une fois ces mesures décidées et mises en place, un suivi régulier des populations permet de statuer sur la tendance de cette espèce à croître, à diminuer ou se stabiliser.

Concernant les félins, nous avons vu en début de cette première partie qu'un certain nombre de caractéristiques rendaient le suivi des espèces de félins difficile. A l'exception des lions qui vivent en groupe, dans de grandes plaines à découvert, les félins sont discrets, solitaires, crépusculaires à nocturnes, vivent à faible densité de population dans de vastes aires de répartition et habitent tous les habitats dont les plus inaccessibles pour l'homme. Dans ces conditions, nombre d'espèces de félins sont suspectées d'être menacées d'extinction alors qu'on possède très peu de données concernant la taille et la structure de ses populations, son aire de répartition exacte ou les raisons de son déclin (Macdonald et Loveridge 2010). Trois espèces de félins n'ont d'ailleurs même pas été évaluées par l'UICN faute de données, le chat des Pampas (*Leopardus pajeros*), le chat du Pantanal (*Leopardus braccatus*) et le chat d'Iriomote (*Prionailurus iriomotensis*).

## 3) Mesures de protection

Les mesures de protection permettant de stabiliser des populations d'espèces menacées voire de permettre l'augmentation de ses effectifs sont avant tout des mesures de protection de leur habitat et de lutte contre le braconnage et le commerce illégal (Macdonald et Loveridge 2010).

- Exemple de la conservation du tigre en Asie

Le tigre est classé « en danger » d'extinction depuis sa première évaluation par l'UICN en 1986. En 1994, des premières mesures ont été prises afin de déterminer des zones prioritaires à la conservation des tigres (IUCN 2014d). Cent cinquante-neuf Unités de Conservation du Tigre (TCU=Tiger Conservation Unit) couvrant un total de 1,64 millions de km<sup>2</sup> ont été choisies en fonction de la distribution présumée des tigres qui était suspectée à l'époque. Cependant, des années plus tard, la présence du tigre a été confirmée dans seulement 47% de ces TCU et 89% de la population de tigres était encore sous haute pression de braconnage. Dix ans plus tard, après la sortie des premières études sur la densité de population de tigres, les données ont été mises à jour et le territoire du tigre a été estimé à 1,1 million de km<sup>2</sup> représentant une perte de 41% en dix ans. Soixante-seize nouvelles zones prioritaires, cette fois ci appelées Milieux pour la Conservation du Tigre (TCL=Tiger Conservation Landscape) ont été choisies, correspondant chacune à une zone permettant de faire vivre durablement au minimum cinq tigres (Bank 2011).

En 2010, l'UICN estimait la population de tigres à 2154 tigres. En novembre 2010, des représentants des treize pays du tigre se sont réunis au sommet du tigre en Russie, afin de joindre leurs efforts dans un programme sans précédent et se fixer l'objectif de doubler cette population d'ici 2022.

Les principaux domaines d'action sont :

- La préservation et la gestion efficaces de l'habitat du tigre passant par exemple par
  - la création de réserves intégrales où toute activité et infrastructures humaines sont interdites et de couloirs entre ces réserves afin de favoriser la reproduction,
  - l'augmentation du nombre de gardes et de patrouilles
- L'éradication du braconnage, de la contrebande et du commerce illégal des tigres et des produits dérivés de tigre en renforçant les lois au niveau national et les contrôles au niveau local
- La coopération internationale au niveau des territoires transfrontaliers dans la gestion des habitats et dans le combat contre le commerce illégal en améliorant notamment la communication entre pays
- Le dialogue avec les peuples indigènes et les populations locales pour minimiser l'impact négatif sur les tigres, leurs proies ou leur habitat et diminuer les conflits hommes-tigres au travers de compensations financières, aide matérielle et technique et conseils

...tout cela dans le but ultime de restaurer les populations de tigres dans leur aire de répartition d'origine (Bank 2011)

- Exemple de la conservation du lynx pardelle en Espagne

Le lynx pardelle était classé « en danger critique » d'extinction depuis 2002 après soixante ans de déclin important de ses effectifs pendant lesquelles il était victime de chasse, de perte de territoire au profit de l'agriculture et de la sylviculture et de manque de proies (lagomorphes). Il a été classé « en danger » en 2014. En 2014, le nombre d'individus matures était estimé à cent cinquante-six, divisé en deux populations séparées dans le sud-ouest de l'Espagne. Un programme de conservation intensif est aujourd'hui en place et permet (IUCN 2014a) :

- La gestion de l'habitat, des pâturages et des abris afin d'augmenter le nombre de proies victimes de chasse, de politique de contrôle et de maladie virale (maladie hémorragique du lapin)
- Des mesures de communication sur les impacts dévastateurs qu'à le braconnage sur de très petites populations
- Des mesures de régulation de la vitesse des véhicules à proximité des sites de présence
- Le déplacement d'individus sauvages comme fondateurs de nouvelles populations
- La réintroduction d'individus nés en captivité à partir d'un programme d'élevage qui a vu le jour en 2005

A l'heure actuelle, il est le seul félin dont la tendance des effectifs est à l'augmentation (IUCN 2014a).

Nous allons maintenant nous intéresser à l'estimation d'un paramètre fondamental à l'étude, au suivi et à la conservation des félins, l'abondance.

## II) Principes de l'estimation de l'abondance

### A) Définition des paramètres démographiques à évaluer

*Les définitions de cette partie sont tirées de deux cours de Biologie des Populations : Option faune sauvage de l'école vétérinaire VetAgro-Sup par la Professeur Gilot-Fromont, cours de Biologie des populations et Evolution de l'université de Toulon par la Professeur Giraudet*

#### 1) Effectif d'une population

Une population est un ensemble d'individus appartenant à une même espèce et susceptibles de se reproduire entre eux. *Note : le terme population est utilisé par l'UICN en annexe 4 de façon abusive comme le nombre total d'individus dans un taxon.*

L'effectif est le nombre total d'individus dans une population. Cette valeur absolue donne la taille de la population sans autre indication concernant sa distribution ou sa répartition spatiale au sein d'une aire étudiée.

A l'échelle d'un parc, d'une réserve naturelle ou de toute portion de l'aire de répartition d'une espèce, le suivi de l'effectif permet de connaître la tendance d'une population à croître, être stable ou décliner. Les effectifs combinés de différentes parties de l'aire de répartition d'une espèce permettent d'estimer l'effectif total d'une espèce au niveau mondial. Cette valeur est importante pour déterminer le statut de conservation d'une espèce et envisager des mesures de protection si nécessaire.

#### 2) Abondance

L'abondance est un terme plus générique représentant l'effectif d'une population dans un écosystème donné.

L'abondance dépend des facteurs d'accroissement de la population (taux de natalité, taux d'immigration) et des facteurs de déclin (taux de mortalité, taux d'émigration). Ces taux dépendent eux-mêmes des variations saisonnières, climatiques, des interactions entre espèces (proies-prédateurs) et des interactions entre l'espèce et son milieu.

#### 3) Densité de population

La densité de population est le nombre d'individus par unité de surface. L'unité de surface choisie dépend de l'espèce étudiée, par exemple l'hectare pour les végétaux, le m<sup>2</sup> pour certains insectes, du km<sup>2</sup> à 100km<sup>2</sup> pour les mammifères. On distingue densité brute, soit l'effectif de la population sur la surface totale du biotope étudié et densité écologique, soit l'effectif de la population sur la surface d'habitat réellement disponible pour l'espèce étudiée.

Estimer une densité de population apporte des informations à la fois sur la taille de cette population mais également sur son occupation de l'espace. On peut en déduire la taille approximative du domaine vital d'un individu. Le domaine vital est l'aire occupée par un individu permettant de répondre à ses besoins sur laquelle il concentre ses activités et ses déplacements. Il s'agit d'un concept spatial et temporel, à l'inverse du territoire qui a une connotation sociale.

## B) Méthodes classiques d'évaluation de l'abondance

*Ces données sont tirées du cours de Biologie des Populations Option faune sauvage de l'école vétérinaire VetAgro-Sup par la Professeur Gilot-Fromont et du guide méthodologique « Suivi scientifique d'espèces animales, aspects méthodologiques essentiels pour l'élaboration de protocoles de suivis » de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Provence-Alpes-Côte d'Azur (« Suivi scientifique d'espèces animales - PDF » s. d.)*

### 1) Dénombrement total

Le dénombrement total est une méthode de comptage direct et exhaustif des individus d'une population. Cela implique que chaque individu présente

- une probabilité de détection par session de 100%, c'est à dire que tous les individus présents sur le site étudié soient observables et comptés lors du dénombrement
- ou une probabilité de détection inférieure à 100% mais fixe et connue

Une des méthodes de comptage direct est de diviser le site en plusieurs petites zones et d'affecter un observateur à la prospection de chaque zone simultanément. A l'issue du comptage, l'effectif total est obtenu par le cumul des observations sur l'ensemble des zones.

Le dénombrement total ne peut être appliqué qu'à l'étude des espèces peu mobiles, facilement observables (de grande taille, diurnes, peu farouches) dans un milieu ouvert et sur une surface limitée.

Les résultats obtenus restent une estimation de l'effectif et sont à moduler en fonction des conditions du dénombrement. Par exemple, une augmentation de l'estimation de l'effectif entre deux comptages peut révéler une augmentation réelle de l'effectif ou une augmentation de l'effort de terrain (nombre d'observateurs, temps de prospection), de la qualité de la prospection (expérience des observateurs) ou de la probabilité de détection par session (conditions climatiques, densité en végétation). Plus les protocoles sont standardisés, plus les résultats sont comparables d'une session à l'autre.

En dehors de ces cas particuliers, le cadre de l'étude, l'environnement, la taille du site à prospecter ou les caractéristiques biologiques et démographiques de l'espèce influent sur la probabilité de détection et ne permettent pas le dénombrement total.

### 2) Dénombrement par échantillonnage

Le dénombrement par échantillonnage est indiqué lorsque la surface à prospecter est importante. Deux stratégies existent. La première stratégie consiste à réduire cette surface en choisissant de ne prospecter qu'une zone particulière du site d'étude paraissant intéressante d'un point de vue habitat de l'espèce étudiée. Cette solution permet d'obtenir un nombre minimal d'individus mais ne permet pas le suivi de la population, surtout dans le cas d'espèces très mobiles. La deuxième stratégie consiste à définir un certain nombre de petites zones à prospecter au sein du site d'étude, chaque zone correspondant à un échantillon.

Un échantillon est un fragment d'un ensemble, représentatif de cet ensemble, dans notre cas le site d'étude. L'effort d'échantillonnage sera défini comme le rapport de la somme des surfaces échantillonnées sur la surface totale du site d'étude.

La représentativité est assurée par l'échantillonnage aléatoire, ce qui permet ensuite d'extrapoler les résultats obtenus pour ces échantillons à l'ensemble du site d'étude.

- Echantillonnage classique

Cela consiste à sélectionner aléatoirement les échantillons, en amont de l'étude, par exemple en divisant le site d'étude en parcelles numérotées et en réalisant un tirage aléatoire des numéros des parcelles qui seront prospectées. Aucun consensus n'existe concernant l'effort d'échantillonnage. Il s'agit de trouver un compromis entre prospecter le plus grand nombre d'échantillons possible pour assurer la représentativité et passer suffisamment de temps à la prospection de chaque échantillon pour augmenter la détectabilité des individus par session en fonction du temps et du nombre d'observateurs alloués à l'étude.

- Echantillonnage stratifié

Utilisé lorsque l'abondance d'une espèce varie très fortement en fonction des caractéristiques du milieu, il consiste à définir en amont de l'étude des catégories d'habitats, du plus favorable au moins favorable pour l'espèce étudiée, avant de choisir aléatoirement des zones à prospecter dans chaque catégorie. Cela permet de faire varier l'effort de terrain en fonction des catégories et d'estimer l'abondance de l'espèce dans chaque catégorie donc pour chaque type de milieu.

En pratique, les zones sont peu souvent choisies aléatoirement mais sont sélectionnées car jugées subjectivement représentatives du milieu ou connues pour être riches en abondance. Cette méthode a deux limites. Premièrement, l'extrapolation à l'ensemble du site est biaisée par le fait que les zones choisies ne sont pas représentatives du site. Deuxièmement, le suivi de la population est faussé car les zones présentant déjà une forte abondance de l'espèce ne peuvent montrer qu'une stabilité ou une décroissance de la population. Les zones considérées moins riches ne sont pas évaluées alors que l'habitat peut évoluer dans le temps, devenir plus favorable et attirer des individus, ou au contraire se détériorer et en perdre.

Dans chaque zone prospectée, de nouvelles sous-unités sont définies en fonction de l'espèce étudiée et des données récoltées : comptage des individus, observation d'indices de présence, indices sonores. Ces sous-unités sont des :

- Transect : ligne virtuelle ou physique le long de laquelle on compte les occurrences d'un phénomène (étude des grands mammifères)
- Quadrat : forme géométrique en plastique, bois ou métal permettant d'isoler une parcelle dans laquelle on dénombre les individus d'une espèce (étude des végétaux, d'insectes, d'organismes aquatiques)
- Point d'écoute : point où un observateur reste immobile pendant un temps défini et relève les indices sonores ou les observations d'une espèce (étude d'oiseaux)

L'effectif de la population est obtenu en extrapolant les effectifs dénombrés dans chaque zone prospectée à l'ensemble du site. Une estimation de l'abondance ou de la densité de population est ensuite possible lorsque la taille de ce site est connue précisément. Lorsque le comptage direct des individus n'est pas réalisable (végétation dense, espèce discrète), le relevé des indices de présence, aussi appelés indices d'abondance, le suivi du nombre d'indices de présence dans le temps et des lieux où sont retrouvés ces indices apportent une information sur la présence de l'espèce sur le site, sa dynamique d'occupation ou d'abandon des sites, son utilisation de l'espace, l'impact de facteurs écologiques ou de mesures de protection sur la répartition de l'espèce. Cela ne permet pas d'en déduire un effectif mais permet de comparer des sites entre eux ou de suivre l'évolution de la présence de l'espèce sur le site au cours du temps.

### 3) Capture-Marquage-Recapture

La méthode de Capture-Marquage-Recapture (CMR) est une méthode d'échantillonnage répété d'une population, basée sur l'identification individuelle des animaux. L'étude se déroule en trois étapes :

- La capture d'un individu : physique (piège, filet, capture à la main), par image (piège photographique) ou génétique (analyses génétiques de fèces ou de poils).
- Le marquage : choix d'une méthode d'identification individuelle, naturelle (pelage unique, cicatrices et autres marques distinctives) ou artificielle (bague, boucle, marquage coloré, collier), inoffensive et durable.

Une fois marqués tous les individus sont relâchés.

- La recapture : les individus marqués sont identifiés, les nouveaux individus sont marqués.

Après deux échantillonnages soient une capture et une recapture on obtient :

$n_1$  = nombre d'individus capturés et marqués lors de la première capture

$n_2$  = nombre d'individus capturés lors de la deuxième capture

$m_2$  = nombre d'individus trouvés marqués lors de la deuxième capture

$\hat{N}$  = estimation de l'effectif de la population  $N$ , supposé constant

Sous les hypothèses suivantes :

- Chaque individu à une probabilité de capture identique
- Le marquage est définitif et n'affecte pas les individus marqués
- La population est fermée et ne prend en compte ni les entrées (naissance, immigration) ni les sorties (mortalité, émigration)

la probabilité de recapter un individu marqué est identique à la probabilité de capturer un nouvel individu d'où l'estimateur de Lincoln Petersen :

$$\frac{n_1}{N} = \frac{m_2}{n_2} \quad \text{donc} \quad \hat{N} = \frac{n_1 n_2}{m_2}$$

Dans le cas d'une population ouverte et après plusieurs épisodes de capture, on utilise le modèle de Jolly-Seber faisant deux nouvelles hypothèses :

- Chaque individu présent après la  $i$ ème capture à la même probabilité de survie jusqu'à la  $i+1$ ème capture
- Le temps nécessaire pour capturer, marquer et relâcher les animaux est court par rapport à l'intervalle de temps séparant deux échantillonnages

Ce modèle permet d'estimer la taille de la population à chaque épisode de capture mais également le taux de survie et le nombre de nouveaux individus entrés dans la population entre deux épisodes de capture. Le détail de l'estimation de ces paramètres est donné en annexe 6.

La méthode de capture-marquage-recapture permet d'estimer l'effectif d'une population au fil du temps, mais apporte également des informations quant à sa composition, et à la façon dont ses paramètres démographiques évoluent : fécondité, mortalité, flux entrants et sortants d'individus. Ces paramètres sont nécessaires à la construction de modèle de dynamique des populations afin de prévoir l'évolution et le devenir de ces populations.

### C) Application aux félins

Le dénombrement total des félins est impossible au vu de la faible probabilité de détection par session de terrain, d'individus répartis sur un terrain immense et peu praticable avec une très faible densité de population.

Le dénombrement par échantillonnage est réalisable en s'intéressant aux indices de présence, le principe étant que les individus ne sont pas observables directement mais les espèces étudiées sont de grande taille et laissent des traces visibles de leur passage.

La technique utilisée est celle des transects, adaptée à la couverture la plus importante possible d'une zone d'étude très grande à prospecter.

Les méthodes de Capture-Marquage-Recapture sont utilisées pour l'étude de ces espèces. La capture réelle des individus est peu envisageable à grande échelle car il faudrait piéger puis sédaté un grand nombre de félins à plusieurs reprises sur une très grande surface. Cela entraîne des difficultés éthiques, logistiques, matérielles et médicales importantes.

Les deux méthodes applicables sont

- La capture par piégeage photographique suivie de l'identification grâce au pattern unique des motifs du pelage de chaque individu ou à des marques individuelles (notamment les cicatrices)
- La capture par récolte de fèces suivie de l'identification par analyse génétique

La suite de cette première partie sera consacrée à ces méthodes, des protocoles aux résultats qui ont été obtenus pour plusieurs espèces de félins de par le monde.

## III) Méthodes d'estimation de l'abondance des félins

### A) Les indices de présence

#### 1) Principe de la recherche d'indices de présence

##### a) Historique

Depuis toujours les hommes ont suivi les animaux à la trace en identifiant les indices de leur passage sur le sol et en suivant leurs empreintes.

Les empreintes, les fèces, les lieux de couchage, les marquages urinaires sont autant d'indices qui permettent d'attester de la présence d'un animal dans un environnement et d'estimer la richesse de la faune sauvage. Cette méthode est couramment utilisée par les gardes forestiers ou les rangers de parcs dans le recensement des espèces (Silveira, Jácomo, et Diniz-Filho 2003).



Cependant le relevé des indices de présence ne donne qu'une information de présence qualitative. A l'heure où les enjeux en conservation de la biodiversité sont de plus en plus importants et que des données précises sont nécessaires afin de mettre en place des mesures de protection efficaces, le challenge des biologistes est de trouver de nouvelles techniques pour obtenir des données quantitatives d'effectif, d'abondance relative et de densité de population des espèces.

Les indices de présence permettent de suivre l'abondance relative d'une espèce dans le temps de façon non invasive et à grande échelle.

La densité de population peut théoriquement être estimée à partir de ces indices mais cela nécessite de pouvoir identifier les individus à partir des indices et non plus seulement l'espèce (Alibhai, Jewell, et Evans 2017). Quelques études seulement ont été réalisées sur ce sujet, peu sur le terrain, la plupart des études ayant été réalisées en laboratoire à partir d'indices d'animaux vivants en captivité. Les bases commencent cependant à être posées pour que des études soient prochainement possibles sur le terrain.

#### b) Méthode de terrain

La recherche d'indices est une méthode de dénombrement par échantillonnage. Dans le cas d'étude des félins, la zone d'étude (parc national, réserve naturelle, massif montagneux) est de grande taille ce qui ne permet pas une prospection homogène de toute la zone. La zone est quadrillée en parcelles de taille identique (par exemple 50 km<sup>2</sup>) et les échantillons sont choisis au hasard parmi ces parcelles, indépendamment de leur disposition ou du type d'habitat qu'elles contiennent (Smallwood et Fitzhugh 1995).

La recherche d'indices de présence sur le terrain demande une préparation en amont afin de déterminer des transects, c'est-à-dire une ligne virtuelle ou physique suivie le long de laquelle on compte l'occurrence d'un phénomène, ici la présence d'indices. Les transects ne sont pas forcément rectilignes mais peuvent suivre un relief naturel, un cours d'eau ou une ligne de crête par exemple.

La plupart du temps, ces transects sont en fait des routes ou des chemins déjà tracés par le passage d'un véhicule dans le sable ou la végétation. Cela pose moins de problème dans l'étude des félins que pour d'autres espèces car les félins ont justement tendance à se déplacer le long de ces routes pré-tracées (Smallwood et Fitzhugh 1995).

Les transects peuvent être parcourus à pied, en véhicule, en hélicoptère ou en avion pour le dénombrement d'animaux mais dans le cas de la recherche d'indices de félins ils sont réalisés à pied ou en véhicule. Dans ce dernier cas, l'équipe de terrain doit être constituée d'au moins deux personnes, un conducteur et un observateur mais il peut y avoir plusieurs observateurs à bord du véhicule.

Les aptitudes des biologistes et gardes locaux à reconnaître les indices ont été démontrées dans plusieurs études et notamment par (Stander 1998). Celui-ci a montré que les San, un peuple local en Namibie, pouvaient non seulement distinguer des traces de plusieurs carnivores différents mais pouvaient également distinguer les traces de plusieurs individus d'une même espèce en se fiant uniquement à leur forme et leur taille.

### c) Indices de présence

Tout indice indiquant la présence ou le passage d'un individu à un endroit d'un transect est un indice de présence. Cependant, très peu d'études ont été publiées sur l'estimation de l'abondance d'une espèce de félin à partir des indices de présence et elles se concentrent sur un seul type d'indices : les empreintes, indices trouvés en plus grande quantité que les autres indices de type fèces, présence de poils, marquage urinaire identifiable ou reste de proies consommées et dont il est relativement aisé de déterminer l'espèce.

Les empreintes indiquent le passage d'un individu mais peuvent également apporter des informations sur le déplacement de l'animal, sa direction, les lignes directrices suivies (Smallwood et Fitzhugh 1995). Lorsque l'empreinte est suffisamment imprimée dans le substrat, les mesures des caractéristiques de l'empreinte peuvent être prises ou une photographie, un dessin de l'empreinte voire un moulage peuvent être réalisés et permettront peut-être l'identification d'un individu (Alibhai, Jewell, et Evans 2017).

## 2) Estimation de l'abondance à partir des indices de présence

### a) Estimation de l'abondance relative à partir des empreintes

L'estimation de l'abondance, qu'elle soit relative ou absolue, à partir d'indices de présence est très peu documentée chez les félins. Les rares publications sont anciennes et ne s'intéressent qu'aux espèces les plus abondantes et dont l'aire de répartition et les comportements sont déjà connus tels que le puma ou le léopard.

Smallwood et Fitzhugh (1995) ont été parmi les premiers à s'intéresser à la tendance de l'effectif de pumas en relevant les empreintes de pumas en Californie dans quarante-huit quadrats de 50km<sup>2</sup> choisis aléatoirement et contenant chacun 33,8km de transects le long de routes en terre. En comparant le nombre d'empreintes trouvées sur l'effort d'échantillonnage c'est-à-dire la longueur totale des transects prospectés, ils ont estimé que l'effectif avait diminué entre 1986 et 1992. Plusieurs informations manquent cependant dans la discussion de cette étude et notamment le choix de la taille des quadrats, l'influence du choix des transects ou la qualité des empreintes relevées donc la fiabilité avec laquelle les empreintes étaient identifiées.

Stander (1998) a également testé la relation entre la présence de traces dans un environnement et l'abondance de l'espèce concernée. L'abondance en léopards dans une réserve en Namibie a été déterminée en équipant tous les léopards de cette réserve d'un collier émetteur et en cartographiant leur domaine vital avec l'aide de chasseurs San locaux. Cela n'a été possible que pour deux raisons : tout d'abord la zone expérimentale prospectée était relativement petite (244km<sup>2</sup>), ensuite les San ont la capacité de discriminer les traces de chaque individu par simple observation. Les traces d'un léopard non marqué étaient suivies jusqu'à ce que l'animal soit immobilisé et marqué. Dix-huit léopards ont ainsi été marqués. Ce protocole représente un effort très important en temps, en personnel et en coût et ne permet pas de confirmer le fait que tous les individus de la zone ont réellement été marqués.

Puis, vingt routes traversant la réserve de toutes parts ont été parcourues à la recherche de traces de léopards pendant six mois. Sur un site échantillonné donné, l'abondance était calculée en fonction du nombre de domaines vitaux chevauchant ce site, domaines vitaux déterminés en fonction des données obtenues grâce aux colliers émetteurs et la densité en empreintes à partir du nombre d'empreintes trouvées sur 100km de route parcourue dans ce site.

La relation linéaire suivante a été obtenue :

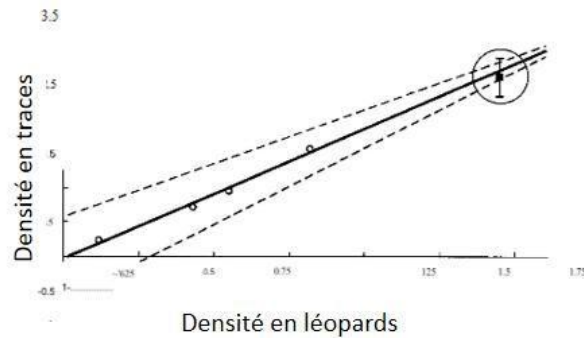


Figure 2 : relation entre densité estimée en léopards (nombre d'individus par 100km<sup>2</sup>) dans quatre sites indépendants de la zone étudiée (cercles blancs), et densité en traces (nombre de traces sur 100km). Les lignes en pointillé représentent l'intervalle de confiance à 95%. D'après Stander (1998).

Cette méthode ne permet pas de déterminer une abondance réelle à partir des indices de présence seulement car ici l'abondance réelle était déjà connue grâce au marquage supposé de tous les léopards ce qui n'est pas réalisable en pratique dans des zones plus grandes et sans l'aide d'observateurs locaux performants. Elle a cependant permis de montrer qu'il existe une relation linéaire entre abondance en indices de présence, les empreintes, et abondance réelle ce qui peut être utilisé à plus grande échelle et sur d'autres espèces de félins comme marqueur de la tendance d'un effectif à augmenter ou diminuer de taille en corrélant ces variations de densité d'indices de présence aux mêmes variations dans la densité de population.

#### b) Estimation de l'abondance réelle à partir des empreintes

Paradoxalement, plus d'études s'attachent à essayer d'identifier les individus à partir de leur empreinte alors que les applications pratiques de ces identifications sur le terrain semblent encore très peu réalisables.

Lewis, Fitzhugh, et Galentine (2001) ont proposé une méthode applicable à toutes les espèces de félins, permettant de reconnaître des individus en fonction de leurs empreintes. Chaque empreinte peut être décrite par un ensemble de dix-sept caractéristiques, dont dix sont des formes des différentes parties de l'empreinte et sept des mesures linéaires et angulaires.

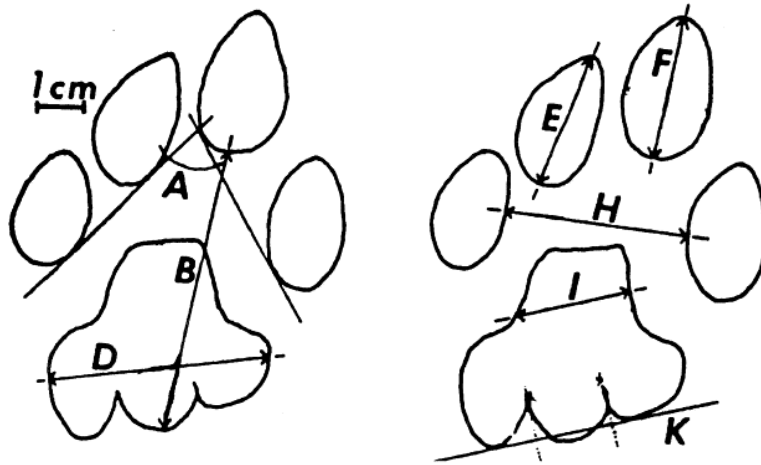


Figure 3 : mesures linéaires et angulaires décrivant l’empreinte d’un puma. A, angle entre les doigts ; B, longueur entre le talon et les doigts ; D, largeur du talon ; E, longueur du troisième doigt ; F, longueur du deuxième doigt, H, longueur entre les doigts externes ; I, largeur de la ligne médiane du coussinet principal ; K, ligne de base utilisée pour dessiner la ligne médiane. D’après Lewison, Fitzhugh, et Galentine (2001).

Lewison, Fitzhugh, et Galentine (2001) ont ainsi mesuré un ensemble de sept cent quatre-vingt-dix-sept empreintes réalisées à partir de moulages en silicone de pieds appartenant à treize pumas en captivité. Ils ont montré qu’une combinaison de six caractéristiques dont trois formes et trois mesures linéaires ou angulaires (A, B, H, le périmètre, la forme générale et la longueur maximale totale) seraient la plus efficace afin d’identifier un individu à partir de son empreinte. Elle permettrait d’identifier un maximum de pumas avec un minimum de mesures. Ces mesures doivent être idéalement répétées sur quatre empreintes provenant d’un même passage d’un animal. Cette technique a été appliquée à des pumas de captivité et aurait permis d’identifier correctement 96% des empreintes de pumas enregistrées.

Dans le même esprit, une équipe américaine a adapté au puma un logiciel d’identification d’empreintes FIT (FIT = Footprint Identification Technique), à l’origine créé pour l’étude des rhinocéros, permettant l’identification d’individus à partir de photographies d’empreintes (Alibhai, Jewell, et Evans 2017). Ils ont créé un algorithme spécifique au puma à partir de mesures de distances et d’angles entre des points sélectionnés par le logiciel. Les empreintes appartenaient à trente-cinq pumas vivant en captivité.

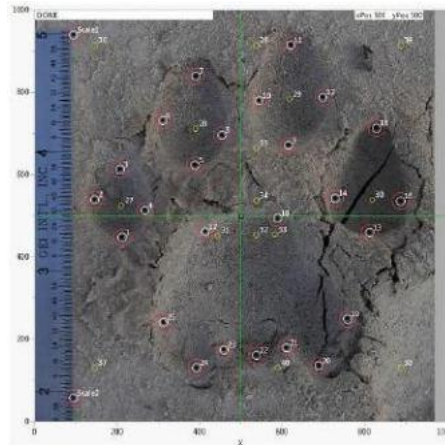


Figure 4 : une empreinte de puma montrant 40 repères générés par le logiciel FIT (Footprint Identification Technique) à partir desquels les mesures sont réalisées. D'après Alibhai, Jewell, et Evans (2017).

La base de données obtenue à partir des empreintes de ces trente-cinq pumas et l'algorithme déduit devraient permettre d'identifier des empreintes d'individus inconnus sauvages. Il n'y a, à ma connaissance, pas encore d'étude réalisée mettant en application cet algorithme sur le terrain.

Gusset et Burgener (2005) ont été parmi les premiers à réaliser une étude de terrain en mesurant cent trente-huit empreintes (largeur, longueur, profondeur) de grands carnivores dans un ranch d'Afrique du Sud parmi lesquels le léopard, le caracal, le serval et le chat sauvage africain pendant six mois. Ces empreintes étaient identifiées le long des routes en sable.

Tableau I : mesures des empreintes de plusieurs félins dans le ranch Shayamanzi en Afrique du Sud. N, nombre d'empreintes mesurées par espèces. D'après Gusset et Burgener (2005).

Espèces	Longueur totale du pied antérieur (mm)	Largeur totale du pied antérieur (mm)	Hauteur du coussinet principal du pied antérieur (mm)	Longueur totale du pied postérieur (mm)	Largeur totale du pied postérieur (mm)	Hauteur du coussinet principal du pied postérieur (mm)	Distance de chevauchement (cm)	Longueur de foulée (cm)
Léopard ( <i>Panthera pardus</i> ) (n=10)	87 +/- 12	86 +/- 13	42 +/- 5	84 +/- 8	78 +/- 5	39 +/- 6	4 +/- 3	107 +/- 16
Caracal ( <i>Caracal caracal</i> ) (n=32)	47 +/- 3	47 +/- 6	23 +/- 3	46 +/- 4	42 +/- 3	22 +/- 3	1 +/- 2	68 +/- 16
Serval ( <i>Leptailurus serval</i> ) (n=9)	47 +/- 3	52 +/- 3	24 +/- 2	46 +/- 4	45 +/- 5	23 +/- 2	1 +/- 1	65 +/- 9
Chat sauvage Africain ( <i>Felis silvestris libyca</i> ) (n=16)	37 +/- 2	36 +/- 3	16 +/- 1	32 +/- 5	31 +/- 5	15 +/- 1	0 +/- 0	47 +/- 11

Ces empreintes ont d'abord été identifiées de façon qualitative par l'équipe qui comparait simplement les empreintes entre-elles et essayait de déterminer si deux empreintes appartenaient ou non au même individu. Puis un test d'analyse de la variance ANOVA a été appliqué sur les valeurs mesurées afin de détecter statistiquement des différences significatives entre les mesures.

Tableau II : estimation du nombre d'individus ayant produit les empreintes décrites dans le tableau I. Le nombre d'individus a été estimé à partir d'une identification subjective puis d'une méthode quantitative. D'après Gusset et Burgener (2005).

Espèces	Estimation qualitative	Estimation quantitative (méthode ANOVA)
Léopard ( <i>Panthera pardus</i> )	4	3
Caracal ( <i>Caracal caracal</i> )	6	5
Serval ( <i>Leptailurus serval</i> )	3	3
Chat sauvage Africain ( <i>Felis silvestris libyca</i> )	5	5

Ces chiffres sont une première estimation du nombre d'individus par espèce vivant dans le ranch. Malgré leurs essais encourageants, la fiabilité de ces résultats n'a pu être vérifiée par une autre méthode d'estimation d'abondance comme un comptage direct dans le ranch ou une méthode de capture-marquage-recapture pour raisons financières et pratiques.

### 3) Intérêts et limites de la méthode des indices de présence

#### a) Intérêts

L'idée de pouvoir dénombrer un effectif de félins à partir du relevé seul des indices de présence est très tentante car cette méthode présenterait de nombreux avantages. Les indices de présence se trouvent plus facilement que les animaux eux-mêmes et leur recherche est non invasive et a un impact moindre sur la perturbation de l'environnement et des animaux. Ce sont des études qui sont reproductibles d'une année sur l'autre et dont les résultats sont comparables entre eux si les recherches se déroulent dans des conditions similaires (Smallwood et Fitzhugh 1995). Enfin la recherche d'indice de présence demande peu de matériel, est relativement facile d'un point de vue technique à mettre en place et peu coûteuse (sauf dans le cas de l'étude de Stander où chaque léopard a été équipé d'un collier émetteur) bien qu'elle nécessite du temps de prospection et plusieurs observateurs.

Silveira, Jácomo, et Diniz-Filho (2003) ont comparé les résultats obtenus par les méthodes de comptage d'indices de présence et pièges photographiques en termes de détection des espèces et d'estimation de leur abondance relative. Sur les vingt-huit espèces de mammifères de taille moyenne à grande présentes dans un parc national au Brésil, 68% ont été détectées par indices de présence, 64% par pièges photographiques et 57% par observations directes. L'estimation de leur abondance relative (taux de photographies et d'indices de présence collectés par jour) étaient relativement similaires avec les deux méthodes.

La recherche des indices de présence serait donc la méthode la plus simple et efficace pour établir une première estimation de la richesse en faune sauvage d'un lieu et réaliser un suivi des abondances relatives de ces espèces. Malheureusement, malgré tous les avantages que cela présenterait, aucune méthode n'existe encore en ce qui concerne l'estimation d'une abondance réelle par la recherche d'indices de présence.

## b) Limites

L'inconvénient principal de la recherche d'indices de présence est l'investissement nécessaire en temps de prospection, surtout que l'estimation d'une abondance relative ou réelle nécessite un suivi au fil du temps et que cet investissement est donc à prévoir sur le long terme.

De plus, l'observation des empreintes n'est possible que dans des conditions de terrain et des conditions météorologiques particulières (Silveira, Jácomo, et Diniz-Filho 2003), (Alibhai, Jewell, et Evans 2017). Les seules études publiées sur le sujet s'intéressaient à des espèces de félins habitant des milieux ouverts, facilement praticables et au substrat meuble, terre ou sable. Les félins vivant dans des forêts où la végétation est très dense, dans des milieux très secs ou rocheux ne laissent pas d'empreintes identifiables derrière eux. Seuls les substrats de type sable non sec ou terre meuble sont intéressants pour la recherche d'empreintes. Lewison, Fitzhugh, et Galentine (2001) ont montré qu'il existait une différence significative dans les mesures d'empreintes de pumas en fonction de la nature du sol et donc de la profondeur de l'empreinte. Ces études dépendent également de l'expérience des membres de l'équipe dans la lecture des indices et notamment dans l'identification de l'espèce. Elles nécessitent un véhicule ou des observateurs endurants pouvant prospecter à pied sur de grandes distances et des sites accessibles aux véhicules ou aux équipes à pied, ce qui exclut les environnements hostiles, trop denses ou trop escarpés (Smallwood et Fitzhugh 1995).

## B) Les pièges photographiques

### 1) Principe d'utilisation, choix du matériel et pose des pièges photographiques

#### a) Historique

Dans les années 1890, Shiras développa le premier piège photographique permettant aux animaux sauvages de se photographier eux-mêmes. Ce piège était composé d'un fil de détente activant un appareil photographique et son flash. Chaque espèce était invitée à tirer sur le fil de détente grâce à des appâts spécifiques, tel que du fromage pour les rats laveurs ou des charognes pour les vautours (« L'intérieur de la nuit » s. d.). Il gagna une médaille d'or à l'exposition universelle de Paris en 1900 pour ses clichés.

En 1927, Chapman publia le premier ouvrage ayant pour but de faire l'inventaire des espèces vivant dans une région donnée, l'île Barro Colorado au Panama (Chapman 1927). En utilisant le même procédé d'appâts, il réussit à recenser pumas, ocelots, tapirs, pécaris et coatis. Il étudia également le comportement de ces animaux et nota notamment la réaction de peur ou d'attrance de certains individus face aux pièges.

En 1984, Seydack utilisa une plateforme à détection de poids, permettant de déclencher un appareil photographique lorsqu'un animal de plus de deux kilos marchait dessus (Seydack 1984). En 1991, Carthew et Slater développèrent un piège composé d'un faisceau infrarouge et d'un capteur permettant le déclenchement de l'appareil photographique lorsque le faisceau était intercepté par un animal (Carthew et Slater 1991).

Des tigres ont été individuellement identifiés pour la première fois en Inde, en 1995, par Karanth (Karanth 1995). Afin d'estimer la taille d'une population de tigres, il utilisait une méthode de capture-marquage-recapture et se servait du motif unique de rayures de chaque individu afin de les identifier. Son travail a ensuite été repris comme modèle pour de nombreuses autres études sur les tigres dans un premier temps puis sur de nombreuses autres espèces dans d'autres milieux ensuite.

Plus récemment, les pièges photographiques ont permis de découvrir de nouvelles espèces, malheureusement déjà souvent en danger d'extinction au moment de la découverte. Ainsi en 2003, Holden a découvert une espèce de tapir dans un parc de Sumatra, dont la présence était encore insoupçonnée par les rangers du parc (Holden, Yanuar, et Martyr 2003).

Les pièges photographiques étant de plus en plus discrets, fiables et abordables, ils sont aujourd'hui couramment utilisés dans toute étude visant à documenter ou préserver la biodiversité.

## b) Modèles de pièges et fonctionnement

Les pièges photographiques sont composés d'un système

- Sans déclenchement programmé : les images sont prises à intervalles réguliers prédéfinis ou en continu. Ils sont utilisés pour les enregistrements d'évènements continus ou fréquents tels que l'étude des oiseaux dans leurs nids.
- Ou à déclenchement : une image est prise au passage d'un animal.

Le piège est déclenché de façon mécanique, l'animal déclenchant lui-même le piège en marchant sur une plaque détectant son poids ou en tirant sur un appât, ou grâce à une lumière infrarouge pulsatile. Celle-ci est

- active : la lumière infrarouge est émise par pulses d'un transmetteur à un émetteur comme un fil invisible. Lorsque ce fil est rompu par le passage d'un animal, une image est enregistrée.

- passive : deux capteurs sont placés côte à côte. Lorsqu'un animal passe devant les capteurs, son mouvement est détecté et déclenche l'appareil. Ce système est le plus couramment utilisé (Swann et al. 2004).

Le piège photographique type utilisé dans les études de terrain aujourd'hui est composé d'un système photographique, d'une source d'illumination nocturne, d'un capteur de déclenchement (détecteur de mouvement couplé à un détecteur infrarouge) et d'une alimentation énergétique. Tous ces éléments sont réunis en un seul boîtier ce qui facilite le transport, l'installation, et limite les risques qu'un composant soit mal armé ou endommagé par un animal.

## c) Choix du modèle

De nombreux critères sont à prendre en compte dans le choix d'un modèle de piège photographique en plus du système de fonctionnement ((O'Connell, Nichols, et Karanth 2011) :

- Le prix : les modèles coutent d'une centaine à plusieurs milliers d'euros.
- Le type de batterie : la batterie est à choisir en fonction de la durée de l'étude, de la facilité de recharge sur le terrain et au poids de l'appareil qui devra être transporté jusqu'au lieu d'installation.
- Le système d'éclairage nocturne : certains systèmes possèdent un flash incandescent permettant de réaliser des images en couleur de bonne qualité de jour comme de nuit mais pouvant effrayer les animaux, d'autres utilisent des LEDS, noires ou rouges, à priori invisibles des animaux mais ne permettant que des images monochromes de nuit.
- Le temps de déclenchement : il peut varier que quelques dixièmes de seconde à plus d'une seconde, l'idéal pour l'observation des animaux étant un temps de déclenchement très court (0,25sec).
- L'étanchéité : les pièges photographiques doivent être étanches à l'humidité en milieu montagneux ou tropical, au sable en milieu désertique...



- La coque de protection : plus ou moins petite, compacte, résistante et de différents coloris, elle permet de camoufler le piège à la vue des animaux et des promeneurs et de limiter les risques de vandalisme ou de dommage par les animaux. Elle atténue également le bruit de « click » émis par l'appareil photographique.
- D'autres options sont possibles : la résolution de l'image permettant d'obtenir des clichés de meilleure qualité mais étant plus lourde sur la carte mémoire ; la présence d'un flash automatique de nuit, le choix des heures de fonctionnement tel que l'aube et le crépuscule...

#### d) Choix du nombre de pièges

Les facteurs limitants le nombre de pièges sont leur prix, leur poids et leur taille car il faut les transporter jusqu'au lieu d'installation qui est souvent difficile d'accès.

Dans le cas d'une étude visant à déterminer le nombre d'individus vivant dans une zone délimitée, il est nécessaire que les pièges photographiques soient espacés de telle sorte que chaque individu ait une probabilité de détection non nulle c'est-à-dire qu'aucun espace de la taille d'un domaine vital ne soit laissé entre deux pièges photographiques (O'Connell, Nichols, et Karanth 2011).

Par exemple, Wang et Macdonald (2009) ont étudié les tigres et les léopards au Bhoutan et ont espacé leurs pièges de 3,6 km, cette distance correspondant au plus petit diamètre de domaine vital d'un léopard connu, les tigres ayant un domaine vital plus grand que celui des léopards.

De même, Soisalo et Cavalcanti (2006) se sont servi des données récoltées suite à la pose d'un collier GPS sur huit jaguars pour déterminer la taille moyenne d'un domaine vital de jaguar femelle, les femelles ayant un domaine vital plus petits que les mâles, et ainsi ne pas laisser d'espace plus grand que 40 km<sup>2</sup> entre deux pièges.

Le guépard du Sahara (*Acinonyx jubatus hecki*) est un félin rare et extrêmement peu étudié, son territoire est réputé pour être immense, jusqu'à 1650 km<sup>2</sup>. Belbachir et al. (2015) ont arbitrairement décidé d'installer un piège tous les 10 km dans le désert pour étudier cette espèce. A l'inverse, le lynx roux (*Lynx rufus*) étant connu pour avoir un petit territoire aux Etats-Unis, Alonso et al. (2015) ont quadrillé leur zone d'étude en installant un piège par carré de 4 km<sup>2</sup>.

Le nombre de pièges étant fixé pour une étude, augmenter la concentration en pièges augmente la probabilité de détection d'un animal exposé au piège mais diminue la zone d'étude couverte par les pièges et donc la probabilité de capture d'un plus grand nombre d'individus (Foster et Harmsen 2012).

Cependant, une trop grande concentration en pièges peut entraîner une hétérogénéité dans les probabilités de détection des individus puisqu'un individu comptant deux pièges sur son territoire a plus de chance d'être piégé qu'un individu n'en comptant qu'un seul (Foster et Harmsen 2012).

#### e) Installation des pièges

Les pièges photographiques peuvent être placés de façon aléatoire sur le terrain ou placés spécifiquement à des endroits choisis pour être des lieux de passage de l'espèce étudiée (Cusack et al. 2015).

Wearn et al. (2013) ont montré, en s'appuyant de l'exemple du chat bai à Bornéo, très rare et méconnu, que la probabilité de détection est significativement plus grande lorsque l'emplacement GPS des pièges photographiques est déterminé aléatoirement à l'avance.

Le placement au hasard limite les biais liés au choix de l'expérimentateur mais il est peu utilisé en pratique. Les parcs et réserves dans lesquels se déroulent habituellement les études de félins sont peu accessibles, escarpés, parfois très dense en végétation, ou semés d'obstacles naturels tels que des rivières infranchissables ce qui limite la possibilité d'accéder à un point du site qui aurait été choisi au hasard.

Les pièges photographiques sont généralement installés dans des sites particulièrement fréquentés par l'espèce ciblée, caractérisés par une forte concentration en indices de présence : empreintes, marquage de territoire, fèces (Wang et Macdonald 2009). Soisalo et Cavalcanti (2006) ont équipé quelques jaguars d'un collier émetteur dans une grande plaine inondée au Brésil, préalablement à l'étude par pièges photographiques, afin de repérer les sites fréquentés par les jaguars.

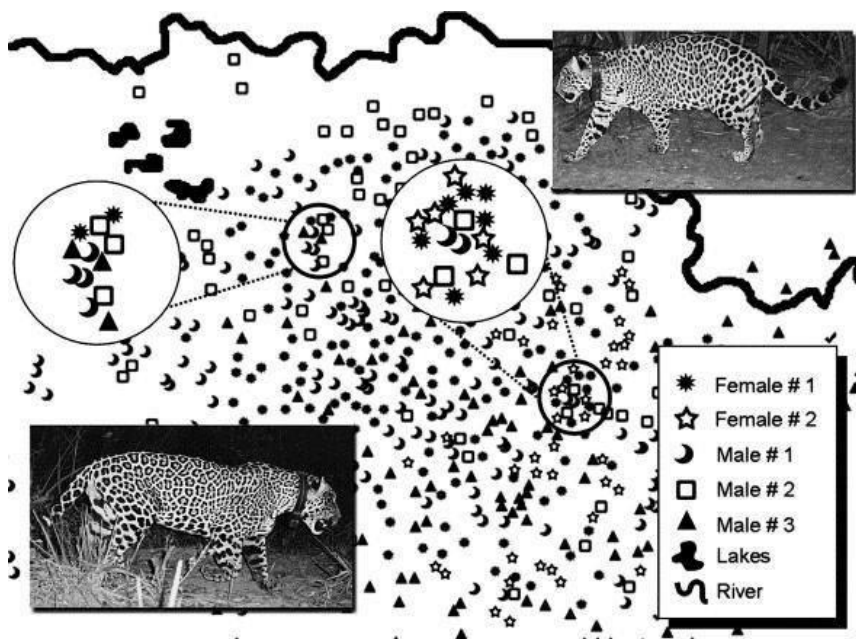


Figure 5 : choix des lieux d'installation des pièges photographiques dans des sites particulièrement fréquentés par des jaguars équipés de colliers GPS. Les zones encadrées indiquent des sites fréquentés par plusieurs jaguars. D'après Soisalo et Cavalcanti (2006).

Brassine et Parker (2015) ont choisi de placer leurs pièges dans des lieux de marquage des guépards au Botswana, où les déjections, traces d'urines et grattages se trouvaient en grande quantité. Ces lieux ont l'avantage d'être fréquentés par plusieurs individus et de retenir les animaux suffisamment longtemps pour obtenir plusieurs clichés.

Bien sûr, pour l'étude de certaines espèces, les chercheurs ont très peu de choix et doivent se contenter du peu de supports disponibles. Par exemple, Belbachir et al. (2015) ont étudié le guépard du Sahara en milieu désertique et ont dû fixer leurs pièges photographiques aux seuls arbres solitaires et rochers présents dans la zone d'étude. Ces abris étant très rares, ils avaient l'avantage d'être attractifs pour les animaux et de fournir de l'ombre au matériel pour le protéger des fortes chaleurs.

Afin que l'animal soit photographié et ne passe pas en dehors du champ de l'appareil, ses mouvements aux abords du piège doivent être restreints, dans la mesure du possible. Les sites choisis sont donc situés sur une ligne de crête de montagne, à l'entrée d'un vallon, proche d'un point d'eau, ou sur un sentier encadré par deux reliefs ou une végétation dense par exemple (Wang et Macdonald 2009).

Les félins sont connus pour se déplacer le long des sentiers naturellement créés par les reliefs ou la végétation ce qui facilite le choix de l'emplacement des pièges, cependant Foster et Harmsen (2012) ont souligné que cela créait un biais car ces sentiers sont plus souvent utilisés par les mâles que les femelles.

Le piège doit être posé sur un support solide, en hauteur (environ 40-45cm du sol) avec un angle de prise de vue adapté à la taille de l'animal cible. Lorsque le piège est posé trop haut, les images sont prises de loin ou sont déformées ce qui ne favorise pas l'identification des individus par l'étude de leur pelage. Lorsque le piège est posé trop bas, les herbes ou les petits animaux peuvent entrer dans le champ du capteur, déclencher l'appareil de façon intempestive et saturer rapidement la mémoire de l'appareil. De plus, il est à portée des animaux et peut être dégradé s'il est considéré comme indésirable ou intéressant.

Idéalement deux pièges photographiques sont placés de part et d'autre du couloir de passage afin de photographier les deux flancs de l'animal et faciliter sa reconnaissance (Kelly et al. 2008), (Soisalo et Cavalcanti 2006), (Hearn et al. 2016). En pratique cela peut être difficile car le terrain peut être raide et étroit laissant déjà peu de place pour un seul piège (Wang et Macdonald 2009), ou les chercheurs préfèrent favoriser une plus grande zone d'étude avec le nombre de pièges disponibles (Alonso et al. 2015), (Brassine et Parker 2015).

Alexander et al. (2015) ont étudié les panthères des neiges et ont choisi de placer un seul piège par site de façon à obtenir des images de la tête et non des flancs, afin d'identifier les individus à partir des marques caractéristiques situées sur leur tête, où la fourrure est moins épaisse.

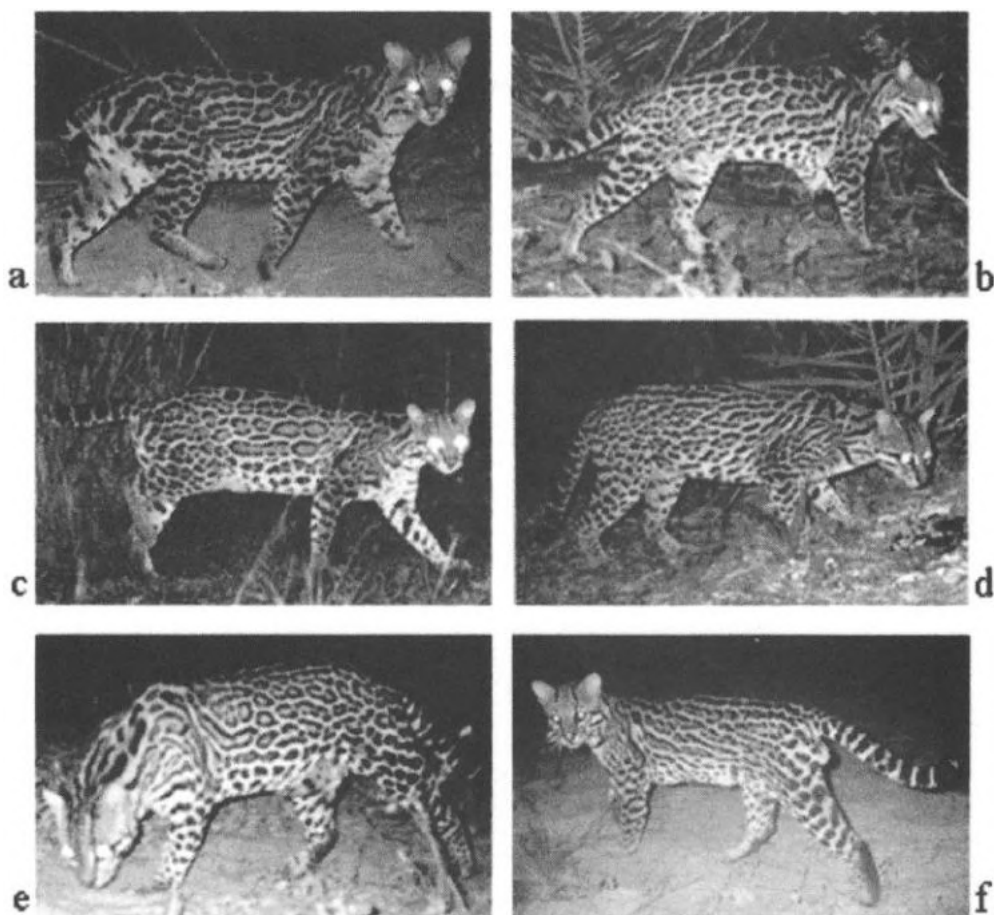
## 2) Estimation de l'abondance à partir des pièges photographiques

### a) Identification des individus sur les photographies obtenues

Les félins présentent l'avantage d'être presque tous facilement identifiables grâce au motif unique présent sur leur pelage : rosettes, taches et rayures. Les photographies des individus de l'espèce étudiée qui permettent l'identification sont sélectionnées (animal bien positionné, qualité d'image suffisante...) parmi la quantité d'images obtenues d'autres espèces, de végétaux ou de morceaux d'animal non identifiables.

Les images sont ensuite analysées une par une par les chercheurs et comparées les unes aux autres. Une seule marque différente suffit à dire que deux individus sont différents (Brassine et Parker 2015), (Alonso et al. 2015), mais les études ne s'accordent pas sur le nombre de marques identiques nécessaires pour dire que deux photographies représentent le même individu. Plusieurs protocoles d'identification sont fait selon l'estimation que minimum trois marques identiques sont nécessaires (Sharma et al. 2014), (Brassine et Parker 2015) sans justification du choix de ce chiffre.

Trolle et Kery (2003) ont préconisé de se servir des marques situées sur le haut des épaules et des flancs car celles situées sur les parties plus basses peuvent varier en fonction de la position de la patte et de combiner l'observation de pattern sur le pelage avec d'autres signes morphologiques distinctifs tels que la silhouette, la longueur de la queue, le sexe si visible, et la forme ou marques distinctives sur les oreilles.



*Figure 6 : six ocelots photographés par pièges photographiques et identifiés grâce à des marques distinctives a) femelle, queue très courte, entailles sur les deux oreilles, longue série de rosettes fondues ensemble ; b) femelle, corps svelte, queue de taille moyenne, rosettes de taille moyenne isolées ; c) femelle en lactation, queue courte, rosettes larges et rondes ; d) femelle, longue queue, rosettes peu définies et nombreuses taches et lignes ; e) mâle, corps robuste, longue queue, longue rosette sur l'épaule et nombreuses petites taches sur le flanc ; f) mâle, queue très longue, rosettes longues et étroites. D'après Trolle et Kery (2003).*

Plus récemment, des études par pièges photographiques se sont intéressées à des espèces de félins ne possédant pas de pelage aux motifs unique. L'exemple typique est celui du puma. Dans ce cas, les individus sont identifiés à partir de marques phénotypiques moins visibles comme la forme de la queue ou la coloration de l'extrémité d'une patte, ou de marques induites comme une cicatrice (Kelly et al. 2008). Cette méthode implique que chaque individu doit posséder un marqueur unique ce qui est possible pour de petits échantillons mais devient peu probable lorsque les échantillons sont suffisamment grands pour une estimation d'abondance fiable (Foster et Harmsen 2012).

b)



c)

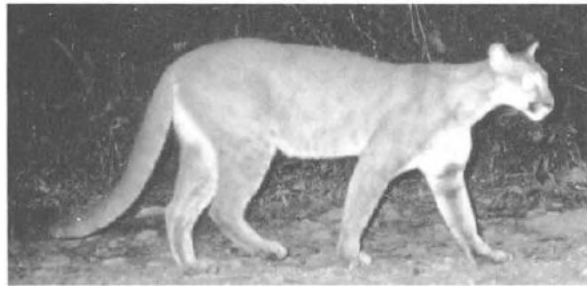


Figure 7 : identification de deux pumas à partir de caractéristiques évidentes b) telles qu'une cicatrice sur le flanc ou plus subtiles c) comme un sous-poil tacheté et des taches dans la face interne d'un membre. D'après Kelly et al. (2008).

Dans la plupart des études, l'identification se fait de façon indépendante par plusieurs personnes et les photographies qui ne font pas l'unanimité sont sorties de l'étude (Hearn et al. 2016), (Kelly et al. 2008), (Brassine et Parker 2015), (Alonso et al. 2015). Il arrive cependant que les chercheurs estiment qu'une photographie non identifiable corresponde au même individu précédemment photographié par le même piège (Foster et Harmsen 2012). Il n'est presque jamais mentionné dans les discussions le nombre de photographies qui ont été rejetées de l'étude ou le protocole concernant ces photographies ambiguës (Foster et Harmsen 2012). Or la mauvaise identification d'un individu déjà piégé comme nouvel individu résulte en une surestimation de l'abondance et la mauvaise identification d'un individu peu visible sur une photographie comme individu déjà piégé peut résulter en une sous-estimation de l'abondance. Ces points devraient être systématiquement discutés (Foster et Harmsen 2012).

L'historique des captures-recaptures est ensuite entré dans une matrice, comprenant une ligne de 0 ou 1 pour chaque individu identifié, suivant que cet individu a été capturé ou non à chaque relevé des pièges photographiques.

#### b) Conditions nécessaires à l'estimation de l'abondance

L'estimation d'une abondance réelle nécessite que la population soit close spatialement et démographiquement pendant la durée de l'étude. Cela signifie que les déplacements des individus aux frontières du système sont inexistantes ou négligeables, et qu'aucune naissance ou décès ne viennent modifier de façon significative le nombre d'individus au cours de l'étude (O'Connell, Nichols, et Karanth 2011). Cette condition doit être vérifiée pour que les résultats d'estimation de l'abondance soient considérés comme fiables. La méthode de capture-marquage-recapture permet aussi de travailler en population ouverte mais cela nécessite beaucoup de données ce qui n'est jamais le cas dans les études de félins.

La condition spatiale est automatiquement vérifiée lorsque l'étude se déroule sur une île ou dans un lieu bordé de frontières naturelles infranchissables ou d'une zone urbaine (Alonso et al. 2015). Lorsque ce n'est pas le cas, la zone d'étude doit être suffisamment grande, la recommandation étant de minimum quatre fois la taille d'un territoire moyen de l'espèce étudiée (Otis et al. 1978).

Démographiquement, cela est possible lorsque l'espèce étudiée a une espérance de vie longue en comparaison de la durée de l'étude (Kelly et al. 2008). La durée maximale d'étude recommandée est de 90 jours pour les grands félins, une durée supérieure ne garantit pas que le nombre de naissances ou décès soit négligeable (Kārantā et Nichols 2002).

### c) Principe de l'estimation de l'abondance

Le piégeage photographique étant une méthode de capture-recapture, on utilise le modèle de Lincoln – Peterson (Lincoln 1930) (Peterson 1896) afin d'estimer un effectif  $N$  en fonction de :

- $n_1$  : nombre d'individus photographiés et identifiés à la première session de capture
- $n_2$  : nombre d'individus photographiés à la deuxième session de capture
- $m$  : nombre d'individus parmi les  $n_2$  qui avaient déjà été identifiés la première fois

On obtient alors :

$$\frac{n_1}{N} = \frac{m}{n_2} \quad \text{D'où } N = \frac{n_1 n_2}{m}$$

Ce modèle fait cependant l'hypothèse que tous les individus ont la même probabilité de détection ( $p$ ) et surtout que cette probabilité est la même au cours des deux sessions de capture. Cependant il est très peu probable que tous les individus aient la même probabilité de capture.

Des logiciels ont été créés afin de tester différents modèles faisant intervenir des différences de probabilité de capture en fonction des paramètres de l'étude et de l'historique de capture de chaque animal. Le modèle couramment utilisé est celui d'Otis (Otis et al. 1978). Ce modèle suppose que la probabilité de capture peut varier en fonction du temps, de la réaction d'un individu à sa première capture ou de paramètres biologiques propres à chaque individu tel que son âge, son sexe...

$M_0 = p$  est le même pour tous les individus

$M_t = p$  varie dans le temps, par exemple est différent au cours d'une saison humide ou sèche

$M_b = p$  varie entre la première capture et les captures suivantes, tenant compte de la réponse face au piège des individus déjà piégés par rapport aux nouveaux individus

$M_h = p$  varie en fonction de chaque individu, de son sexe, de son âge, de son statut social...

Certains logiciels tels que CAPTURE ou MARK (Alonso et al. 2015), permettent de tester ces hypothèses en fonction des conditions de l'étude et des résultats obtenus afin de sélectionner la plus adéquate à l'étude. Le modèle  $M_h$  étant le plus réaliste et celui reflétant le plus le comportement des félins, il est quasiment exclusivement utilisé (Kelly et al. 2008), (Wang et Macdonald 2009), (Foster et Harmsen 2012).

Dans de très rares cas, un autre modèle est choisi. Par exemple, Soisalo et Cavalcanti (2006) ont sélectionné le modèle  $M_b$  car les jaguars de leur étude avaient une probabilité de première détection de 9% puis de recapture de 17%. Ils ont fait l'hypothèse que cela n'était pas dû à une attirance de ces félins pour les pièges mais parce que les pièges avaient été placés dans des lieux de fréquentations importantes des jaguars, mis en évidence par la pose de collier GPS sur plusieurs individus.

Lorsque l'identification des individus sur les photographies est terminée et qu'une des hypothèses concernant la probabilité de détection a été choisie, le logiciel calcule cette probabilité de détection en fonction de l'historique de captures.

#### d) Estimation de l'abondance

Lorsque  $C$ , le nombre d'individus identifiés sur les photographies dans la zone étudiée au cours d'une session de capture et  $p$ , la probabilité de détection sont connus, on peut estimer  $N$ , l'effectif de la population par :

$$\hat{N} = \sum_{i=1}^c 1 / \hat{p}$$

L'estimation de la variance de la taille de la population peut ensuite être estimée par :

$$\text{var}(\hat{N}) = [\text{var}(C) / E(C)^2 + \text{var}(\hat{p}) / \hat{p}^2] \hat{N}^2$$

#### e) Estimation de la densité de population

La densité de population ne peut être calculée à partir de l'abondance que si la taille exacte de la zone d'étude est connue, c'est-à-dire la taille de la zone couverte par les pièges photographiques. Lorsque cette zone  $A$  est connue on a : (Soisalo et Cavalcanti 2006)

$$\hat{D} = \hat{N} / \hat{A},$$

$$\text{var}(\hat{D}) \approx \hat{D}^2 [\text{var}(\hat{A}) / \hat{A}^2 + \text{var}(\hat{N}) / (\hat{N}^2)].$$

En première approximation, plusieurs chercheurs considèrent que la zone d'étude est délimitée par le polygone reliant les pièges photographiques les plus extérieurs. Cependant cela n'est exact que dans le cas où l'étude se déroule sur une petite île ou que les déplacements des animaux en dehors de ce polygone sont limités par des barrières physiques environnementales. En général, une zone tampon est ajoutée à l'extérieur de ce polygone afin de prendre en compte la totalité de l'aire des territoires qui se situeraient à cheval sur cette délimitation. Plusieurs études ont pour but de déterminer la taille de cette zone tampon.

Dice (1938) a été le premier à proposer une méthode consistant à ajouter une zone tampon de part et d'autre de chaque piège photographique de la taille de la moitié du diamètre moyen d'un territoire.

Plus tard, Wilson et Anderson (1985) ont proposé de calculer la Distance Maximale Moyenne parcourue (MMDM = Mean Maximum Distance Moved) par les individus identifiés sur deux pièges photographiques différents au cours de l'étude. Cette distance est censée refléter une estimation du diamètre moyen d'un territoire mais nécessite un nombre conséquent de recaptures afin d'être représentative. Pour créer la zone tampon, Wilson et Anderson traçaient un cercle ayant pour centre les pièges les plus extérieurs formant le polygone et de rayon la moitié de cette distance obtenue (1/2MMDM). Cette méthode est aujourd'hui très utilisée bien qu'elle soit connue pour surestimer la densité de population. Ainsi plus récemment, Parmenter et al. (2003) ont proposé une méthode alternative à priori moins biaisée en utilisant la MMDM totale et non sa moitié.



Ces méthodes sont souvent remises en question dans les discussions des études bien qu'aucune autre alternative ne soit proposée. Soisalo et Cavalcanti (2006) ont montré que MMDM sous-estime considérablement la taille de la zone d'étude réelle comparé à la taille obtenue à partir de données de colliers GPS sur des jaguars au Brésil (360km<sup>2</sup> contre 568km<sup>2</sup> respectivement). En effet, les jaguars porteurs de colliers se sont déplacés sur des distances presque deux fois plus grandes que les distances reflétées par la MMDM. Cette étude souligne les erreurs commises dans de nombreuses études précédentes lors de la conversion de l'abondance en densité de population.

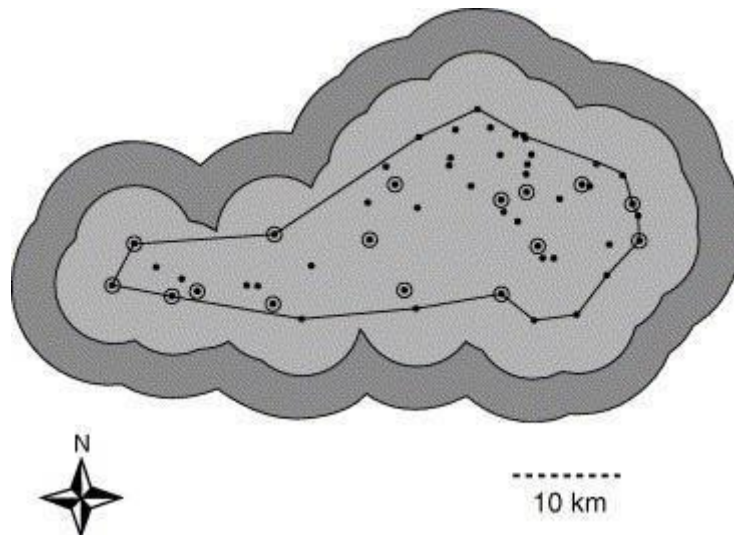


Figure 8 : disposition des pièges photographiques en 2003 • et 2004 dans une étude sur le jaguar au Brésil. —•— polygone reliant les pièges les plus extérieurs (zone = 165 km<sup>2</sup>), ■ zone échantillonnée calculée à partir de la MMDM des jaguars ayant été capturés par au moins deux pièges (zone = 360 km<sup>2</sup>) ■ zone échantillonnée calculée à partir des données GPS fournies par des jaguars portant des colliers émetteurs (zone = 568 km<sup>2</sup>). D'après Soisalo et Cavalcanti (2006).

Les études utilisent l'une ou l'autre des méthodes ce qui rend leurs résultats peu comparables entre eux. Les résultats sont d'autant plus différents que la taille moyenne de territoire de l'espèce est grande.

Par exemple, les lynx ayant un petit territoire de quelques kilomètres carrés, la zone d'étude réelle varie de 96,2 km<sup>2</sup> (1/2MMDM) à 119,1 km<sup>2</sup>(MMDM) faisant peu varier la densité de population finale obtenue avec les deux méthodes (Alonso et al. 2015). Par contre, pour le guépard du Sahara, dont la taille du territoire estimée à 1583 km<sup>2</sup> avec les pièges photographiques, la zone effective d'étude varie de 9029 km<sup>2</sup> (1/2MMDM) à 19069 km<sup>2</sup> (MMDM). Les densités de populations de guépards qui en résultent varient donc de façon importante en fonction de la méthode utilisée (Belbachir et al. 2015).

### 3) Limites d'une méthode se voulant non invasive

L'utilisation des pièges photographiques est une méthode se voulant non invasive, cependant certaines réactions des animaux face aux pièges montrent qu'ils peuvent être dérangés, effrayés ou au contraire intéressés par le matériel et que cela modifie leur comportement habituel.



P. D. Meek et al. (2014) ont montré que ce dérangement pouvait être :

- Sonore : les composants électriques et le déclenchement mécanique du piège peuvent émettre des sons, en particulier lorsque la batterie est faible.
- Visuel : les animaux présentent une néophobie envers un objet inconnu de forme géométrique introduit dans leur environnement ainsi que pour l'éclairage émis par le flash ou les LED infrarouge. La vision des félins est adaptée à la détection nocturne de stimuli lumineux très faibles, il a été démontré que leur rétine était sensible jusqu'à 826nm, et que certains modèles de LED infrarouge émettaient de la lumière en dessous de 800nm.

En étudiant les empreintes de tigres au Népal, Wegge, Pokheral, et Jnawali (2004) ont montré que les pièges étaient détectés jusqu'à une distance de 50 m par ces animaux et que le taux de capture diminuait significativement de 50% en 5 nuits successives de piégeage probablement en raison du comportement d'évitement face au flash émis par les appareils photographiques.

- Olfactif : l'odeur du métal, du plastique et l'odeur des humains venus installer le piège effraie les animaux.

P. Meek et al. (2016) ont étudié le comportement de chats sauvages face à ces pièges et classés ces comportements en grandes catégories :

- Observation
- Surprise, vigilance, changement de l'expression faciale, de posture, allure, trajectoire
- Répulsion : l'animal refuse de passer devant le piège ou s'en éloigne
- Fuite
- Approche, exploration

Ils ont mis en évidence une différence de détection entre le jour et la nuit, les félins ayant tendance à plus noter la présence des pièges le jour que la nuit. Les chats sauvages étaient très peu dérangés par les pièges, moins de 4% des observations seulement étant répulsion ou fuite. A l'inverse, les chats étaient souvent attirés par les pièges, s'approchant et s'arrêtant devant l'appareil en bougeant les oreilles comme pour se concentrer sur un bruit. Ils ont aussi été vus urinant sur les appareils pour les marquer. Il est donc possible que chez certains félins, l'emplacement des pièges photographiques deviennent un lieu de marquage favorisant le retour des félins et l'attrance de nouveaux individus à ces pièges.

#### 4) Perspectives d'avenir pour la recherche par pièges photographiques

Les études de la faune sauvage, qu'elles aient pour principal intérêt de faire un recensement d'espèces, d'étudier un comportement ou de faire le suivi d'une espèce en particulier utilisent presque toutes le piégeage photographique aujourd'hui (Foster et Harmsen 2012). Concernant les félins, les pièges photographiques sont devenus un outil indispensable à la connaissance d'espèces presque impossibles à observer directement dans leur environnement.

Les estimations d'abondance de populations à partir de pièges photographiques sont aujourd'hui les seules données que nous avons en quantité suffisante pour permettre d'être combinées et d'effectuer le suivi d'une espèce au niveau mondial (IUCN 2017)

## C) Les analyses génétiques

### 1) Récolte des échantillons sur le terrain

#### a) Reconnaissance des fèces de félins

La recherche de fèces de félins est facilitée par leur comportement car ils ont tendance à utiliser des lieux de marquage où ils déposent fréquemment excréments et jets d'urine (Karmacharya et al. 2011).

Les excréments sont identifiés grâce à leur taille, leur forme, leur odeur et leur composition en végétaux ou reste d'os identifiables. L'association avec d'autres indices tels que la proximité avec des indices de présence (empreintes et grattage), la piste proche dessinée par des proies, des restes de carcasses de proies permettent d'augmenter la spécificité et de limiter les erreurs d'identification (Karmacharya et al. 2011), (Janečka et al. 2011).

Les lieux connus pour être fréquentés par les félins sont favorisés. Par exemple, Karmacharya et al. (2011) ont collecté des excréments de panthères des neiges en concentrant leur recherche autour des affleurements rocheux, des lignes de crêtes et bords de falaise.

Certaines espèces de petits félins, notamment les ocelots, urinent et défèquent dans des lieux spécifiques appelés latrines situées dans de grandes cavités de troncs d'arbres ou sous un arbre mort et fréquentées par plusieurs individus (Rodgers et Janečka 2013). Afin de récolter des excréments d'ocelots, Rodgers et al. (2014) ont donc concentré leurs recherches sur ces endroits, fréquentés par plusieurs ocelots des deux sexes et permettant de récolter des excréments frais chaque jour.



*Figure 9 : : un ocelot déféquant dans des latrines, dans la cavité créée par le tronc d'un arbre, sur l'île de Barro Colorado au Panama. D'après Rodgers et al. (2014).*

#### b) Conservation des prélèvements

Les échantillons prélevés doivent être conservés dans un emballage étanche, à l'abri de l'air, du soleil ou de l'humidité, autant de paramètres contribuant à la dégradation du prélèvement, à la prolifération des bactéries et champignons à sa surface et donc à la perte de matériel génétique. Cela représente un grand enjeu pour toutes les études génétiques car les prélèvements sont souvent conservés plusieurs mois à années avant d'être envoyés au laboratoire.

Karmacharya et al. (2011) ont obtenus des résultats insuffisants de matériel génétique car leurs prélèvements étaient humides à l'arrivée au laboratoire, bien qu'ayant été conservés pendant deux à trois ans dans de la silice desséchante.

La quantité d'ADN de l'émetteur contenue dans les fèces est faible, de plus l'ADN est concentré au pourtour des fèces et donc susceptible de se dégrader. Les fèces doivent être récoltées les plus fraîches possibles ce qui est difficile en pratique. Reddy et al. (2012) ont évalué la dégradation de l'ADN lorsque les excréments étaient exposés au soleil pendant 12 heures 3, 5, 7 ou 9 jours en prélevant des excréments de tigres et de léopards vivant en captivité. Ils ont ainsi montré que la lumière du soleil détruisait de façon significative la quantité et la qualité de l'ADN dans les fèces. La différence était très significative entre 12h et 3 jours d'exposition puis n'était plus significative entre les jours 3 et 5, 5 et 7, et 7 et 9 d'exposition. Ainsi, la dégradation maximale de l'ADN survient avant 3 jours d'exposition. Sur le terrain, les fèces prélevées sont souvent âgées de plusieurs jours à plusieurs semaines.

*Tableau III : concentration en ADN dans des échantillons de fèces âgés de 1 à 9 jours exposés à la lumière directe du jour, mesurée par PCR quantitative. D'après Reddy et al. (2012).*

Days in direct sunlight	DNA conc. (pg/ul) (n=10)	DNA conc. (pg/ul) Tiger (n=7)	DNA conc. (pg/ul) Leopard (n=3)
1	1070.9 (±645.6)	1090.2(±813.1)	1051.6(±525)
3	242.7(±95.2)	212.3(±99.9)	273(±89.9)
5	56.9(±28.8)	40.3(±11.7)	73.4(±32.3)
7	11.9(±6.5)	8.1(±2.8)	15.5(±7.2)
9	3.7(±2.8)	2.1(±1.1)	5.4(±3.1)

Reddy et al. (2012) ont également testé deux méthodes de conservation des prélèvements, régulièrement utilisées sur le terrain : la dessiccation à la silice et le stockage dans de l'éthanol. Leurs résultats ont montré que la conservation de l'ADN était bien supérieure grâce à la méthode combinant les deux agents de conservation : 24 heures dans de l'éthanol suivies d'une conservation longue durée dans de la silice desséchante. Cependant cette différence entre les méthodes de conservation n'était significative que lorsque le prélèvement datait de moins de trois jours.

## 2) Identification de l'espèce puis des individus à partir des prélèvements

### a) Extraction de l'ADN

L'extraction de l'ADN se fait sur quelques milligrammes à quelques grammes de fèces. L'ADN est extrait à l'aide d'un kit d'extraction spécifique aux échantillons de fèces. Plusieurs kits sont commercialisés. Ces kits sont créés pour retirer les inhibiteurs de PCR qu'on trouve fréquemment dans les fèces (Rodgers et Janečka 2013).

Rodgers et Janečka (2013) ont montré qu'en moyenne, moins de 80% des prélèvements permettaient d'obtenir de l'ADN en quantité et qualité suffisante pour identifier l'espèce. Parmi eux, environ 70% seront réellement des prélèvements correspondant à l'espèce étudiée, les autres étant des erreurs d'identification sur le terrain. Enfin, parmi les prélèvements restants, moins de 70% auront une quantité d'ADN suffisante à l'identification de l'individu.

Ainsi, si on souhaite obtenir 30 échantillons permettant l'identification des individus, l'ADN devra être extrait d'au moins 76 prélèvements.

### b) Identifier l'espèce

La première étape est de différencier l'ADN des espèces concernées avec celles de leurs proies qui se trouvent dans les restes alimentaires des excréments. Pour cela une première réaction PCR faisant intervenir des amorces spécifiques des carnivores (Karmacharya et al. 2011) ou des félidés (Reddy et al. 2012) est réalisée.

À la suite de ce premier tri, une réaction PCR permet d'amplifier l'ADN de l'espèce concernée en utilisant des amorces spécifiques à cette espèce. Les amorces sont fabriquées en utilisant des séquences du gène mitochondrial du cytochrome b, disponibles dans une banque de données GenBank (Reddy et al. 2012), (Bhagavatula et Singh 2006), (Janečka et al. 2011). Cette banque contient des données de génotypage de plusieurs espèces et notamment le tigre, le léopard, la panthère des neiges, le lynx boréal.

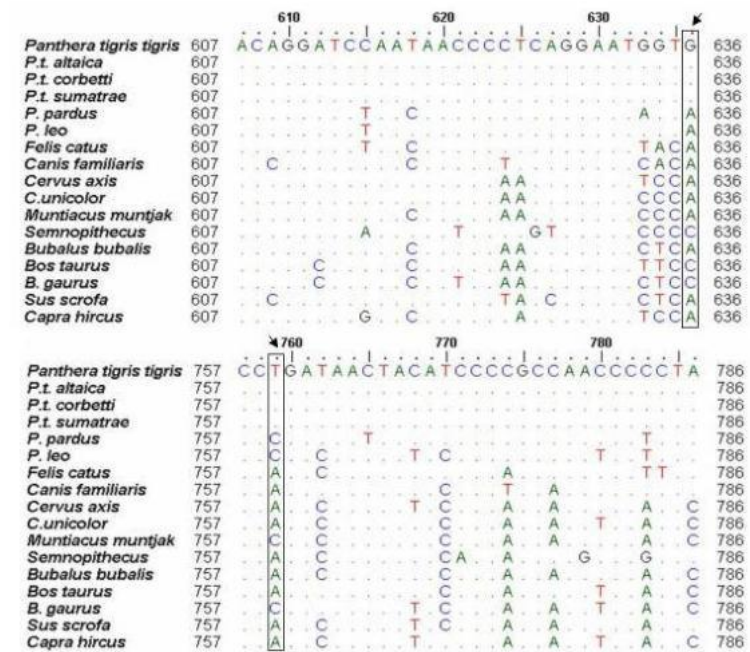


Figure 10 : alignement de séquences de quelques espèces de carnivores et de proies. Les flèches indiquent les variations spécifiques au tigre aux positions 636 et 759 du gène mitochondrial du cytochrome b qui seront utilisées pour créer les amorces spécifiques au tigre. D'après Bhagavatula et Singh (2006).

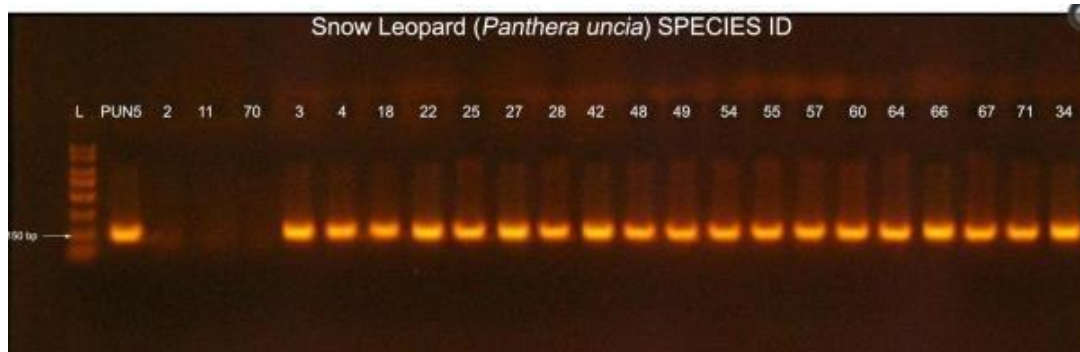


Figure 11 : identification de panthères des neiges par PCR. L'amorce spécifique utilisée permettait l'amplification d'une région de 150 bases du gène du cytochrome b mitochondrial. PUN5 = échantillon connu de panthère de neiges. Les échantillons 2, 11 et 70 ne correspondent pas à des échantillons de panthères de neiges. Le reste des échantillons est positif pour l'identification de panthères des neiges. D'après Karmacharya et al. (2011).

Cette étape permet d'exclure de la suite des analyses un grand nombre d'échantillons qui n'étaient finalement pas de l'espèce étudiée. Ainsi, Karmacharya et al. (2011) ont prélevé 71 fèces correspondant a priori à des excréments de panthères des neiges mais après analyses génétiques, seulement 27% d'entre eux étaient réellement de la panthère.

Bhagavatula et Singh (2006) ont travaillé sur le tigre. Sur 48 échantillons, l'ADN a pu être extrait de 40 échantillons soit 83%, et 28 d'entre eux soit 70% étaient positifs pour le tigre.

### c) Identifier les individus

Contrairement à l'étape d'identification de l'espèce utilisant une séquence de gène mitochondrial, les individus sont identifiés à l'aide de marqueurs microsatellites d'ADN nucléaire. Or l'ADN nucléaire est présent en moins grande quantité et est moins stable que l'ADN mitochondrial. De nombreux échantillons sont donc perdus entre les deux étapes puisqu'ils sont correctement identifiés au niveau de l'espèce mais ne possèdent pas assez de matériel pour être utilisé au niveau de l'individu (Reddy et al. 2012).

Parmi les échantillons appartenant à la bonne espèce, les individus sont identifiés à l'aide de marqueurs microsatellites. Plusieurs méthodes sont décrites pour créer ces marqueurs.

Par exemple, Mondol et al. (2009) ont prélevé du sang et des échantillons de fèces sur 36 léopards capturés et anesthésiés. A partir du sang de ces léopards, ils ont testé 25 microsatellites afin de déterminer les loci les plus polymorphes. Dix loci ont ensuite été sélectionnés pour l'identification individuelle des léopards. Ces 10 loci ont été testés pour 18 échantillons de fèces de léopards dont Mondol et al. (2009) avaient également prélevés du sang. Le taux d'amplification variait de 22 à 94%. Les huit loci ayant un taux d'amplification supérieur à 77% ont été sélectionnés afin d'identifier les échantillons prélevés sur le terrain. Sur 44 échantillons d'excréments de léopards, 10 seulement ont produits des données suffisamment fiables pour être analysées permettant d'identifier 7 léopards différents.

Le nombre de marqueurs microsatellites utilisé varie énormément en fonction des études : Karmacharya et al. (2011) ont utilisé 6 séquences microsatellites correspondant à 6 loci polymorphes situés sur 6 chromosomes différents afin d'individualiser les excréments de panthères de neiges. Sur 19 échantillons de panthères des neiges, 10 ont pu être génotypés convenablement, permettant d'identifier 9 individus.

Rodgers et al. (2014) n'ont utilisé que 4 séquences microsatellites afin d'identifier des ocelots. Ils ont cependant réalisé le génotypage de chaque échantillon entre trois et neuf fois pour limiter le risque d'erreur (perte d'allèle, erreur dans la polymérisation). Janečka et al. (2011) recommandent également de réaliser un minimum de trois essais par échantillon pour minimiser les erreurs au cours des réactions PCR.

Lorsque trop peu de marqueurs sont utilisés, généralement par manque de moyens financiers, des erreurs d'identification peuvent apparaître. En effet, dans une population où les individus sont très apparentés, les profils génétiques peuvent paraître similaires et fausser les résultats (Bhagavatula et Singh 2006).

### 3) Intérêts et limites de la méthode

#### a) Intérêts

La récolte de prélèvements sur le terrain demande peu de matériel. Deux personnes seulement sont nécessaires bien que les équipes soient souvent constituées de plusieurs observateurs. La taille de la zone échantillonnée peut être très importante si elle est couverte par un ou plusieurs véhicules.

L'analyse génétique pourrait se faire sur différents types d'échantillon tels que du sang ou des poils mais les fèces restent l'échantillon favoris car ils se trouvent facilement, en grande quantité et ne requièrent aucun contact avec l'animal (Kohn et al. 1999)

#### b) Limites

##### i. Prélèvements de terrain

Comme pour la recherche d'indices de présence, la recherche et la reconnaissance des fèces sur le terrain requiert des observateurs ayant une bonne connaissance du terrain et des compétences en lecture d'indices de présence. Dans la plupart des études, un très grand nombre d'échantillons prélevés ne correspondent finalement pas à l'espèce souhaitée après premières analyses. Cela entraîne des coûts supplémentaires d'analyses au laboratoire, une analyse génétique d'identification d'espèce coûtant environ dix dollars par échantillon d'après Janečka et al. (2011).

Par exemple Karmacharya et al. (2011) rapportent que sur leurs 71 prélèvements d'excréments supposés être de panthère des neiges, seulement 19 soit 27% ont été identifiés tels quels. Les autres provenaient d'autres espèces (42%) ou étaient trop endommagés pour être analysés (31%). 30 excréments ont été identifiés comme étant bien de carnivores mais appartenaient probablement à une autre espèce de carnivore courante dans ces montagnes tels que le renard grous, le loup ou le lynx.

##### ii. Quantité et qualité de l'ADN

La plus grande difficulté pour obtenir des résultats suffisants et fiables est la faible quantité et qualité de l'ADN présente dans les excréments récoltés (Reddy et al. 2012). Idéalement, les réactions PCR devraient être répétées plusieurs fois pour chaque échantillon mais cela est très peu fait en pratique en raison du coût des recherches et du peu de matériel disponible. Rodgers et Janečka (2013) préconisent de réaliser au minimum trois essais pour chaque échantillon afin

de limiter les erreurs de PCR (perte d'allèles, création de faux allèles) mais cela augmente considérablement le couts étant donné qu'une identification individuelle coute environ trente dollars par échantillon Janečka et al. (2011). D'autres erreurs peuvent être commises tout au long du processus pouvant fausser les résultats, contamination au moment du prélèvement sur le terrain, lors des manipulations des prélèvements, lors du pipetage des solutions... (Kohn et al. 1999).

#### 4) Perspectives d'avenir pour les analyses génétiques

Les premières études de félins utilisant une analyse génétique des fèces datent du début des années 2000 et ne permettaient que l'identification de l'espèce. L'identification des individus commence seulement à être commune dans les études génétiques, les tous premiers essais ayant été réalisés il y a une dizaine d'années seulement. On peut s'attendre à ce que cette technique devienne beaucoup plus répandue dans les années à venir, vu les progrès réalisés en génétique, et les informations que ces données peuvent apporter dans la connaissance des espèces de félins en voie de disparition. En effet, les analyses génétiques permettent d'en savoir plus sur leur besoins, leur régime alimentaire, permettent de sexer et d'établir des liens de parentés entre les individus, d'étudier leur diversité génétique et l'évolution génétique des populations (Rodgers et Janečka 2013).





## PARTIE II : APPLICATION AUX PANTHERES DES NEIGES DANS LA RESERVE DE SARYCHAT ERTASH AU KIRGHIZISTAN

### I) Contexte et enjeux de l'étude des panthères des neiges

#### A) Aire de répartition

La panthère des neiges (*Uncia uncia*), également appelée once ou « fantôme des montagnes », est un félin vivant dans les montagnes d'Asie centrale. Son aire de répartition s'étend sur douze pays : l'Afghanistan, le Bhoutan, la Chine, L'Inde, le Kazakhstan, le Kirghizistan, la Mongolie, le Népal, le Pakistan, la Russie, le Tadjikistan et l'Ouzbékistan. Leur aire de répartition inclut les montagnes de l'Altaï, Tien Shan, Kunlun, Pamir, Hindu Kush, Karakorum et l'Himalaya (IUCN 2016e).

Il existerait 3,26 millions de km<sup>2</sup> de terrain correspond à l'habitat type de la panthère des neiges, dont 60% se trouverait en Chine. Au moins 85% de cet habitat potentiel aurait été occupé par les panthères des neiges dans les cinq dernières années (T. McCarthy et al. 2016). L'aire de répartition actuelle des panthères des neiges serait donc de 2,7 millions de km<sup>2</sup>.

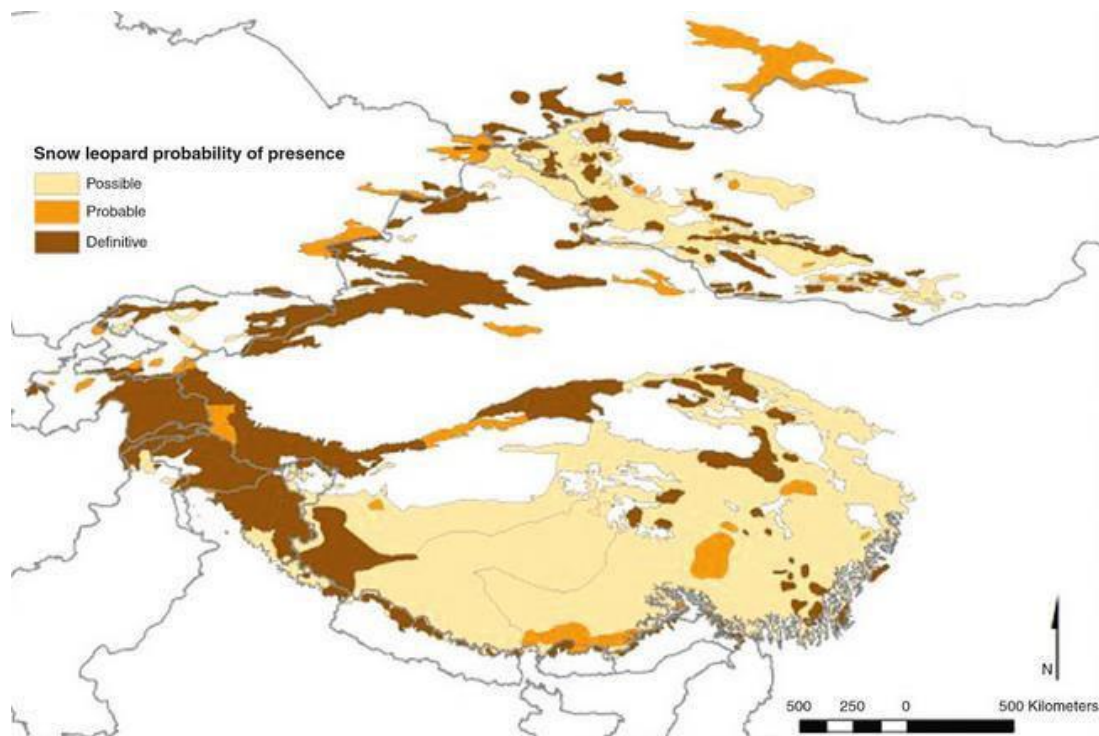


Figure 12 : aire de répartition des panthères des neiges et probabilités de présence. En marron : présence confirmée, en orange : présence probable, en beige : présence possible. D'après T. McCarthy et al. (2016).

Depuis 2008, plusieurs associations non gouvernementales et des représentants des pays concernés par la présence de la panthère des neiges ont initié un plan d'étude visant à établir une carte précise de la répartition actuelle des panthères des neiges et à entreprendre des mesures de conservation (T. McCarthy et al. 2016). Des zones particulièrement importantes pour la préservation à long terme de la panthère des neiges ont été définies. Ces zones, appelées Unités pour la Conservation de la Panthère des Neiges (SLCU = Snow Leopard Conservation Units), sont classées selon leur potentiel :

- Type I : contenant assez d'individus pour constituer une population viable dans les cent prochaines années
- Type II : contenant moins d'individus mais un habitat permettant à la population de croître si la pression humaine n'est pas trop forte
- Type III : présentant des dangers, un habitat de mauvaise qualité ou trop peu de proies pour que la population soit considérée viable sans mesures de protection efficaces.

Soixante-neuf SLCU ont été délimitées correspondant à un total de 1,2 millions de km<sup>2</sup>, soit 38% de l'habitat potentiel. 68% de ces unités sont de type I, 30% de type II et 2% de type III. Trente unités se trouvent en Chine, ce qui est cohérent avec le fait que la Chine couvre une grande partie de l'habitat potentiel. Ces unités ont une taille allant de 405 à 370.000 km<sup>2</sup>. La taille des effectifs en panthères des neiges a été estimée de différentes façons dans cinquante-six des unités, donnant une estimation totale comprise entre 4678 et 8745 panthères des neiges.

## B) Habitat type et domaine vital

Les panthères des neiges vivent en altitude, entre 1220 m en Mongolie jusqu'à près de 5500 m sur le plateau tibétain (L. Fox et Chundawat 2016). Elles occupent toutes sortes de paysage et de végétation : zone alpine dépourvue d'arbre, forêt plus ou moins dense sur les pentes sud de l'Himalaya et sur les bords ouest et est du plateau tibétain, garrigue ou désert montagneux vers le désert du Gobi (L. Fox et Chundawat 2016).

Leur habitat privilégié est montagneux et très escarpé, avec des falaises et des pentes de plus de 40°. Les sites de couchage et les chemins de passage se trouvent le long de lignes dessinées par le paysage comme le long d'une crête, le bord d'une falaise ou d'un ravin.

De 1976 à nos jours, quelques études ont tenté de déterminer la taille moyenne d'un domaine vital de panthère des neiges et leur densité de population. Plusieurs études au début des années 1980 estimaient la taille des domaines vitaux des mâles et des femelles à moins de 100 km<sup>2</sup>. Un peu plus tard, un mâle équipé d'un collier émetteur révélait que son domaine vital s'étendait sur plus de 1590 km<sup>2</sup> (T. M. McCarthy, Fuller, et Munkhtsog 2005). Une étude plus récente en Mongolie suivant dix-neuf panthères des neiges équipées d'un collier émetteur a estimé la taille moyenne du domaine vital d'une panthère adulte mâle à 207 km<sup>2</sup> et celle d'une femelle à 124 km<sup>2</sup> (Johansson et al. 2015).

Concernant la densité de population, les études réalisées dans différents sites de l'aire de répartition s'accordent autour d'une estimation d'une à deux panthères par 100 km<sup>2</sup>. L'estimation de 4678 à 8745 panthères des neiges présentes dans les soixante-neuf SLCU étaient réparties sur 875.818 km<sup>2</sup> ce qui correspondrait à une densité de population de 0,92 à 1,8 panthères par 100 km<sup>2</sup> (T. McCarthy et al. 2016).

### C) Caractéristiques morphologiques

La panthère des neiges est le plus petit des félins de la sous-famille des Pantherinae. Son corps mesure de 1 à 1,3 m de long à l'âge adulte, sa queue de 0,8 à 1,1 m, pour une hauteur à l'épaule de 0,8 m en moyenne. Son poids est de 36 à 42 kg pour les femelles et jusqu'à 50 kg pour les mâles (L. Fox et Chundawat 2016). Son corps est adapté aux conditions de vie extrêmes des hauts sommets et aux très basses températures (Kitchener, Driscoll, et Yamaguchi 2016) :

#### 1) Pelage

La panthère des neiges a un pelage long et dense, permettant d'emprisonner une couche d'air isolante au contact de la peau. Les poils mesurent jusqu'à 50 mm en été et jusqu'à 120 mm sur le ventre en hiver. Son pelage est de couleur gris clair à marron sur le dos, blanc sur le ventre et parsemé de taches noires sur la tête, le cou et les membres et de rosettes noires larges caractéristiques sur les épaules, les flancs et la queue. Ce pelage se confond dans l'environnement rocheux et enneigé de la panthère et les rosettes aident au camouflage au cours de la chasse en cassant l'effet ligne continue du dos de l'animal.

#### 2) Tête

La tête de la panthère des neiges est petite par rapport à son corps tout comme ses oreilles, ce qui limite la déperdition de chaleur par les extrémités. Le crâne est court, large et rond avec des mâchoires courtes et puissantes. Étonnamment, leurs mâchoires s'ouvrent à plus de 70° ce qui peut être utile à la prédation des ongulés de montagne ayant un cou très large. La cavité nasale de la panthère des neiges est particulièrement large ce qui aide au réchauffement et à l'humidification de l'air à l'inhalation et permet un plus grand volume d'air inspiré afin de pallier au manque d'oxygène en altitude.

#### 3) Membres

Les membres pelviens sont légèrement plus longs que les membres thoraciques permettant de plus grandes foulées et possiblement une plus grande vitesse à la course. Cette proportion est également retrouvée chez le guépard, un autre prédateur poursuivant ses proies en vastes terrains découverts. De même, les segments vertébraux thoraciques et lombaires sont relativement longs, permettant une grande flexibilité dans les sauts et les virages serrés. Les membres restent courts par rapport aux autres félins, là encore possiblement pour éviter la perte de chaleur. Les pattes sont larges, augmentant la surface d'appui dans la neige à la manière de raquettes. La taille des empreintes d'une panthère adulte est de 9-10 cm de long, 7-8 cm de large, les empreintes antérieures étant largement plus larges que les empreintes postérieures. Les empreintes des petits sont d'environ 5x5 cm à quatre mois, 7x6 cm à neuf mois, 8x7 cm à un an.

#### 4) Queue

La queue mesure de 75 à 90% de la longueur du corps et sert à la fois de protection contre le froid et de balancier dans les pentes très raides et lors des sauts entre les rochers. La panthère des neiges dort en enroulant sa queue autour de sa tête.



Figure 13 : éléments d'adaptations morphologiques des panthères des neiges – Figure personnelle, crédit photographique Le Parc des Félines.

#### D) Comportement social, reproduction

Les adultes sont solitaires mais des groupes de deux à quatre individus se forment pendant la saison de reproduction, de janvier à mars. Les petits naissent entre avril et juin, une femelle a entre un et trois petits en général. Les femelles sont accompagnées de leurs petits jusqu'à leur deuxième année (L. Fox et Chundawat 2016).

Les panthères des neiges sont territoriales. Le territoire désigne la surface délimitée dans le domaine vital d'un individu, dont il défend l'accès à ses congénères. Chez la panthère des neiges, les territoires peuvent cependant se chevaucher entre les mâles et les femelles ou les adultes et les subadultes. Les individus marquent régulièrement leurs territoires ce qui leur permet de communiquer sur leur présence et de limiter les rencontres (L. Fox et Chundawat 2016).

Les marques de passage sont des grattages des postérieurs sur une surface horizontale meuble, des traces de griffures, des jets d'urine sur des surfaces verticales ou des buissons, des frottements de tête. On les trouve sur des lieux particuliers comme la base d'une falaise, des blocs rocheux isolés ou le long des chemins de passage.

Les grattages sont les marques de présence les plus fréquentes laissées par les panthères des neiges. Leurs dimensions sont d'environ 36 cm de long au total comprenant un puit plus profond au milieu, en moyenne de 20 cm de long, 19 cm de large, 5 cm de profondeur (C. Ahlbom et Jackson 1988). Ils sont le plus visibles dans les substrats meubles sableux ou rocailleux. Un marquage urinaire est associé au grattage dans environ 19% des sites. Le jet d'urine est projeté à environ un mètre de hauteur, la panthère se tenant dos à la surface la queue relevée à la verticale.

La plupart des fèces de panthères sont retrouvées sur ces mêmes sites de grattage. Les analyses génétiques ont récemment démontré que l'identification visuelle des fèces basée sur leur apparence et la présence d'autres indices de présence associés n'était pas fiable. Même les observateurs expérimentés peuvent confondre les fèces de panthères avec ceux de renards ou de loups fréquemment trouvés sur les mêmes sites. Le pourcentage d'erreur est élevé dans toutes les études, 30,5% au Népal (Wegge, Shrestha, et Flagstad 2012), 34% au Kirghizistan (Jumabay-Uulu et al. 2013), 59% en Mongolie (Janečka et al. 2011).

## E) Régime alimentaire

Les panthères des neiges traquent et tuent leurs proies par morsure à la nuque ou suffocation associée à une morsure à la gorge. Un animal adulte tue une proie tous les huit jours environ (Johansson et al. 2015). Elles ont tendance à rester proches de la carcasse pendant une période plus longue que les autres grands félins, jusqu'à une semaine, ce qui les rend vulnérables face aux éleveurs furieux de la perte de leur bétail (Mallon, Harris, et Wegge 2016).

Le régime alimentaire des panthères des neiges se compose essentiellement d'ongulés de montagne, de petits mammifères tels que des marmottes et des oiseaux. Les animaux domestiques, principalement les chèvres et les moutons mais aussi occasionnellement chevaux, vaches et yacks font aussi partie des proies prédatées.

### 1) Proies sauvages

Les ongulés présents dans ces régions montagneuses sont le grand bharal (*Pseudois nayaur*), proie principale au Népal et dans certains sites de Chine et d'Inde, l'ibex (*Capra sibirica*), proie principale en Mongolie, en Russie et dans plusieurs autres pays d'Asie centrale, le markhor (*Capra falconeri*) au Pakistan, l'argali (*Ovis ammon*) au Kirghizistan et en Mongolie, ainsi que plusieurs espèces de cervidés tels que le cerf de Thorold (*Cervus albirostris*) et le cerf élaphe (*Cervus elaphus*). Peu d'informations sont disponibles sur l'état des populations de ces proies. La plupart sont classées préoccupations mineures sur la liste rouge de l'UICN sauf le markhor et l'argali classées quasi menacées, leur effectif semblant en déclin (Mallon, Harris, et Wegge 2016).





Figure 14 : Ibex (*Capra sibirica*) à gauche, argali (*Ovis ammon*) à droite – crédits photographiques OSI Panthera.

Les petits mammifères faisant partie du régime alimentaires des panthères des neiges sont essentiellement les marmottes et les lièvres. Cinq espèces de marmottes se trouvent dans les régions habitées par les panthères : la marmotte de Sibérie (*Marmota sibirica*), la marmotte de l'Himalaya (*Marmota himalayana*), la marmotte de l'Altaï (*Marmota baibacina*), la marmotte à longue queue (*Marmota caudata*), la marmotte menzbieri (*Marmota menzbieri*), cette dernière est classée vulnérable sur la liste rouge de l'UICN et ne se trouve que dans les montagnes de Tien Shan. Les autres espèces sont classées préoccupations mineures et sont couramment répandues. Les marmottes hibernent entre cinq à sept mois dans l'année et ne sont donc disponibles que la moitié de l'année. Des restes de marmottes sont retrouvés dans 20% des échantillons de fèces en moyenne et jusqu'à 65% en Chine (Mallon, Harris, et Wegge 2016). Concernant les lièvres, les espèces prédatées sont le lièvre laineux (*Lepus oiostolus*), le lièvre du désert (*Lepus tibetanus*), le lièvre variable (*Lepus timidus*), le lièvre de Tolai (*Lepus tolai*). Des restes de lièvres sont retrouvés dans 1 à 3,1% des fèces de panthères des neiges. Enfin, d'autres petits mammifères tels que le pika (*Ochotona* spp.), l'écureuil roux (*Sciurus vulgaris*) ou la fouine (*Martes foina*) ainsi que des oiseaux et des invertébrés font parfois partie du régime alimentaire.

## 2) Proies domestiques

La prédation sur les animaux domestiques est rapportée dans toutes les régions où la présence de la panthère des neiges est confirmée. Elle représenterait 15 à 30% du nombre de proies tuées par les panthères des neiges (Wegge, Shrestha, et Flagstad 2012; Johansson et al. 2015). Le nombre et le type d'animaux prédatés dépend de nombreux facteurs comme la façon dont les troupeaux sont laissés libres en pâtures ou surveillés, la disponibilité en autres proies sauvages, la saison, l'altitude, le type de terrain (Mallon, Harris, et Wegge 2016). En hiver, la proportion de prédation sur les troupeaux domestiques augmente. Les mâles prédatent deux à six fois plus les animaux domestiques que les femelles et seraient donc plus persécutés par les éleveurs.

### 3) Végétaux

Une particularité du régime alimentaires des panthères des neiges est la quantité importante de végétaux ingérés par rapport aux autres félins. Des fragments de végétaux sont fréquemment retrouvés dans les fèces de panthères, jusqu'à 62% au Népal (Wegge, Shrestha, et Flagstad 2012). La plante semblant la plus consommée est le tamaris (*Myricaria germanica*), un arbuste poussant notamment aux abords des cours d'eau. Des preuves de sa consommation, par exemple branchages cassés et poils piégés dans les buissons sont plusieurs fois décrits dans les études.

Aucune raison expliquant cette habitude n'est certaine mais plusieurs explications ont été proposées, par exemple le tamaris pourrait aider à la digestion ou agir comme vermifuge (Mallon, Harris, et Wegge 2016). La présence de fragments de tamaris dans les fèces est une aide à la différenciation des fèces de panthères des neiges par rapport aux autres carnivores.

#### F) Enjeux de la recherche sur les panthères des neiges

La panthère des neiges est un félin méconnu et menacé qui n'a été observé que très rarement dans son environnement naturel. Elle est classée « vulnérable » sur la liste rouge des espèces menacées de l'UICN (IUCN 2016d) depuis 2008, elle était classée « en danger » depuis 1986.

Des données fiables permettant son suivi sont difficiles à obtenir : c'est un animal discret, farouche, très difficile à observer dans son environnement, vivant à faible densité dans des régions hostiles et peu accessibles. L'estimation la plus récente, basée sur un travail groupé de vingt-deux experts et représentants de différents pays, est de 7463 à 7980 individus (T. McCarthy et al. 2016). L'UICN prévoit un déclin d'au moins 10% de la population en trois générations soit vingt-deux ans, au vu des dangers qui pèsent sur cet animal et son habitat :

#### 1) Conflits entre humains et panthères des neiges

La prédation annuelle sur les animaux domestiques peut engendrer une perte considérable de revenu pour une famille dont le pastoralisme est la seule activité. Les persécutions des panthères des neiges par les hommes en prévention de ces pertes ou en guise de revanche sont la cause la plus importante de mortalité chez ces félins (Wegge, Shrestha, et Flagstad 2012). Les animaux domestiques représentent des proies faciles pour les carnivores sauvages car ils se déplacent en plus grande concentration que les proies sauvages, ont peu de capacité à détecter la présence d'un prédateur et peu de réponse de fuite face à l'agression. De plus, leur pelage ne permet pas le camouflage comme celui des proies sauvages (Mishra, Redpath, et Suryawanshi 2016). Pour que des solutions soient mises en place comme l'indemnisation des éleveurs, des mesures de protection des troupeaux, les principes de la prédation des panthères sur les animaux domestiques doivent être étudiés et compris. On peut se demander par exemple si l'augmentation de la prédation sur les animaux domestiques est due avant tout à une diminution du nombre de proies sauvages ou à l'intensification de l'élevage dans ces montagnes.

## 2) Braconnage

La panthère des neiges est inscrite à l'Annexe I de la CITES depuis 1975 et reçoit ainsi le plus haut niveau de protection de la Convention. Toute partie du corps et ses produits dérivés sont interdits à la vente internationale. Leur vente est également interdite dans les douze pays traversés par son aire de répartition (Maheshwari et Kumar Niraj 2016). Cependant la législation est peu respectée, en raison du manque de gardes formés et équipés dans les réserves et au fait que ces rangers sont parfois eux-mêmes impliqués dans les activités illégales. On trouve des peaux, ainsi que des os, des griffes et de la viande sur les marchés noirs d'Asie (Nowell 2007). La peau sert à réaliser des tapis, des tapisseries et à décorer des intérieurs luxueux. La vente se fait en majorité aux pays asiatiques voisins mais l'Europe est également une destination de peaux.

Une étude rétrospective entre 2003 et 2012 a montré qu'un total de quatre cent douze panthères des neiges avaient été vues sur les marchés noirs d'Asie centrale, tous pays confondus, 66% sous forme de peaux. Deux cas de mise en vente de panthères vivantes ont été observés aux frontières afghanes et deux corps entiers de panthère ont été signalés en Chine. La Chine et l'Afghanistan comptabilisaient à eux deux 83% des observations (Maheshwari et Kumar Niraj 2016). Les résultats de cette étude ne montrent qu'une petite partie des échanges qui ont réellement lieu puisqu'il n'y a aucun moyen d'étudier de façon complète les ventes au marché noir. Cela montre encore une fois le besoin d'avoir une vision plus complète de l'évolution des populations en panthères des neiges dans les différents pays afin de voir quels impacts ont ces prélèvements illégaux sur la survie de l'espèce.

## 3) Changement climatique

L'augmentation progressive de la température sur Terre est un phénomène connu mondialement mais qui se produit encore plus vite en altitude et donc dans les montagnes hébergeant les panthères des neiges. Entre 1951 et 2012, la température à la surface de la Terre aurait augmenté de 0,12°C en dix ans mais au cœur de l'aire de répartition de la panthère, cette température aurait augmenté de 0,16 à 0,90°C en dix ans (D. Farrington et Li 2016). Cela a des conséquences sur le réchauffement et la dégradation du permafrost, le recul significatif des glaciers, le niveau des rivières et la végétation de manière générale. Une des conséquences pourrait être la réduction de l'habitat potentiel des panthères des neiges, celle-ci étant obligées de monter en altitude. La perte d'habitat signifie également moins de proies disponibles et potentiellement plus de prédation sur les troupeaux domestiques. Ce réchauffement climatique s'accompagne aussi d'extrêmes variations de température en altitude et de modifications des climats au cours des saisons. Des hivers très sévères provoquent le gel de la couverture neigeuse, laissant les proies herbivores incapables de creuser dans la neige pour se nourrir. Au printemps, des épisodes neigeux inhabituels retardent et réduisent la pousse de l'herbe entraînant la mort des proies et des jeunes de l'année (Fernández-Giménez, Batkhishig, et Batbuyan 2012).

## 4) Mortalité due aux accidents et maladies infectieuses

Aucune publication ne fournit des informations sur les causes naturelles de décès des panthères des neiges dans leur environnement naturel.



Les accidents, la famine, les maladies ne sont presque jamais observés en milieu naturel. Par exemple, en 2010, une panthère des neiges a été retrouvée au bas d'une falaise en Afghanistan. La population locale a affirmé qu'il s'agissait d'un accident mais l'autopsie a révélé des fragments de balle dans le radius ainsi que des preuves d'hémorragies dans les muscles de l'épaule montrant que la chute était consécutive à un tir (Ostrowski et Gilbert 2016).

En captivité, les panthères des neiges sont sensibles à plusieurs maladies infectieuses comme la panleucopénie féline, la leucose féline, la maladie de Carré. On peut supposer que ces maladies atteignent également les félins sauvages. La rage est également présente dans ces régions d'Asie centrale et doit probablement circuler parmi les populations de panthères des neiges (Ostrowski et Gilbert 2016).

## 5) Menaces émergentes

Les besoins croissants de la population mondiale en énergie et matières premières amènent des exploitants à s'intéresser aux vastes étendues naturelles encore non exploitées comme c'est le cas dans les montagnes d'Asie centrale. De plus en plus de terrains sont achetés par les secteurs du pétrole, du gaz et des exploitations minières. Des gisements de charbon, de pétrole et de gaz se trouvent au travers de toute l'aire de répartition des panthères (Oakleaf et al. 2015). Ces exploitations réduisent l'habitat des panthères par la conversion des espaces naturels en exploitations mais aussi car les félins vont éviter la pollution lumineuse et sonore associée aux alentours. De plus, de nouvelles routes sont construites menaçant les couloirs de passage entre les différentes populations de félins et des populations humaines sont attirées par le travail augmentant les risques de conflit entre humains et prédateurs.

## 6) Protection des panthères des neiges

Le Programme Global de Protection des Panthères des neiges et de leur Ecosystème (GSLEP = Global Snow Leopard and Ecosystem Protection Program) a vu le jour en 2012 et inclut des acteurs de la protection des panthères des neiges dont des représentants des douze pays concernés et des associations internationales de protection de la nature. Il représente le premier effort de coordination des actions dans le but de rendre la recherche et la protection de la panthère des neiges efficaces. Les objectifs du programme portent sur une action de sensibilisation des populations locales, le contrôle du braconnage et de la vente illégale des produits du braconnage, la protection de l'habitat des panthères, la recherche et le suivi des populations de panthères et de proies. L'objectif final est de sécuriser au moins vingt zones pour les panthères des neiges avant 2020, une zone sécurisée signifiant comprenant au moins cent panthères adultes en âge de reproduire protégées par les communautés locales, une population de proies suffisante et des connections avec les autres zones (T. McCarthy et al. 2016).

En tant que super-prédateurs, les panthères des neiges sont au sommet de la chaîne alimentaire dans leur écosystème et sont un des indicateurs de la bonne santé de cet écosystème tout entier. Ces écosystèmes supportent non seulement d'autres prédateurs, leurs proies, une biodiversité très riche mais sont également nécessaires à des millions de personnes en produisant de la nourriture, des pâturages, de l'eau, des énergies, des ressources minérales, des produits médicaux, sans compter l'impact religieux, culturel et spirituel de ces montagnes dont certaines sont dites sacrées (Snow Leopard Working Secretariat, 2013).

La recherche sur cette espèce menacée est essentielle à son suivi, à la réduction des dangers qui la menacent et à la mise en place de mesures précises et efficaces qui auront des impacts non seulement sur les panthères des neiges mais aussi sur la faune, la flore et les populations locales vivant de son écosystème.

## II) Matériel et méthode

### A) Programme OSI Panthera

OSI Panthera est un programme de recherche participative et d'éducation aux sciences, qui fait partie de l'Organisation Non Gouvernementale Objectif Sciences International (OSI). OSI Panthera est dédié à l'étude et à la protection de la panthère des neiges au Kirghizistan. OSI Panthera organise chaque année des expéditions participatives dans deux réserves du Kirghizistan, Sarychat-Ertash depuis 2007 et Naryn depuis 2016.

Le programme OSI Panthera a débuté en 2006, suite à la première prospection d'une petite équipe franco-russe au Kirghizistan. L'été 2007, une collaboration entre Panthera et la réserve de Sarychat-Ertash s'est mise en place et a permis à une équipe de cinq participants de partir pour la première expédition de recherche. En 2008, une seconde expédition d'un mois a été réalisée avec une quinzaine de participants. En 2009 et 2010, deux autres expéditions d'un mois ont eu lieu. En 2011, la durée des expéditions a été raccourcie à trois semaines, permettant de réaliser deux expéditions par été et donc d'emmenner deux groupes de participants. En 2012, trois expéditions de trois semaines ont eu lieu.

Jusque-là, les prospections s'organisaient par rayonnement en étoile à partir d'un campement central situé au cœur de la réserve. Afin d'étudier une plus grande partie de la réserve, une nouvelle expédition itinérante a été organisée à partir de 2013. Cette expédition a lieu entre mi-juin et début juillet, avant la fonte des neiges et donc la hausse du niveau des rivières et torrents sillonnant la réserve, notamment la rivière principale Ertash. Cette rivière devient infranchissable, même à cheval, début juillet. Quatre expéditions ont eu lieu en 2014 dont une permettant d'emmenner huit enfants kirghizes de l'orphelinat de Karakol, âgés de 14 à 17 ans, pour leur faire découvrir la faune et la flore de leur pays et les sensibiliser à leur protection. En 2015, trois expéditions ont eu lieu, dont une renouvelée avec sept autres enfants kirghizes.

En 2016, les premières expéditions dans la réserve de Naryn ont commencé en parallèle des expéditions dans la réserve de Sarychat-Ertash. Trois expéditions ont eu lieu à Sarychat-Ertash cette année-là.

J'ai personnellement participé à l'expédition de juillet 2015 dans la réserve de Sarychat Ertash.

### B) Déroulement d'une expédition

Les participants arrivent à Bichkek, capitale du Kirghizistan et y restent deux jours. Le troisième jour, l'équipe composée de deux encadrants OSI Panthera et de cinq à dix participants se rend aux abords du lac Issik-Kul en bus, situé à 180 km à l'est de Bichkek et à 1650 m d'altitude. Le jour suivant, l'équipe se rend aux portes de la réserve en jeep, au camp Koyondu, situé à 3200 m d'altitude. Le matériel est trié et rangé à Koyondu avant l'entrée dans la réserve. A partir de ce camp, les trajets se font à pied ou à cheval.

Le sixième jour, les participants accompagnés des encadrants et de quelques gardes kirghizes voyagent à cheval jusqu’au camp de base Eshegart au cœur de la réserve, au bord de la rivière Ertash.



Figure 15 : carte du Kirghizistan, limites de la réserve Sarychat-Ertash en vert. D’après OSI Panthera.

Cette réserve naturelle d’Etat a été créée en 1995 dans les montagnes du Tian-Shan, notamment dans le but de protéger deux espèces menacées, la panthère des neiges et l’argali. Elle se situe entre 2500 et 5125 m d’altitude. Il s’agit d’une réserve intégrale c’est-à-dire sans aucune activité d’exploitation humaine ni tourisme, et son accès est réglementé et réservé aux gardes et aux scientifiques locaux et internationaux. Actuellement, elle est de 1490 km<sup>2</sup>. C’est une zone typique de steppe alpine, au climat rude et fortement continental. La température moyenne annuelle est de -7,5°C, avec des moyennes mensuelles de -21,5°C et +4,2°C en janvier et juin respectivement.

Les jours 7 à 14 sont consacrés à la prospection et la récolte des données.  
Le quinzième jour est celui du retour vers Koyondu.

### C) Objectifs du suivi de la population de léopards des neiges

Les premières expéditions de OSI Panthera avaient pour objectif de confirmer la présence de la panthère des neiges dans la réserve Sarychat-Ertash. Les premières étapes étaient de déterminer des zones d’étude, accessibles à pied ou à cheval par les participants et présentant des indices de présence de panthères des neiges.

Ensuite les grands objectifs de ces récoltes de données étaient :

- d'estimer l'abondance de panthères des neiges évoluant dans la réserve,
- d'étudier l'évolution de cette abondance
- de déterminer la taille moyenne d'un domaine vital et la répartition de ces domaines vitaux.

Ces expéditions permettent en parallèle de réaliser l'inventaire de la faune et de la flore de la réserve, d'obtenir des informations sur l'état des populations de proies et des carnivores concurrents et bien sûr d'obtenir un maximum d'informations concernant le comportement de la panthère.

Un des grands objectifs de OSI Panthera est également de participer à la prise de conscience de l'importance de la sauvegarde des grands carnivores et de leur environnement par les populations locales et occidentales d'où le concept de recherche participative.

Enfin, OSI Panthera favorise l'entente internationale entre acteurs de la conservation de la panthère des neiges au travers des échanges culturels avec les kirghizes locaux et en apportant une aide matérielle et économique aux gardes locaux de la réserve.

#### D) Méthode d'échantillonnage, principe des transects

La réserve s'étend sur 1490 km<sup>2</sup>. Elle est traversée d'ouest en est par la rivière Ertash, principal cours d'eau de la réserve et par de nombreux autres rivières et torrents consécutifs à la fonte des glaciers en été. Le relief y est très variable, avec des vallées le long des cours d'eau et des montagnes aux crêtes plus ou moins escarpées se dressant de part et d'autres. Toutes les zones de la réserve ne sont donc pas accessibles à pied ou à cheval en toute saison. De plus, le temps de présence dans la réserve est limité. Les efforts d'échantillonnage sont donc concentrés sur des lieux accessibles et présentant de grandes chances d'y rencontrer des indices de présence de panthères des neiges. Ces lieux sont principalement le long des crêtes montagneuses ou des arrêtes bien définies, à l'intersection d'une crête et d'un ruisseau, à la rencontre de deux rivières, la base d'une falaise, d'un escarpement, les vallons encastrés entre deux flancs de montagne, à l'entrée d'une gorge profonde et étroite, à la base d'un rocher proéminent et isolé, un point promontoire.

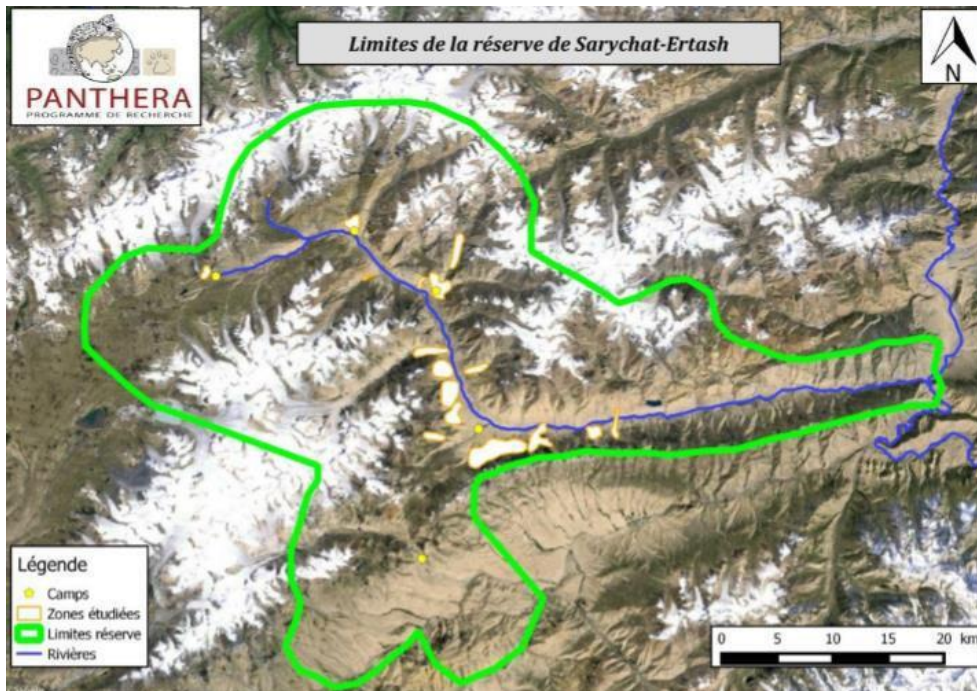


Figure 16 : limites de la réserve de Sarychat-Ertash en vert, traversée par l'Ertash en bleu. D'après OSI Panthera.



Figure 17 : vallée de l'Ertash au cœur de la réserve Sarychat-Ertash. Photographie personnelle.



La recherche d'indices de présence se fait le long de transects. Un transect est une ligne virtuelle ou physique, le long de laquelle on recherche de manière répétée et dénombre les occurrences d'un phénomène étudié, ici la présence ou le passage d'une panthère des neiges.

En pratique, les transects ne sont pas rectilignes puisque l'équipe se déplace en fonction du relief et de la topographie des lieux. Les transects suivent le plus souvent les lignes naturelles formées par les crêtes ou les cours d'eau. Des détours peuvent être effectués lorsque le transect croise un endroit susceptible d'attirer particulièrement une panthère, comme un bloc rocheux isolé. Les transects se parcourent à pied, les yeux au sol afin de repérer tout indice de présence.

Au cours des années, les équipes successives ont définis un certain nombre de transects au sein de zones délimitées par des reliefs naturels et nommées selon la toponymie locale.

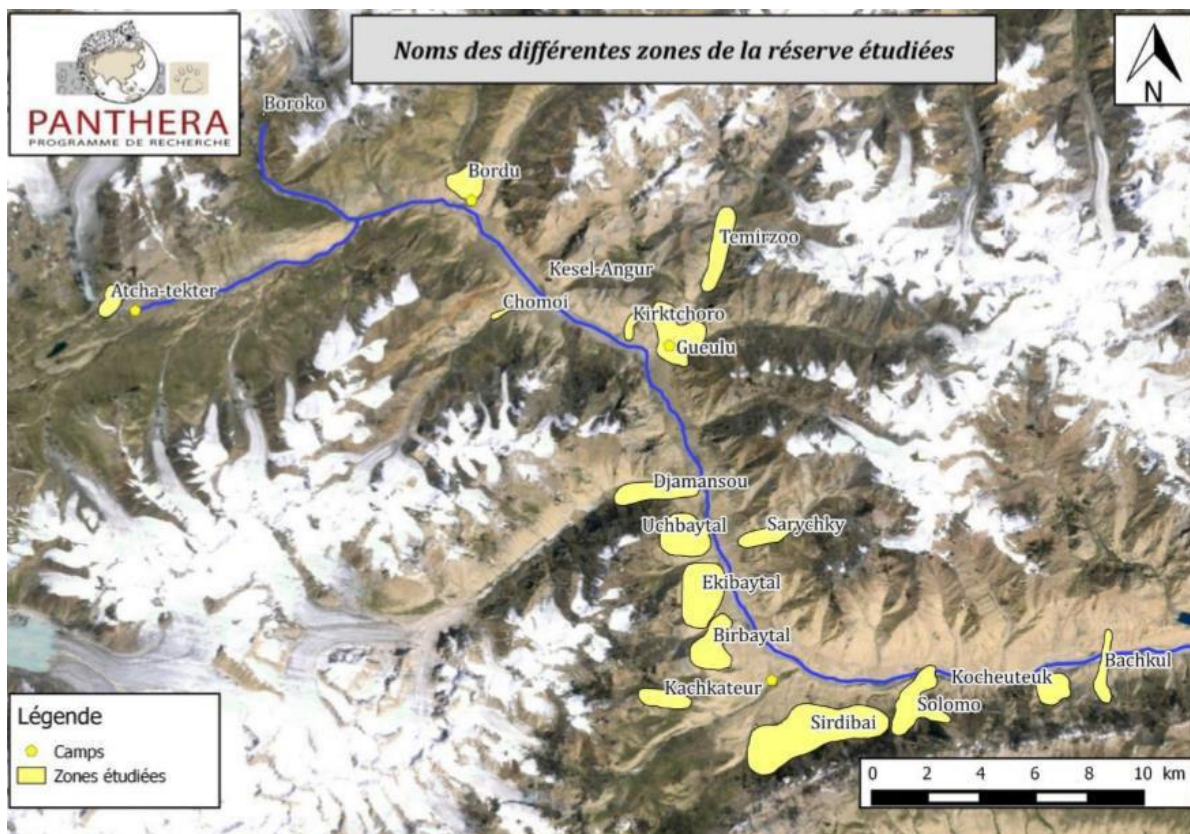


Figure 18 : noms des zones étudiées dans lesquelles des transects sont réalisés. D'après OSI Panthera.

Les zones prospectées se situent en grande partie autour du camp principal d'Eshegart, car l'équipe doit pouvoir s'y rendre à cheval, prospecter à pied et revenir au camp dans la journée. Trois autres camps de base existent, Gueulu, Bordu et Atcha, situés plus loin au cœur de la réserve le long de l'Ertash et sont parfois visités au cours des expéditions, permettant de réaliser d'autres transects.

Ces zones ne sont pas toutes étudiées à chaque expédition, le choix des transects dépendant de très nombreux facteurs tels que l'équipe d'encadrants, la motivation et les compétences physiques des participants, la saison, les conditions climatiques.

## E) Relevés des indices de présence

### 1) Méthodologie

Les indices de présence relevés le long des transects sont les empreintes, les grattages, les fèces et marquage urinaire, potentiellement les poils pris au piège dans un arbuste et éventuellement des restes de proies.

Un ensemble d'informations sont consignées pour chaque indice: la date, le transect, le paysage dominant, la position GPS, l'altitude, le type d'indice, la quantité, la taille, l'aspect.

Chaque indice est approximativement daté en fonction de son aspect et de son état de conservation. Un indice est très frais lorsqu'il date de moins d'une semaine, frais lorsqu'il a moins d'un mois, ancien lorsqu'il a plus d'un mois et très ancien lorsqu'il a plus de quatre mois. La conservation des indices dépend de façon très importante de plusieurs facteurs environnementaux, topographiques et climatiques. Le type de terrain et de sol a une grande influence notamment pour les empreintes.

### 2) Identification des empreintes

Les empreintes des panthères des neiges sont d'environ dix centimètres de long et de large, de forme globalement arrondie. Les empreintes des antérieurs sont distinctement plus larges que celles des postérieures. Le coussinet central présente deux lobes antérieurs et trois lobes postérieurs. L'impression des griffes est rarement visible car la panthère des neiges possède des griffes rétractiles.

Une empreinte de panthère des neiges doit être différenciée de celle des autres grands carnivores vivant dans la réserve.

- Celle du loup (*Canis lupus*), est plus longue que large et les traces des griffes sont généralement visibles. Le coussinet central est triangulaire et présente un seul lobe antérieur et trois lobes postérieurs.
- L'empreinte de l'ours brun de l'Himalaya (*Ursus arctos isabellinus*) est bien plus grande, de longueur allant jusqu'à trente centimètres.
- Les empreintes du lynx (*Lynx lynx isabellinus*) sont plus petites mais peuvent être confondues avec celles d'une jeune panthère.



Figure 19 : empreinte de panthère des neiges d'aspect ancien (à gauche), empreinte de loup d'aspect très frais (à droite) à Sarychat-Ertash. Photographies personnelles.

Les empreintes peuvent être identifiées aux abords des cours d'eau, dans les sols meubles ou humides. Cependant l'habitat de la panthère des neiges étant essentiellement rocheux, elles sont très difficiles à détecter et identifier en pratique. De plus elles sont rapidement dégradées par le vent et le ruissellement de l'eau. L'expérience de terrain est un facteur clé de l'identification des empreintes trouvées.

### 3) Relevé des grattages

Les grattages de panthères des neiges sont caractérisés par une trainée de substrat légèrement creusée en surface, avec un petit monticule de terre au bout. Ils sont de forme arrondie, d'une trentaine de centimètres environ. Les grattages sont visibles sur tous types de sol, le sable, la terre comme les graviers au bas des éboulis rocheux. Ils sont relativement difficiles à identifier pour un participant n'ayant pas d'expérience de terrain mais sont fréquemment observés par des personnes plus aguerries.



Figure 20 : grattage d'une panthère des neiges de 28cm de long d'aspect ancien à Sarychat-Ertash. Photographie personnelle.



Les loups produisent également des grattages mais ils sont plus longs, jusqu'à un mètre.

Les grattages sont souvent accompagnés d'autres indices de présence comme un jet d'urine sur un rocher proche ou des fèces.

#### 4) Identification des fèces

Les fèces de panthères des neiges sont identifiées en partie grâce à la présence de tiges non digérées de *Myricaria germanica*. La panthère des neiges étant le seul carnivore connu pour ingérer cette plante, sa présence dans des fèces assure avec quasi-certitude qu'il s'agit d'excréments de panthères des neiges. Lorsque cette plante n'est pas présente, les fèces sont identifiées en fonction de leur forme, leur taille et leur couleur. Cependant, ils ressemblent beaucoup aux fèces de loup et de renard roux (*Vulpes vulpes*). Les excréments de loups contiennent des restes d'os calcifiés qui leur donne une couleur blanchâtre caractéristique et permet d'aider à l'identification. Les excréments d'ours sont peu confondus car sont de beaucoup plus grande taille.



Figure 21 : fèces de panthère des neiges d'aspect ancien contenant des tiges de *Myricaria germanica* (à gauche), tiges non digérées de *Myricaria germanica* dans des fèces de panthère des neiges (à droite), à Sarychat-Ertash. Photographies personnelles.



Figure 22 : fèces de loup calcifiées d'aspect très ancien (à gauche), fèces d'ours brun de l'Himalaya d'aspect ancien mesurant 15 cm (à droite), à Sarychat-Ertash. Photographies personnelles.

Un échantillon des fèces supposées être de panthères des neiges est systématiquement prélevé pour analyses génétiques ultérieures. Les fèces servant également au marquage, on ne prélève qu'un échantillon est non la totalité des excréments afin de perturber le moins possible le comportement des animaux. Ces analyses sont conduites par un laboratoire canadien, Natural Resources DNA and Profiling Center.

Le prélèvement ne doit pas être contaminé par le préleveur. L'équipe emporte donc toujours des tubes de prélèvement et des gants en latex ainsi qu'un feutre indélébile pour dater et identifier le prélèvement.

Un échantillon doit contenir une partie de la surface externe, plus susceptible de contenir des cellules épithéliales de l'animal en vue des analyses.

#### F) Pose et relevé des pièges photographiques

Chaque année, une dizaine de pièges photographiques est installée et laissée en place le temps d'une année. Les photographies prises sont relevées par les gardes de la réserve au cours de l'année ou par les équipes d'OSI Panthera lors des expéditions suivantes. Les pièges photographiques sont des détecteurs de mouvement avec caméra infrarouge et permettent de réaliser des photographies couleur de jour, monochrome de nuit et des vidéos. Ils se déclenchent au passage d'un animal que ce soit un oiseau ou un gros mammifère voire au mouvement d'un végétal avec le vent. Les pièges fonctionnent de leur pose en été à la mi- hiver environ, avant de s'épuiser en batterie. Ils fonctionnent beaucoup moins longtemps lorsqu'ils sont posés trop près d'un terrier de marmotte ou de lièvre ou trop près du sol et que le passage régulier des petits mammifères ou des herbes hautes déclenche l'appareil de façon intempestive.

Le choix de l'endroit de la pose des pièges photographiques est un des objectifs principaux des randonnées jusqu'au sommet des crêtes montagneuses. Les endroits choisis doivent combiner plusieurs avantages. Ils doivent se situer sur un lieu de passage présumé des panthères, déterminé en fonction des indices de présence relevés au cours du transect ; être placés de façon que le champ de vision du piège couvre tout le passage et que la panthère ne puisse pas passer à quelques mètres du piège sans le déclencher. Les crêtes sont donc adaptées puisque connues pour être régulièrement arpentées par les panthères des neiges et sont relativement étroites. Les autres lieux de pose sont les vallons étroits entre deux montagnes, les falaises, les promontoires rocheux isolés, proches des restes d'une carcasse.

Le piège est installé et sanglé autour d'un rocher en fonction de l'angle de prise de vue souhaité. Un seul piège est installé par site. Certains font face au passage étroit et sont donc susceptibles de prendre des photographies vues de face, d'autres font face à une falaise ou un bloc rocheux par exemple et sont donc plus susceptibles de prendre des photographies de profil (l'animal va longer ces reliefs particuliers). Plusieurs paramètres doivent être réglés sur l'appareil, notamment le nombre de photographies par prise, l'intervalle de temps entre deux prises, la sensibilité de l'appareil, le mode (photographies ou vidéo). Afin de maximiser les chances de photographier une panthère mais également toutes les autres espèces de proies ou prédateurs concurrents, les pièges fonctionnent jour et nuit, en mode photographies ou vidéo.





Figure 23 : pose d'un piège photographique devant un bloc rocheux isolé à Sarychat-Ertash. Photographies personnelles.



Figure 24 : installation d'un piège photographique par une équipe OSI Panthera dans un vallon étroit à Sarychat-Ertash. Photographies personnelles.

### III) Résultats

#### A) Effort d'observation dans la réserve de Sarychat-Ertash

Les expéditions participatives ont été initiées en 2007 dans la réserve de Sarychat-Ertash. En 2016, OSI Panthera comptait donc dix ans de présence dans la réserve à raison d'une à trois expéditions par an entre juin et septembre, les expéditions durant un mois jusqu'en 2011 puis trois semaines, trajets compris (soit trois semaines à quinze jours de présence réelle dans la réserve). Les jours passés dans la réserve étaient de 20 jours de 2007 à 2009, 15 en 2010, 30 en 2011, 45 en 2012 et 2013, 60 en 2014, 45 en 2015 et 2016 soit un total de 345 jours en dix ans. Au cours de cette période, 117 participants européens se sont succédés.

## B) Observations directes

La première et unique observation directe de panthères des neiges par une équipe OSI Panthera a eu lieu en août 2014. Une tanière abritant deux jeunes panthères âgées de deux ou trois mois environ a été découverte au fond d'un vallon étroit et rocheux dans la zone d'Ekibaytal. L'entrée de la tanière se trouvait sous un rocher de petite taille et était marquée par l'herbe couchée devant. Une tête de marmotte, probablement consommée par les panthères, était présente quelques mètres en contrebas. L'équipe n'est pas restée sur les lieux afin de ne pas déranger les petits et la mère qui devait être proche.



*Figure 25 : jeune panthère des neiges âgée de deux ou trois mois, observée à Ekibaytal en août 2014. Crédit photographique Pierre Peyret, encadrant Panthera.*

Les gardes étant présents dans la réserve une grande partie de l'année, même l'hiver, il arrive qu'ils puissent observer une panthère des neiges. Ils en font part à OSI Panthera l'été suivant. En hiver 2014, deux panthères adultes ont été surprises par un garde auprès d'une carcasse d'ibex sur le site de Gueulu. Ces rencontres restent rares, à raison de trois ou quatre observations par an et par des gardes différents.

## C) Transects effectués

Les transects dédiés à la recherche d'indices de présence ont commencé en 2009. Un total de 105 transects a été réalisé dans la réserve entre 2009 et 2015 soit 7 saisons de relevés sur le terrain.

Les différentes zones de la réserve n'ont pas toutes été étudiées avec la même intensité. Les trois zones les plus explorées sont Solomo avec 21 transects effectués, Sirdibai avec 15 transects effectués et Uchbaytal avec 13 transects effectués. Gueulu a été prospectée dix fois, Birbaytal huit fois, Bordu six fois, Ekibaytal, Djamansou et Sarychky cinq fois, Kirkchoro et Kocheuteuk quatre fois. Les autres zones n'ont été prospectées qu'une ou deux fois chacune au cours de ces années.



Dans chaque zone, la répartition spatiale des transects est très variable et dépend notamment de la topographie des lieux. Par exemple, les transects effectués sur Solomo sont répartis sur toute la zone d'étude et comprennent plusieurs crêtes et flancs de montagne, de même pour Sirdibai. Pour d'autres zones, comme Uchbaytal, les transects effectués ne couvrent que la partie centrale de la zone car les reliefs ne permettent qu'un passage restreint. C'est le cas pour toutes les zones comprenant un vallon encaissé, un lit de rivière ou des crêtes particulièrement escarpées. Peu de transect sont réalisés plusieurs fois à l'identique, le point de départ ou d'arrivée diffère même pour deux transects couvrant une même crête.

Les coordonnées GPS de début et fin des transects ont été systématiquement enregistrées. Cependant ces coordonnées sont fausses entre 2013 et 2015 par suite d'une erreur d'étalonnage des GPS.



Figure 26 : transects réalisés entre 2009 et 2012.

Coordonnées GPS de début et fin des transects entrées dans Google maps



Figure 27 : transects réalisés entre 2009 et 2012 sur les zones de Sirdibai et Solomo.





Figure 28 : : transects réalisés entre 2009 et 2012 sur les zones Birbaytal, Ekibaytal, Uchbaytal, Djamansou et Sarychky.



Figure 29 : transects réalisés entre 2009 et 2012 sur la zone de Gueulu.

Afin de rendre compte de l'effort d'échantillonnage, soit la distance totale prospectée chaque année, la longueur de chaque transect a été mesurée grâce aux coordonnées GPS pour les années 2009 à 2012. Entre 2013 et 2015, la longueur des transects a été estimée à la moyenne de la longueur des transects réalisés dans la zone concernée les années précédentes. Un total de 67,87 km de transect a été prospecté en 7 ans, un transect faisant en moyenne 0,57 km de long. Cette longueur de transect est variable d'une zone à l'autre, de 0,1 km à Atcha-tektek et Chomoi, à 1,99 km à Sarychky.

## D) Indices de présence relevés

Un total de 695 indices de présence a été observé au cours des transects effectués entre 2009 et 2015, dont 372 grattages, 122 empreintes, 199 fèces et 2 échantillons de poils. Chaque grattage est considéré comme un indice de présence tandis qu'une seule empreinte, fèces ou poil est comptabilisé par point GPS. Ces indices sont rarement uniques et font souvent partie d'un ensemble, comme c'est le cas d'une trace laissée par un individu et composée de plusieurs empreintes trouvées au même endroit.

Toutes zones confondues, le nombre moyen d'indices trouvés par km de prospection était de 10,24 dont 5,48 grattages par km, 2,93 fèces par km et 1,80 empreinte par km.

### 1) Indices de présence relevés par transect

Le tableau ci-dessous regroupe toutes les observations réalisées par transect chaque année.

*Tableau IV : ensemble des transects effectués chaque année et nombre d'indices de présence relevés sur chaque transect pondéré par l'effort d'échantillonnage.*

	TRANSECTS REALISES	GRATTAGE	EMPREINTE	FECES +POILS	NOMBRE TOTAL D'INDICES TROUVES	TAILLE DU TRANSECT (km)	NOMBRE TOTAL D'INDICES TROUVES / TAILLE DU TRANSECT (km)
2009	Bordu	8	3	2	13	0,68	19
	Gueulu 1	0	3	1	4	1,293	3
	Gueulu 2	0	2	4	6	0,83	7
	Gueulu 3	1	2	0	3	0,542	5
	Kachkateur	0	0	0	0	1,274	0
	Kesel-Angur	4	3	2	9	0,166	54
	Sarychky	14	0	4	18	0,894	20
	Sirdibai	12	3	3	18	0,836	21
	Solomo	7	0	3	10	0,815	12
	Uchbaytal 1	2	1	6	9	0,523	17
	Uchbaytal 2	2	1	3	6	0,393	15
Bilan	11	50	18	28	96	8,246	11
2010	Birbaytal	2	1	0	3	0,427	7
	Ekibaytal 1	3	8	0	11	0,358	30
	Ekibaytal 2	10	2	1	13	0,412	31
	Ekibaytal 3	1	3	0	4	1,237	3
	Sirdibai 1	2	0	1	3	1,386	2
	Sirdibai 2	2	6	0	8	0,663	12
	Solomo 1	21	1	2	24	0,798	30
	Solomo 2	20	1	0	21	0,606	34
	Uchbaytal	5	0	2	7	0,578	12
Bilan	9	66	22	6	94	6,465	14
2011	Bachkul	2	2	2	6	0,563	10
	Kocheuteuk 1	0	0	0	0	0,345	0
	Kocheuteuk 2	3	0	0	3	0,763	3
	Sarychky	13	2	8	23	1,987	11
	Sirdibai 1	3	1	0	4	0,599	6
	Sirdibai 2	0	10	0	10	0,579	17
	Solomo 1	6	1	2	9	0,603	14

	Solomo 2	0	0	1	1	1,484	0
	Solomo 3	1	0	1	2	1,438	1
	Solomo 4	2	0	2	4	0,128	31
	Uchbaytal 1	1	0	0	1	0,827	1
	Uchbaytal 2	0	1	1	2	0,894	2
<b>Bilan</b>	<b>12</b>	<b>31</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>65</b>	<b>10,21</b>	<b>6</b>
<b>2012</b>	<b>Birbaytal 1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0,633</b>	<b>3</b>
	Birbaytal 2	0	1	0	1	0,382	2
	Birbaytal 3	0	2	1	3	0,822	3
	Bordu	1	0	4	5	0,195	25
	Gueulu 1	2	0	1	3	0,334	8
	Gueulu 2	0	0	0	0	0,487	0
	Kirktchoro 1	0	0	0	0	0,409	0
	Kirktchoro 2	0	1	0	1	0,678	1
	Kocheuteuk 1	0	0	0	0	0,733	0
	Kocheuteuk 2	1	0	0	1	0,834	1
	Murusen	2	2	0	4	0,115	34
	Sarychky 1	4	0	3	7	0,919	7
	Sarychky 2	3	1	1	5	0,257	19
	Sirdibai 1	0	0	1	1	0,56	1
	Sirdibai 2	3	0	1	4	0,293	13
	Sirdibai 3	1	1	1	3	0,56	5
	Solomo 1	0	0	0	0	0,484	0
	Solomo 2	2	1	3	6	0,434	13
	Solomo 3	3	0	0	3	0,423	7
	Solomo 4	0	0	0	0	0,582	0
	Termizoo	0	1	0	1	0,252	3
	Uchbaytal 1	0	0	0	0	0,949	0
	Uchbaytal 2	1	0	3	4	0,538	7
	Uchbaytal 3	2	4	4	10	0,481	20
	Uchbaytal 4	0	0	0	0	0,466	0
<b>Bilan</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>14</b>	<b>25</b>	<b>64</b>	<b>12,82</b>	<b>4</b>
<b>2013</b>	<b>Atcha-tektekter</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>	<b>10</b>
	Birbaytal	1	0	1	2	0,566	3
	Bordu 1	5	1	3	9	0,437	20
	Bordu 2	2	5	5	12	0,437	27
	Chomoi	0	0	6	6	0,1	60
	Djamansou	1	0	1	2	0,647	3
	Gueulu	3	0	8	11	0,6972	15
	Kirktchoro	2	1	5	8	0,543	14
	Sarychky	12	7	5	24	1,014	23
	Sirdibai 1	6	0	3	9	0,6845	13
	Sirdibai 2	7	0	5	12	0,6845	17
	Solomo	5	1	6	12	0,709	16
	Uchbaytal 1	1	0	1	2	0,628	3
	Uchbaytal 2	0	0	1	1	0,628	1
<b>Bilan</b>	<b>14</b>	<b>46</b>	<b>15</b>	<b>50</b>	<b>111</b>	<b>7,8752</b>	<b>14</b>
<b>2014</b>	<b>Birbaytal 1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>0,566</b>	<b>10</b>
	Birbaytal 2	12	0	4	16	0,566	28
	Bordu 1	0	3	1	4	0,437	9
	Bordu 2	1	4	2	7	0,437	16
	Djamansou 1	25	1	3	29	0,1	290
	Djamansou 2	0	1	0	1	0,647	1
	Djamansou 3	0	0	2	2	0,647	3
	Ekibaytal	0	1	1	2	0,669	2
	Gueulu 1	8	1	8	17	0,6972	24
	Gueulu 2	1	2	0	3	0,6972	4



	Gueulu 3	0	11	4	15	0,6972	21
	Gueulu 4	0	4	1	5	0,6972	7
	Kachkateur	9	0	0	9	1,274	7
	Kirktchoro	0	0	8	8	0,543	14
	Sirdibai 1	1	0	2	3	0,6845	4
	Sirdibai 2	10	0	5	15	0,6845	21
	Solomo 1	6	0	2	8	0,709	11
	Solomo 2	10	3	1	14	0,709	19
	Solomo 3	7	0	2	9	0,709	12
	Solomo 4	6	1	1	8	0,709	11
	Solomo 5	1	0	5	6	0,709	8
	Solomo 6	5	0	1	6	0,709	8
	<b>Bilan</b>	<b>22</b>	<b>106</b>	<b>32</b>	<b>55</b>	<b>14,2978</b>	<b>13</b>
<b>2015</b>	<b>Birbaytal</b>	<b>22</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>0,566</b>	<b>44</b>
	Djamansou 1	3	2	1	6	0,647	9
	Djamansou 2	2	0	0	2	0,647	3
	Ekibaytal	2	2	1	5	0,669	7
	Sirdibai 1	3	0	3	6	0,6845	8
	Sirdibai 2	6	0	0	6	0,6845	8
	Sirdibai 3	6	0	3	9	0,6845	13
	Solomo 1	0	0	0	0	0,709	0
	Solomo 2	0	0	4	4	0,709	5
	Solomo 3	2	0	1	3	0,709	4
	Uchbaytal 1	1	0	3	4	0,628	6
	Uchbaytal 2	1	0	1	2	0,628	3
	<b>Bilan</b>	<b>12</b>	<b>48</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>7,9655</b>	<b>9</b>

## 2) Indices de présence relevés par zone de la réserve

Afin de connaître les zones de la réserve présentant le plus d'indices attestant du passage de panthères des neiges, tous les transects correspondant à une même zone ont été regroupés. Le nombre d'indices total trouvé par zone a été pondéré par l'effort d'échantillonnage afin de prendre en compte le fait que chaque zone n'a pas été prospectée de la même façon.

Tableau V : récapitulatif du nombre d'indices de présence trouvés par type d'indice, du nombre total d'indices de présence et du nombre de transects effectués par zone de la réserve.

En gris, zones étudiées plusieurs fois ayant un nombre total d'indices / effort d'échantillonnage supérieur ou égal à 10 (moyenne du nombre d'indices / effort d'échantillonnage toutes zones confondues)

NOM DE LA ZONE PROSPECTEE	NOMBRE DE TRANSECTS REALISES DANS CETTE ZONE ENTRE 2009 ET 2015	DISTANCE MOYENNE D'UN TRANSECT DANS CETTE ZONE (km)	DISTANCE TOTALE PROSPECTEE PAR ZONE (km)	GRATTAGE	EMPREINTE	FECES + POILS	NOMBRE TOTAL D'INDICES TROUVES DANS CETTE ZONE ENTRE 2009 et 2015	NOMBRE TOTAL D'INDICES / DISTANCE TOTALE PROSPECTEE
Atcha-tektek	1	0,1	0,1	1	0	0	1	10
Bachkul	1	0,563	0,563	2	2	2	6	10
Birbaytal	8	0,566	4,528	41	4	13	58	12
Bordu	6	0,437	2,622	17	16	17	50	19
Chomoi	1	0,1	0,1	0	0	6	6	60
Ekibaytal	5	0,669	3,345	16	16	3	35	10
Gueulu	10	0,6972	6,972	15	25	27	67	9
Djamansou	5	0,647	3,235	6	3	4	13	4
Kachkateur	2	1,274	2,548	9	0	0	9	3
Kesel-Angur	1	0,166	0,166	4	3	2	9	54
Kirktchoro	4	0,543	2,172	2	2	13	17	7
Kocheuteuk	4	0,6687	2,6748	4	0	0	4	1
Sarychky	5	1,014	5,07	46	10	21	77	15
Sirdibai	15	0,6845	10,2675	62	21	28	111	10
Solomo	21	0,709	14,889	104	9	37	150	10
Termizoo	1	0,252	0,252	0	1	0	1	3
Uchbaytal	13	0,628	8,164	16	7	25	48	5

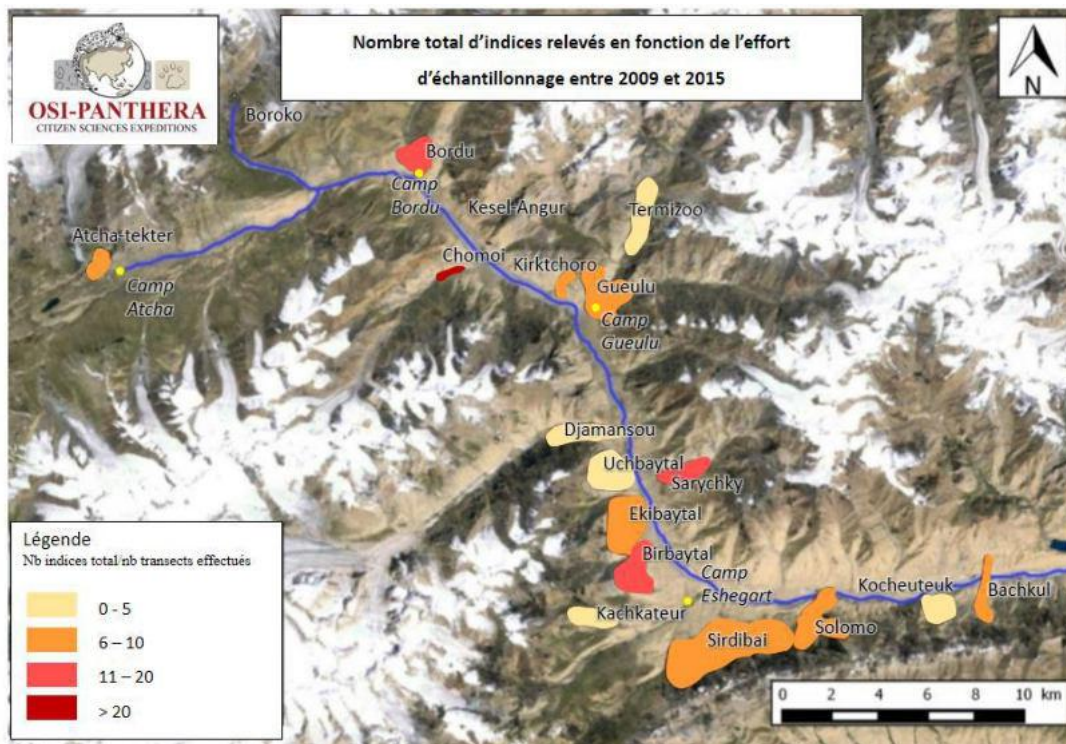


Figure 30 : zones de la réserve en fonction du nombre total d'indices relevés en fonction de l'effort d'échantillonnage entre 2009 et 2015.

Des zones se distinguent comme étant régulièrement visitées par des panthères des neiges car elles ont été prospectées plusieurs fois et ont présenté des indices de présence au cours de plusieurs étés. Ces zones sont Sirdibai et Solomo qui sont géographiquement très proches et pouvant être considérées comme une seule grande zone, Birbaytal et Ekibaytal, Bordu et Sarychky.

- Sirdibai et Solomo

Entre un et six transects par an ont été réalisés sur Sirdibai et Solomo et plusieurs transects différents ont permis une bonne couverture de ces deux zones. Des indices de présences ont été relevés en quantité importante au cours de chaque transect. Notamment, 21 empreintes ont été trouvées sur Sirdibai, ce qui correspond à près d'un cinquième de toutes les empreintes trouvées. Des grattages ont été observés en grande quantité sur Sirdibai et Solomo, 62 et 104 respectivement. Des grattages d'aspect très frais à frais ont été relevés sur Solomo jusqu'en 2011 puis plus jusqu'en 2015 où des grattages très frais ont de nouveau été retrouvés, signant le passage d'une panthère à cet endroit en saison estivale.

- Birbaytal et Ekibaytal

Dans ces zones, huit transects ont été effectués à Birbaytal, couvrant la moitié nord de la zone et cinq à Ekibaytal. Un grand nombre de grattages ont été trouvés mais cela est dû au fait qu'en 2015, 23 grattages dont 7 très frais datant de un jour ont été relevés au cours du même transect.

- Bordu

Les deux crêtes principales de cette zone ont été prospectées plusieurs fois. Des indices frais ont été retrouvés plusieurs fois sur les deux crêtes jusqu'en 2016 où des grattages frais ont été observés et des fèces fraîches ont été prélevées.

- Sarychky

Cette zone a été prospectée cinq fois et a présenté de nombreux indices de présence dont des frais à chaque passage. S'agissant d'un lit de rivière encaissé entre deux flancs de montagne, les cinq transects réalisés étaient les mêmes car il n'y a pas de possibilité de prendre une autre direction.

Concernant les autres zones, elles ont été prospectées une seule fois ou ont présenté un nombre restreint d'indices de présence. Elles nécessiteraient d'être à nouveau prospectées afin d'avoir plus de données à leur sujet.

### 3) Indices de présence relevés par année

Afin de pouvoir estimer la variation temporelle de la quantité d'indices trouvés en fonction de l'effort d'échantillonnage, le tableau suivant regroupe le résultat combiné des transects effectués par an.

Tableau VI : nombre total d'indices trouvés chaque année, pondéré par l'effort d'échantillonnage.

ANNEE	NOMBRE DE TRANSECTS REALISES	NOMBRE TOTAL D'INDICES TROUVES	DISTANCE TOTALE PARCOURUE (km)	NOMBRETOTAL D'INDICES TROUVES / DISTANCE TOTALE PARCOURUE (km)
2009	11	96	8,246	11
2010	9	94	6,465	14
2011	12	65	10,21	6
2012	25	64	12,82	4
2013	14	111	7,8752	14
2014	22	193	14,2978	13
2015	12	72	7,9655	9

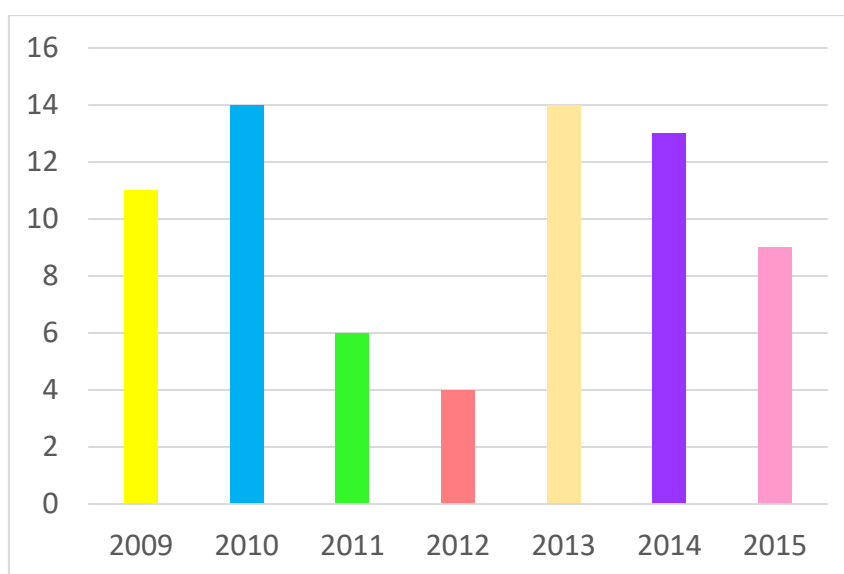


Figure 31 : nombre d'indices de présence en fonction de l'effort d'échantillonnage entre 2009 et 2015.

Le nombre d'indices de présence trouvé en fonction de l'effort d'échantillonnage est stable pour 2009, 2010, 2013, 2014 et 2015. Il est plus faible en 2011 et 2012 mais cela peut être expliqué par le fait que ces deux années ont essentiellement été consacrées à la pose des pièges photographiques et moins à la recherche d'indices.

Cependant lorsque qu'on s'intéresse au détail de ce nombre d'indices de présence en fonction de l'effort d'échantillonnage par année, on s'aperçoit d'une grande variation en fonction des zones. Dans le graphique ci-dessous, les cinq zones présentées sont celles ayant été échantillonnées le plus de fois.

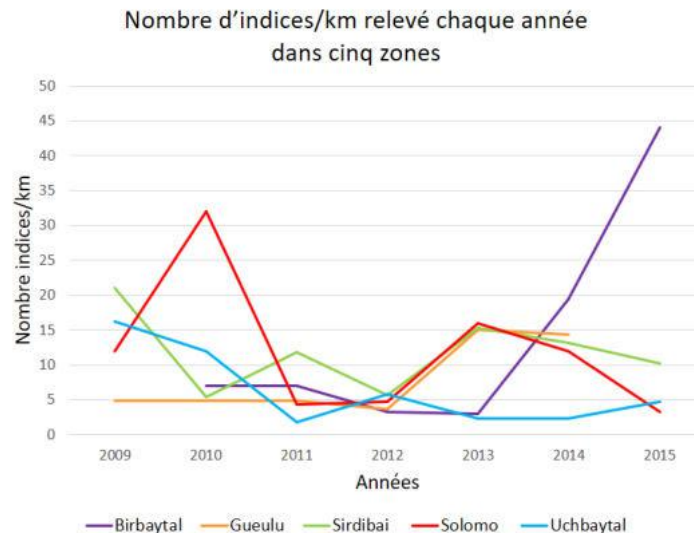


Figure 32 : nombre d'indices de présence en fonction de l'effort d'échantillonnage par année et par zone entre 2009 et 2015.

Ce graphique montre que bien que le nombre total d'indices relevés par an est stable, la distribution des indices relevés dans la réserve varie grandement chaque année. Deux hypothèses sont possibles :

- d'une part cela peut montrer une dynamique d'occupation des sites avec des sites occupés préférentiellement certaines années tandis que d'autres sont délaissés
- ou une différence d'attention portée à la recherche d'indices sur certains sites en fonction des transects et des années

Cette deuxième hypothèse est confortée par le fait que le nombre d'indices trouvés par transect varie également au cours d'une même année. Par exemple, Uchbaytal a été prospectée quatre fois en 2012 et le nombre d'indices relevés était respectivement 0, 4, 10 et 0. De même, Gueulu a été prospectée quatre fois en 2014 et le nombre d'indices relevés était respectivement 17, 3, 15 et 5. Si la variation du nombre d'indices trouvés par an en fonction des zones étaient réellement due à une dynamique d'occupation, on devrait trouver de nombreux indices au cours de tous les transects réalisés sur un site occupé et peu d'indices au cours de tous les transects réalisés sur un site peu fréquenté. La différence observée en fonction des transects dépend plus vraisemblablement de la motivation des équipes à réaliser le transect. Certains transects sont parcourus dans le but de rechercher des indices de présence et d'autres sont parcourus dans le but principal d'aller poser ou relever un piège photographique ce qui influence grandement la recherche d'indices.

#### E) Images obtenues à partir des pièges photographiques

Chaque année depuis 2009, un certain nombre de pièges photographiques sont posés sur le terrain. Les années 2011 et 2012 ont été particulièrement consacrées à la pose des pièges photographiques et au choix de leur emplacement en fonction des indices de présence trouvés au cours des années précédentes.

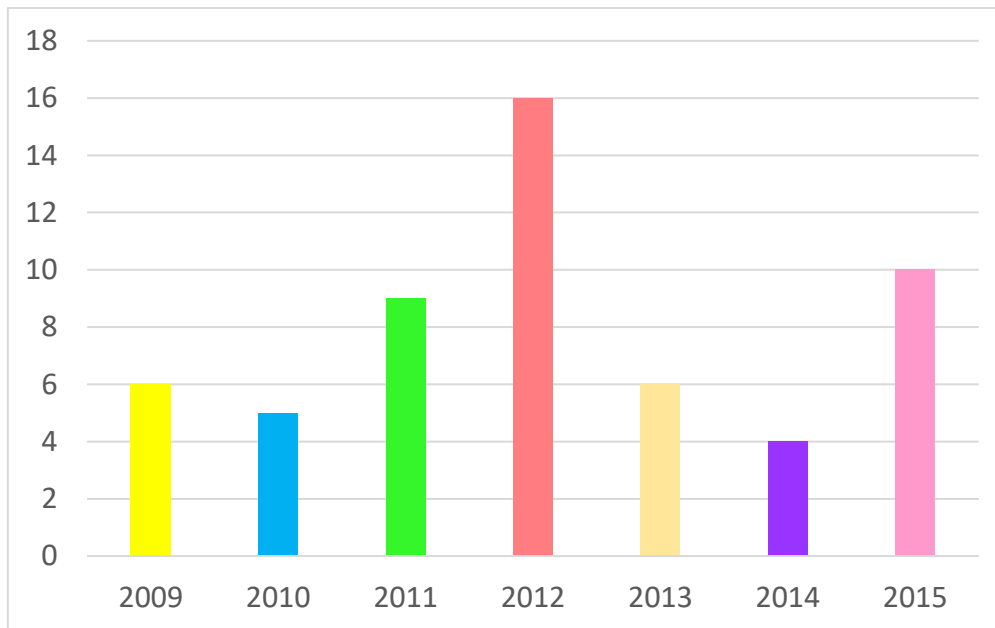


Figure 33 : nombre de pièges posés entre 2009 et 2015.

*Un piège est considéré « posé » lorsqu'il est mis en place par une équipe ou relevé et laissé en place d'une année sur l'autre.*

Entre 2009 et 2015, 245 photographies de panthères des neiges, ainsi que 30 films de quelques secondes ont été enregistrés. Ces chiffres sont approximatifs car les images ne sont malheureusement pas encore toutes triées et nous ne savons pas encore le nombre exact de photographies prises durant ces années, et le nombre d'images exploitables parmi celles-ci.

#### 1) Utilisation des images comme indices de présence

Les photographies ou film de panthères des neiges obtenues attestent de la présence ou du passage d'un animal et sont donc des indices de présence au même titre que les indices trouvés au sol. Il serait intéressant de pouvoir dénombrer le nombre de photographies prises par temps de pose de chaque piège photographique et ainsi de savoir si ce nombre augmente ou diminue au cours des années mais nous ne connaissons pas le temps de pose de chaque piège : certains pièges sont installés une année et relevés par une autre équipe l'année suivante, d'autres sont relevés par les gardes au cours de l'hiver, d'autres sont posés, relevés et déplacés au cours d'une même saison. En 2012 par exemple, 16 poses de pièges photographiques ont été notées avec seulement 10 pièges car des pièges ont été déplacés au cours de l'été.

#### 2) Identification individuelle des panthères des neiges

Seules les photographies entre 2009 et 2012 ont pour le moment été analysées. Parmi les neuf photographies de panthères (une en 2009 à Uchbaytal, deux en 2010 à Uchbaytal, six en 2011 dont quatre à Solomo et deux à Sarychky et aucune en 2012), quatre images étaient exploitables et ont permis d'identifier deux individus.

Les deux photographies prises à Sarychky à un mois d'intervalle représentaient le même individu. Deux des quatre images obtenues à Solomo représentait un autre individu. Sur les autres photographies, l'animal n'était pas assez visible ou se trouvait dans une position rendant l'identification impossible. Sur l'une des photographies de Solomo on peut apercevoir deux individus, peut-être mère et petit.

Depuis 2012, les nombreuses photographies de panthères des neiges ont été conservées mais non analysées par manque de temps de la part de l'équipe Panthera. Les photographies sont aujourd'hui en cours d'analyse par les encadrants Panthera et par les anciens participants bénévoles suivant le principe que deux photographies représentent le même individu si au moins trois ocelles sont identiques au même endroit. Nous devrions obtenir le nombre de panthères des neiges identifiées par année et comparer ces individus d'une année sur l'autre avant la saison d'expédition 2018.



Les deux photographies ci-dessous montrent une même panthère des neiges prise par le même piège photographique à un mois d'intervalle, en novembre et décembre 2014. La position de la panthère devant le piège est idéale pour l'identification, la lumière est bonne et l'animal adopte presque la même position sur les deux images ce qui ne permet pas d'erreur.



Figure 34 : photographies d'une même panthère des neiges photographiée en novembre et décembre 2014, à droite le dessin formé par trois ocelles identiques permet d'attester que les deux images représentent le même individu. Crédits photographiques OSI Panthera.



Sur la photo ci-dessous on peut apercevoir deux individus, probablement une mère et son petit, mais aucun des deux n'est identifiable individuellement.



Figure 35 : photographie de deux individus non identifiables. Crédit photographique OSI Panthera.

### 3) Autres informations apportées par les photographies

Les photographies et films sont les seuls moyens d'entrevoir le comportement des panthères des neiges qui n'ont presque jamais été observées directement dans leur environnement naturel. Chaque image obtenue est unique et de grande valeur car nous donne un regard sur la vie méconnue de cette espèce. Le comportement de marquage est souvent observé sur les photographies car les pièges photographiques sont placés face à des reliefs particuliers ou des promontoires rocheux.



*Figure 36 : séquence de photographies prises à quelques secondes d'intervalle d'une panthère des neiges réalisant un grattage de ses postérieurs. Crédits photographiques OSI Panthera.*





*Figure 37 : séquence de photographies prises à quelques secondes d'intervalle d'une panthère des neiges réalisant un marquage urinaire. Crédits photographiques OSI Panthera.*

Les autres comportements ayant été observés sont ceux de chasse (posture de chasse, proies chassées, nourrissage), de toilette, d'observation de l'environnement, et d'interaction entre individus, principalement mère et jeunes.

#### 4) Non fonctionnement des pièges photographiques

Des incidents techniques sont à rapporter en lien avec des dégradations dues aux conditions climatiques, à la dégradation par des animaux (ours) ou à des erreurs de l'équipe OSI Panthera. En 2011, un piège a épuisé sa batterie en une journée en prenant des photographies en continu, un autre est tombé. En 2013, un piège n'a pas été retrouvé, il est sûrement tombé ou a été emporté par un animal. En 2014, un piège a été retrouvé par terre au bord de la rivière Djamansou donc a peut-être pris l'eau. En 2015, un piège réglé en mode vidéo a épuisé sa batterie en dix jours seulement et n'a eu le temps de filmer que des pieds, un autre ne contenait pas de carte SD. Ces incidents ne sont que des exemples car ils n'ont pas tous été rapportés. Enfin, de nombreux pièges contiennent un très grand nombre d'images, dont des photographies d'ongulés et de petits mammifères mais pas de panthère des neiges ou pas d'images du tout.

## F) Analyses génétiques sur fèces

Entre 2009 et 2015, un total de 201 échantillons dont 199 échantillons de fèces et 2 de poils ont été récoltés.

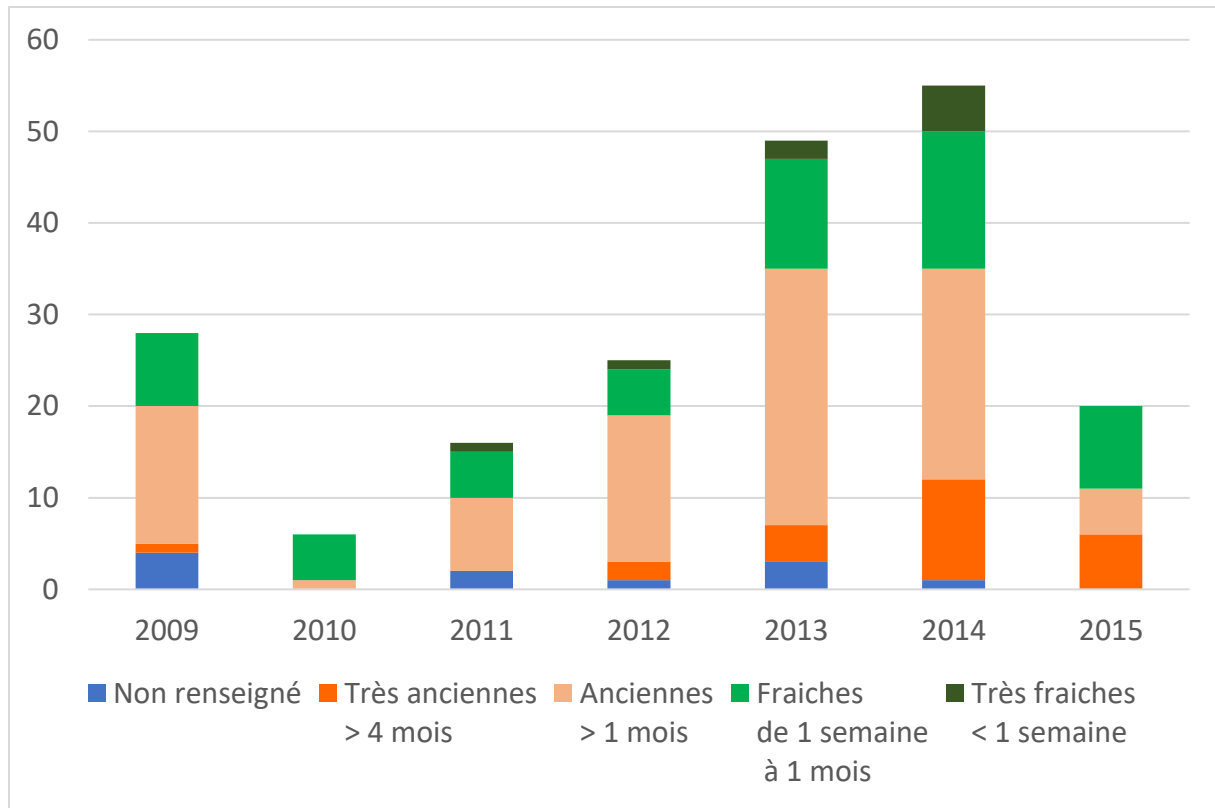


Figure 38 : nombre et aspect des échantillons de fèces récoltés entre 2009 et 2015.

Ces échantillons ont été envoyés dans un laboratoire canadien *Natural Resources DNA and Profiling Center*. Seuls les résultats des échantillons de 2011 à 2014 nous ont été transmis car les résultats obtenus les premières années ont été considérés faussés. Un nombre insuffisant de marqueurs microsatellites auraient été utilisés pour l'identification.

Un nombre croissant d'échantillons ont été transmis au laboratoire entre 2011 et 2014. Parmi ces échantillons, certains n'étaient pas d'assez bonne qualité à l'arrivée (mauvais prélèvement ou mauvaise conservation). Ainsi, 84% des échantillons arrivés au laboratoire sont entrés dans l'analyse.

L'ADN a été extrait des débris cellulaires présents dans l'échantillon avec le kit d'extraction d'ADN DNeasy Blood and Tissue Kit (Qiagen®). Puis une réaction PCR a été conduite sur cet ADN avec un couple d'amorce espèce-spécifique de la séquence codante pour le cytochrome c de la panthère des neiges. Cette étape a permis de différencier les échantillons provenant bien de panthères des neiges et les échantillons provenant d'une autre espèce de carnivore. Ces erreurs d'échantillonnage sur le terrain représentent 27% des échantillons analysés.

Tableau VII : nombre d'échantillons transmis au laboratoire chaque année puis gardés à chaque étape de l'analyse génétique entre 2011 et 2014.

ANNEE	NOMBRE D'ECHANTILLONS ENVOYES	NOMBRE D'ECHANTILLONS ENTRANT DANS L'ANALYSE	INDENTIFICATION DE L'ESPECE		ADN DE QUALITE INSUFFISANTE	NOMBRE D'ECHANTILLONS GARDES POUR IDENTIFICATION INDIVIDUELLE
			Panthère des neiges	Autre		
2011	55	41	31	10	1	30
2012	50	45	33	12	3	30
2013	25	24	16	8	1	15
2014	17	14	10	4	2	8
TOTAL	147	124	90	34	7	83

Après sélection des échantillons de panthère des neiges de qualité suffisante, il restait 83 échantillons à identifier.

La méthode précise utilisée par la généticienne afin d'identifier les individus n'a pas été communiquée. Toutes les informations ci-dessous sont tirées du tableau de résultats bruts qui nous a été transmis. Les individus sont identifiés grâce à la combinaison de sept marqueurs microsatellites PUN 132, PUN 100, PUN 124, PUN 225, PUN 229, PUN 237, PUN 935 (PUN pour *Panthera Uncia*). La taille de l'amplifiat, soit le nombre de paires de bases amplifiées pour chaque allèle, ainsi que le sexage ont été consignés dans un tableau. En comparant ces séquences obtenues pour chaque échantillon, j'ai pu identifier 32 génotypes différents.

Pour 20 échantillons, des informations manquantes concernant un ou plusieurs marqueurs ne permettent pas de dire s'il s'agit d'un individu déjà identifié ou non. Enfin pour 17 échantillons, un trop grand nombre d'informations sont manquantes pour permettre l'identification. Le résultat de 32 génotypes obtenu est donc un nombre minimum d'individus identifiés.

Les génotypages de chaque individu identifié a été reporté dans le tableau ci-dessous.

Tableau VIII : identification des panthères des neiges à partir de 7 marqueurs microsatellites, tous les échantillons montrant des valeurs identiques pour chaque marqueur ont été considéré comme un seul individu et sont regroupés en une seule ligne. En blanc : génotypage unique, en gris : génotypage présentant des valeurs manquantes pouvant être identiques ou non avec l'individu de la ligne au-dessus. Sexe 1 1 femelle ; 0 1 mâle

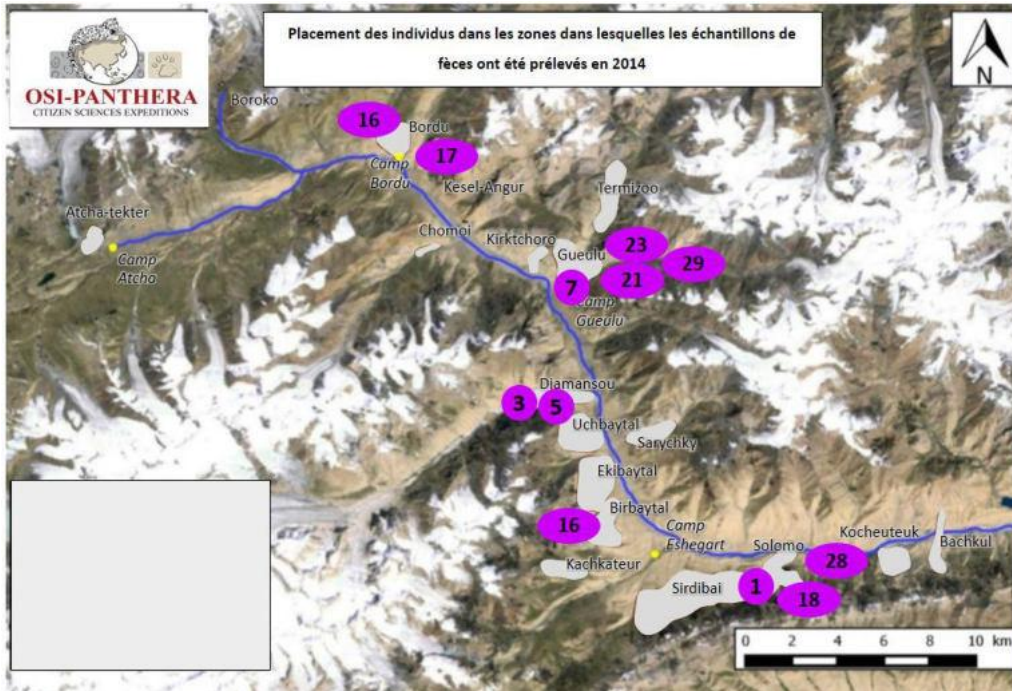
	GENOTYPAGE														SEXAGE	
	PUN132		PUN100		PUN124		PUN225		PUN229		PUN237		PUN935			
1	112	118	89	89	90	100	175	175	**	**	78	86	115	119	1	1
2	112	118	89	91	88	98	175	175	108	108	78	86	114	119	1	1
3	112	120	89	89	100	102	177	179	106	110	78	86	115	119	0	1
4	112	122	89	93	88	98	175	177	104	108	78	86	119	119	1	1
5	114	116	91	91	106	108	171	175	**	**	**	**	127	127	1	1
6	118	120	87	89	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
7	120	122	87	87	90	90	179	179	106	110	78	86	115	115	1	1
8	120	122	87	89	88	88	177	179	108	108	86	86	114	114	**	**
	120	122	87	89	**	**	177	179	**	**	86	86	114	114	0	1

	120	122	87	89	88	88	177	179	108	108	86	86	**	**	0	1
9	120	122	87	89	88	88	179	179	108	108	86	86	114	114	**	**
10	120	122	87	89	**	**	177	177	108	108	86	86	**	**	**	**
11	120	122	89	89	88	88	**	**	106	108	86	86	**	**	**	**
12	120	122	89	89	88	94	177	177	104	104	78	88	114	119	0	1
	120	122	89	89	88	94	177	177	104	104	78	88	**	**	0	1
	120	122	89	89	88	94	177	177	**	**	78	88	114	119	0	1
	120	122	89	89	88	94	177	177	**	**	78	88	114	119	0	1
	120	122	89	89	88	94	**	**	**	**	78	88	114	119	0	1
13	120	122	89	89	88	94	177	177	104	104	78	88	114	119	1	1
	120	122	89	89	88	94	177	177	104	104	78	88	**	**	**	**
14	120	122	89	89	88	94	177	181	108	108	78	86	119	119	**	**
	**	**	89	89	88	94	**	**	108	108	78	86	119	119	**	**
15	120	122	89	89	88	94	**	**	104	108	78	86	**	**	0	1
	120	122	89	89	88	94	**	**	**	**	78	86	**	**	**	**
16	120	122	89	89	90	96	177	177	106	106	78	88	115	119	0	1
17	120	122	89	89	90	96	177	177	106	106	78	88	**	**	1	1
	120	122	89	89	90	96	177	177	**	**	78	88	119	119	1	1
18	120	122	89	89	90	96	177	181	106	110	78	86	119	119	0	1
	120	122	89	89	90	96	**	**	**	**	78	86	119	119	0	1
19	120	122	89	89	**	**	177	181	**	**	78	88	114	119	0	1
20	120	122	89	93	88	88	175	179	**	**	86	86	**	**	0	1
21	120	122	89	93	88	90	175	179	106	110	86	86	119	119	0	1
	**	**	89	93	**	**	175	179	**	**	86	86	119	119	0	1
	**	**	89	93	**	**	175	179	**	**	86	86	119	119	0	1
22	120	122	89	93	88	94	175	179	**	**	86	86	119	119	0	1
23	120	122	89	93	90	90	175	179	106	110	86	86	119	119	0	1
	120	122	89	93	90	90	**	**	**	**	86	86	**	**	**	**
	120	122	89	93	90	90	**	**	**	**	86	86	**	**	**	**
	120	122	89	93	**	**	175	179	106	110	86	86	119	119	0	1
24	120	122	93	93	88	88	175	181	108	108	78	86	114	119	0	1
25	120	122	93	93	**	**	175	181	108	108	78	86	114	119	1	1
	120	122	93	93	**	**	**	**	108	108	78	86	**	**	1	1
26	120	122	**	**	88	88	175	179	104	104	86	86	**	**	**	**
27	120	122	**	**	88	88	177	177	108	108	**	**	**	**	**	**
28	120	122	**	**	88	88	177	179	108	108	86	86	114	114	0	1
	**	**	**	**	88	88	177	179	108	108	86	86	114	114	**	**
29	122	122	89	93	90	96	175	179	**	**	86	86	119	119	1	1
30	122	122	93	93	88	88	173	175	**	**	86	86	**	**	**	**
	**	**	93	93	88	88	**	**	**	**	86	86	114	119	**	**
	122	122	**	**	88	88	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
31	**	**	**	**	82	82	**	**	**	**	86	86	**	**	**	**
32	**	**	**	**	94	94	**	**	**	**	**	**	114	114	**	**

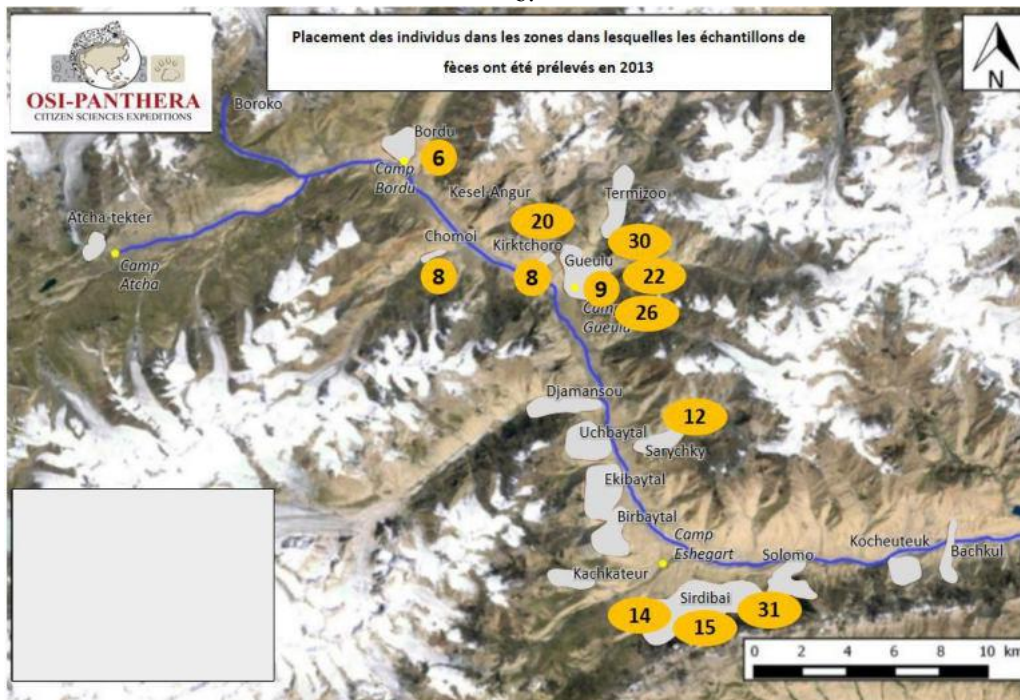


Les numéros des individus ont été reportés sur la carte de la réserve en fonction des années. Les numéros sont placés de façon approximative par rapport aux zones dans lesquelles ils ont été trouvés. Il aurait été plus précis de les placer en fonction des coordonnées GPS du lieu de prélèvement, mais ces coordonnées ne sont pas valides pour les années 2013 et 2014. On note que seulement trois individus, les numéros 8, 12 et 28 se retrouvent sur plus d'une carte, c'est-à-dire que des fèces de ces individus ont été prélevés plus d'une année.

a.

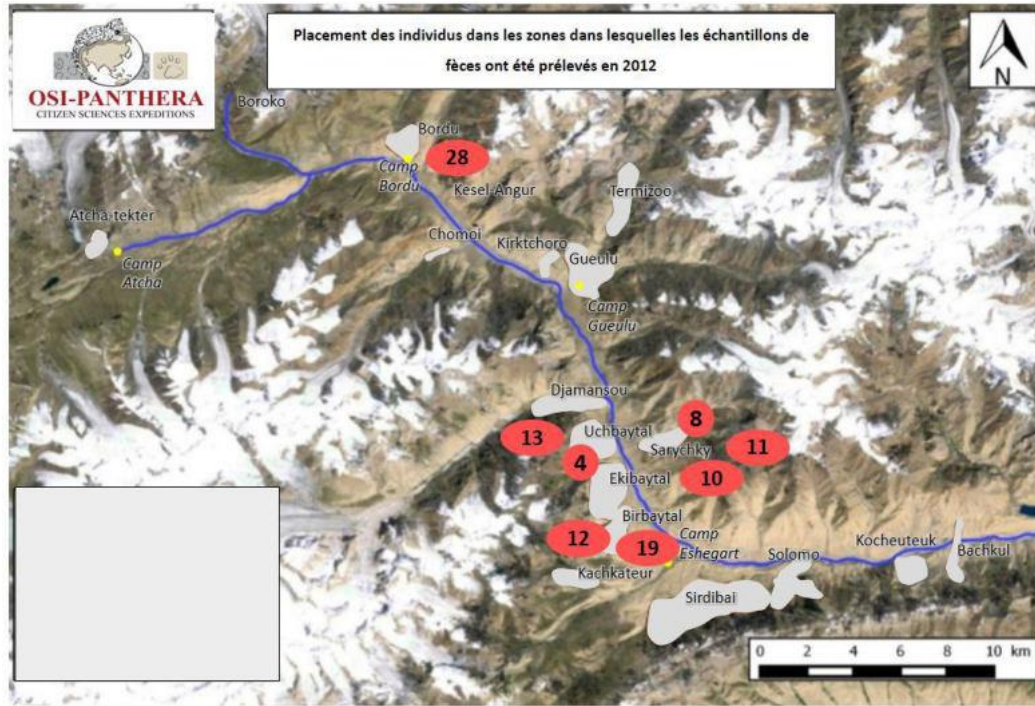


b.



c.





d.

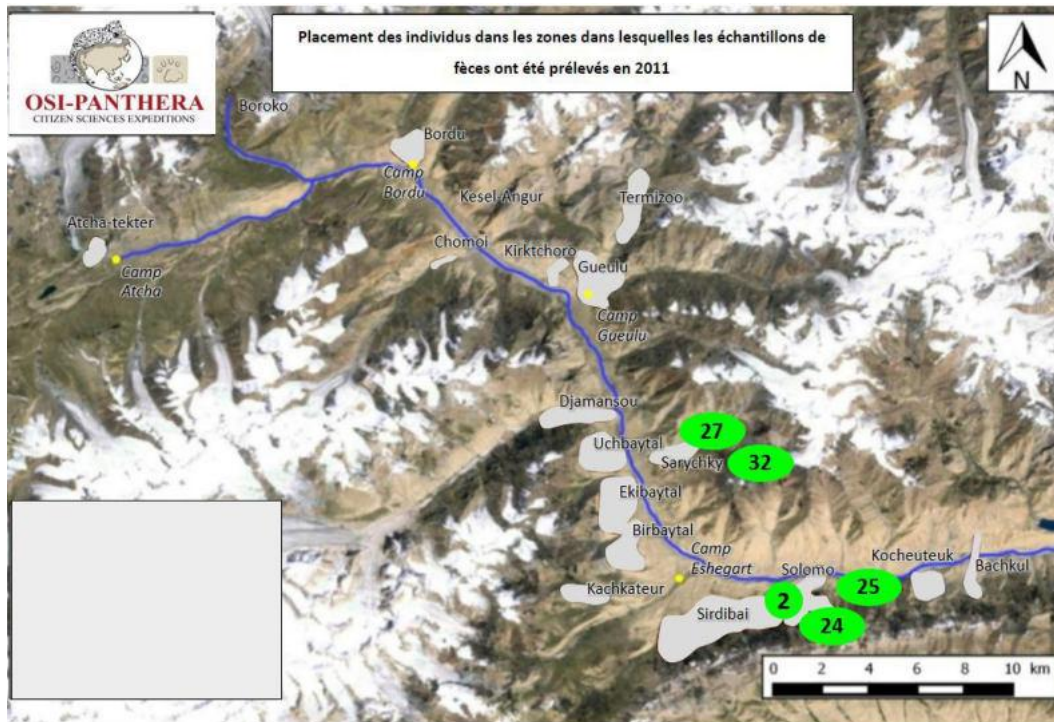


Figure 39 : placement des individus dans les zones où les prélèvements de fèces ont été effectués a. en 2014, b. en 2013, c. en 2012, d. en 2011.

## IV) Discussion

### A) Zones étudiées et transects

L'étude d'une population devrait idéalement être basée sur la prospection systématique d'une zone d'étude correspondant à cette population. Cependant il est à la fois difficile de définir ces zones précisément, et de les prospecter de façon appropriée compte-tenu de l'accessibilité parfois réduite.

Dans cette étude, afin d'organiser les prospections, des zones de la réserve, accessibles à pied ou à cheval et présentant des reliefs caractéristiques connus pour être des sites préférentiels pour la panthère des neiges ont été choisies. Les zones prospectées n'ont donc pas été choisies aléatoirement dans la réserve et ne couvrent finalement qu'une petite partie du domaine disponible pour les panthères. Les fonds de vallée, les zones non accessibles de la réserve en raison de la montée des eaux en été et les sommets les plus hauts et les plus escarpés ont été exclus des recherches. De plus, à l'intérieur de ces zones, les transects réalisés ont également été choisis en fonction de la topographie du lieu et de la difficulté à franchir certains reliefs, le résultat étant que certaines zones sont couvertes de façon homogène tandis que d'autres ne sont étudiées que sur un transect. Finalement, l'aire de la zone réelle étudiée est extrêmement variable d'une année à l'autre et d'une expédition à une autre la même année. De plus les résultats obtenus sur certains transects ne sont pas extrapolables pour les autres parties de la réserve car les reliefs jouent pour beaucoup dans les territoires de la panthère des neiges et certains reliefs notamment les monts situés à 5000 m d'altitude n'ont jamais été prospectés.

Il serait intéressant de quadriller méthodiquement la réserve en zones de même taille en amont d'une expédition et de définir si possible et avec l'aide des gardes de la réserve des transects à l'intérieur de ces zones (Smallwood et Fitzhugh 1995). Il n'existe pas de méthode permettant de connaître la taille du quadrillage la plus adaptée à la recherche d'indices. Cependant, afin de coupler la recherche d'indices avec la pose des pièges photographiques on peut utiliser la recommandation faite d'en plusieurs études de quadriller la zone de telle sorte qu'aucun domaine vital de panthère ne soit laissé entre deux pièges. Cela est relativement facile pour une espèce comme la panthère des neiges ayant un grand domaine vital. La taille du domaine vital d'une femelle, plus petit que celui d'un mâle, serait de 124 km<sup>2</sup> (Johansson et al. 2015). Théoriquement, il faudrait quadriller la réserve en zone de 100 km<sup>2</sup> mais en pratique on peut faire mieux et diminuer cette taille afin d'augmenter l'effort d'échantillonnage. Les zones non accessibles sont à exclure préalablement de l'étude et donc de la surface sur laquelle la panthère des neiges est réellement étudiée. Parmi les zones accessibles, le choix au hasard des zones à prospecter permettra une plus grande représentativité de la réserve et donc des résultats plus fiables (Hearn et al. 2016). A l'intérieur de ces zones, les transects pourraient être déterminés en fonction des reliefs.

Afin que les résultats soient comparables d'une année sur l'autre dans le but d'un suivi à long terme de la population, chaque transect ainsi défini devrait être prospecté au moins une fois par an à l'identique, que des indices de présence y ai été trouvé ou non. En effet, certaines zones n'ont été prospectées qu'une ou deux fois en raison du peu d'indices trouvés mais cela ne signifie pas qu'une panthère ait pu passer voire s'installer dans cette zone au cours de l'année suivante.

## B) Indices de présence

La recherche des indices de présence a permis d'attester très rapidement de la présence de panthères des neiges dans la réserve. Un des inconvénients de la méthode des indices de présence est qu'elle permet d'affirmer le passage d'un animal lorsque des indices sont présents mais leur absence ne signifie pas une absence de panthère des neiges. Là encore, on peut supposer que la probabilité de présence est faible lorsqu'on ne trouve pas d'indice mais un effort d'échantillonnage devrait être réalisé plusieurs années de suite pour confirmer qu'un site est peu ou pas fréquenté.

La motivation première d'un transect influe beaucoup sur l'attention portée à la recherche d'indices. Lorsque deux transects sont réalisés dans la même zone deux expéditions de suite, cela peut-être du au fait qu'un transect a été réalisé pour la recherche d'indices de présence et s'est terminé par la pose d'un piège photographique sur la crête puis que ce transect a été de nouveau réalisé quelques semaines plus tard avec pour but principal d'aller relever le piège photographique. Dans ce cas, ce second trajet ne devrait pas être comptabilisé comme transect mais en pratique, lorsque des indices de présence sont quand même observés, ils sont notés et le transect est alors comptabilisé. Cela explique la grande différence en abondance d'indices trouvés dans une même zone la même année.

Dans cette étude, le grand nombre d'indices trouvés chaque année sur tous les transects réalisés permet d'affirmer que des individus habitent et parcourent régulièrement les zones étudiées. Cependant, ces indices devraient nous permettre d'aller plus loin et de savoir également 1) s'il existe des zones plus fréquentées, et peut-être plus densément peuplées que d'autres ; 2) s'il existe des tendances temporelles. Pour le moment, les biais liés au fait que les transects ne sont jamais parcourus à l'identique et que l'effort de recherche d'indices varie beaucoup d'un transect à l'autre, d'une expédition à une autre et d'une année sur l'autre ne permettent pas de répondre à ses questions. On observe bien une différence d'abondance en indices sur différents sites en fonction des années mais la raison n'est pas déterminée. Il n'existe pas encore, à ma connaissance, d'étude sur la dynamique d'occupation des sites par les panthères des neiges avec laquelle on pourrait comparer ses résultats.

Etonnamment, l'augmentation du temps de présence dans la réserve n'a pas été corrélée à une augmentation de la quantité d'indices trouvés. L'hypothèse la plus probable est que les premières années étaient essentiellement portées sur la recherche d'indices tandis qu'au cours des années suivantes, la pose et le relevé des pièges photographiques ont pris de l'importance. Il n'est pas exclu que la présence plus longue des équipes dans la réserve et l'ouverture des expéditions à de plus en plus de participants ait dérangé les animaux et qu'ils évitent les crêtes et vallons dans lesquelles la présence humaine a été sentie (P. D. Meek et al. 2014). Une autre hypothèse possible, plus alarmante, serait que le nombre d'individus diminue dans la réserve. Cette hypothèse serait une des premières à tester avec un protocole de recherche plus rigoureux.

Un certain nombre de zones présentent un grand nombre d'indices de présence ce qui peut signifier que les transects réalisés ont été bien choisis et correspondent comme prévu à des passages privilégiés de la panthère. Parmi ces zones, on peut citer Sirdibai et Solomo qui sont également les zones ayant été prospectées tous les ans depuis 2009. Des biais sont peut-être à l'origine du grand nombre d'indices trouvés. Tout d'abord, ces zones sont proches du camp de base d'Eshegart, après traversée de la rivière à cheval, elles sont accessibles directement à pied donc ne nécessitent pas de trajet de plusieurs heures à cheval pour s'y rendre. Cela laisse plus de temps pour réaliser le transect.

Etant proches du camp, elles sont généralement étudiées dans les premiers jours suivant l'arrivée des participants dans la réserve. Les encadrants et les gardes ont une très bonne connaissance des reliefs de ces zones, de leurs difficultés, et les passages à emprunter ce qui est idéal pour débiter l'expédition, mettre l'équipe en confiance et avoir un aperçu des capacités physiques de chacun. Ces transects se font lentement afin que chacun trouve son rythme en altitude et des pauses régulières sont effectuées ce qui est propice à la recherche d'indices. Après plusieurs prospections sur ces lieux, des endroits privilégiés pour apercevoir des indices de présence ont pu être trouvés et visités régulièrement au cours des expéditions suivantes. De plus, au début de l'expédition, les participants et encadrants sont possiblement plus attentifs et motivés qu'en fin d'expédition où l'équipe est plus fatiguée.

Les zones de Bachkul, Chamoi et Kesel-Angur n'ont été étudiées qu'une seule fois et ont pourtant montré un nombre conséquent d'indices de présence. Ces zones ont un fort potentiel et devraient à nouveau être prospectées afin de savoir si le passage d'une panthère est régulier. Ces deux zones se situent à mi-distance entre les camps de Gueulu et Bordu ce qui peut représenter une étape lorsqu'une équipe se déplace d'un camp à l'autre. Pour le moment elles n'ont été étudiées qu'une seule fois sûrement par manque de temps car le trajet à cheval entre Gueulu et Bordu est déjà long.

Sarychky est une autre zone présentant une grande concentration d'indices de présence. Tous les transects réalisés sur cette zone ont suivi le même chemin car il s'agit d'un lit de rivière encaissé. Le passage est étroit et ne permet pas de prendre plusieurs directions, que ce soit pour l'équipe OSI Panthera ou pour les panthères des neiges ce qui peut expliquer la forte concentration d'indices sur ce passage.

Un grand nombre de transects ont été réalisés sur Djamansou, Ekibaytal et Uchbaytal pour un faible nombre d'indices trouvés. Une explication possible est que ces transects sont relativement faciles et agréables à réaliser, notamment Ekibaytal qui est un vallon encaissé et sont donc choisis à la fin des expéditions lorsque les participants sont fatigués de gravir les crêtes.

Les grattages sont les indices trouvés en plus grande quantité ce qui cohérent avec les données de la littérature sur le comportement de marquage des panthères des neiges (L. Fox et Chundawat 2016). Plusieurs grattages sont souvent trouvés au même endroit comme en 2015 où vingt-trois grattages dont sept très frais datant d'un jour seulement ont été retrouvés à Birbaytal. Une forte concentration de grattages sur un transect correspondant à une ligne de crête ou un relief naturel pourrait signaler une limite de territoire. La cartographie de ces grattages et notamment dans les zones où on les trouve en grande quantité pourrait aider à déterminer la répartition des territoires dans la réserve. Par exemple, on peut émettre l'hypothèse d'une limite de territoire au niveau de Solomo où une grande quantité de grattages a été retrouvée alors qu'il s'agit d'une crête importante.

Les empreintes sont beaucoup plus rarement aperçues, plus difficiles à détecter dans l'environnement rocheux de la plupart des transects et parce que le substrat permet peu souvent l'impression de l'empreinte dans le sol. La découverte d'empreintes très fraîches à fraîches reste anecdotique. Les empreintes plus anciennes sont plus souvent relevées. La taille globale est mesurée mais l'empreinte est souvent trop dégradée pour que les mesures nécessaires à l'identification individuelle soient possibles. Les quelques études publiées concernant l'estimation de l'abondance relative ou réelle à partir de l'abondance en empreintes ou des mesures d'empreintes ne sont pas applicables dans ces conditions (Stander 1998), (Lewison, Fitzhugh, et Galentine 2001). Une photographie systématique de chaque empreinte trouvée associée à une échelle pourrait quand même être prise et permettre en aval de créer une banque d'images afin de comparer les clichés d'un transect à l'autre et d'une année sur l'autre.

Les empreintes peuvent dans de très rares cas révéler des informations concernant l'individu comme lorsqu'une empreinte de jeune est trouvée.

Un nombre conséquent de fèces a été trouvé et prélevé ces dernières années. L'identification des fèces de panthère est basée sur les tiges de *Myricaria germanica* dont la présence dans les excréments est supposée attester qu'il s'agit d'excréments de panthère. D'après les données génétiques, 61% des échantillons envoyés étaient de panthères des neiges, soit un taux de 39% d'erreur. Ce taux est cohérent avec les publications concernant d'autres études et d'autres espèces (Karmacharya et al. 2011; Bhagavatula et Singh 2006). Les fèces de panthère sont très souvent confondues avec celles de loup ou de renard. A l'avenir, toutes les fèces trouvées, de forme et taille pouvant appartenir à une panthère, pourraient être prélevées même si elles ne contiennent pas de restes de végétaux. Les fèces seraient alors comptabilisées seulement après retour des résultats génétiques attestant qu'il s'agit bien de panthère.

Les observations directes de panthères des neiges sont extrêmement rares. Elle est parfaitement camouflée par son pelage gris à rosettes dans son environnement de roche et de neige et pourrait passer inaperçue, immobile, même en se trouvant à portée de vue d'un participant. Les gardes ont parfois la chance d'apercevoir un individu lorsqu'ils sont seuls et discrets. Les équipes de OSI Panthera étant composée d'une dizaine de membres, il est très peu probable qu'une panthère se laisse surprendre un jour... L'observation des deux jeunes panthères en 2014 était une très grande chance.

### C) Pièges photographiques

Un très grand nombre de photographies et de vidéos ont été réalisées dans la réserve, capturant des images de nombreuses espèces, allant de la marmotte à l'ours brun de l'Himalaya en passant par les argalis. Ces images ont permis de compléter l'inventaire des espèces présentes dans la réserve, proies potentielles ou prédateurs concurrents de la panthère des neiges. C'est le cas d'un lynx filmé devant une carcasse d'ibex en 2015, dont la présence était alors insoupçonnée dans la réserve, même par les gardes. Cette information est essentielle car elle permet de savoir qu'une petite empreinte de félin peut être une empreinte de lynx et non celle d'une jeune panthère.

Concernant les photographies des panthères des neiges, elles ont pour le moment été conservées mais non analysées. Le tri des images utilisables pour l'identification individuelle est en cours.

Un seul piège photographique a été placé à chaque site, ce qui ne permet de photographier qu'un seul flanc de l'animal ou d'obtenir une image de face ou de dos. Il est impossible de comparer des ocelles de pelage sur des images obtenues de face ou de dos, du flanc droit ou du flanc gauche. Les images peuvent être analysées en deux groupes différents, par exemple les flancs droits entre eux et les flancs gauches entre eux mais une grande partie des informations est perdue. Le fait d'installer les pièges photographiques devant des promontoires rocheux où la panthère des neiges est connue pour venir marquer permet d'avoir plusieurs clichés de l'animal et possiblement des clichés vus sous différents angles, par exemple une panthère s'approchant d'un rocher et se retournant devant le rocher pour le marquer permet d'observer les deux flancs de l'animal. Idéalement, une paire de pièges photographiques devraient être installée à chaque site et disposée de façon à photographier les deux côtés de l'animal à son passage (Kelly et al. 2008; Soisalo et Cavalcanti 2006) mais cela demande de doubler la quantité de matériel sur le terrain, les pièges et les batteries donc de doubler le coût de chaque image et le poids en matériel

à amener dans la réserve et à transporter jusqu'à la crête. OSI Panthera ne possède pour le moment qu'une dizaine de pièges photographiques ce qui ne permet pas de les installer par paire. Cela diminuerait le nombre de sites photographiés et donc la probabilité de détection (Alonso et al. 2015; Brassine et Parker 2015).

De même que pour la recherche d'indices, l'estimation de l'abondance à partir des pièges photographiques ne sera possible que lorsqu'un protocole de suivi sera mis en place et respecté année après année. Pour le moment, l'estimation d'une abondance même relative n'est pas possible car l'effort d'échantillonnage, soit le nombre de jour de capture par piège photographique varie en fonction des pièges et des années et est même parfois inconnu lorsque les gardes déplacent ou retirent des pièges au cours de l'hiver. Ce protocole devra prévoir au hasard les zones dans lesquelles un piège sera posé comme décrit pour la recherche d'indices. A l'intérieur d'une zone, les indices de présence et les reliefs caractéristiques pourront aider au choix de l'emplacement pour la pose du piège (Cusack et al. 2015). Dans ces conditions et si le temps d'activité de chaque piège est connu, chaque photographie de panthère pourra être considérée comme un indice de présence et cela permettra d'avoir un paramètre de suivi de plus de l'abondance relative sans nécessité d'identification.

Les pièges photographiques n'ont pour le moment pas permis l'identification des individus ou l'estimation d'une abondance mais ont permis d'obtenir une collection d'images de panthères des neiges apportant de nombreuses informations sur leur comportement (heures d'activités, posture de chasse, comportement de marquage...).

#### D) Analyses génétiques

La méthodologie de prélèvement et de conservation des prélèvements semble convenir puisque le laboratoire en charge des analyses génétiques a pu extraire suffisamment d'ADN de 124 échantillons sur 147 échantillons envoyés. Concernant les prélèvements, comme expliqué précédemment, les fèces ayant la taille et/ou la forme de celles d'une panthère devraient être collectées systématiquement. Cela augmentera nettement le nombre de prélèvements et donc les inconvénients liés à leur transport, leur conservation et leur envoi au laboratoire mais évitera de sous-estimer la quantité de fèces trouvée sur un transect.

Sept marqueurs microsatellites ont été utilisés permettant d'obtenir 32 génotypes différents sur 83 échantillons testés. Le fait qu'il nous manque des informations sur la façon dont ces analyses ont été conduites ne nous permet pas d'estimer la fiabilité des résultats. Dans d'autres études, un nombre plus important de marqueurs est utilisé (Mondol et al. 2009) ou les réactions PCR sont conduites plusieurs fois pour chaque échantillon et pour chaque locus (Karmacharya et al. 2011). Pour les 17 échantillons dont il manque des données pour plusieurs marqueurs, on ne sait pas si les résultats auraient été meilleurs si les réactions PCR avaient été conduites plusieurs fois.

Les fèces de seulement trois individus ont été trouvés plusieurs années, les individus 8 et 12 en 2012 et 2013 et l'individu 28 en 2012 et 2014. Cela semble très peu, bien qu'aucune étude n'est jamais été publiée sur le suivi, plusieurs années consécutives, de l'abondance des panthères des neiges par analyses de fèces donc nos résultats ne peuvent être comparés à d'autres.

Il semble peu vraisemblable que les vingt neuf autres génotypes déterminés correspondent réellement à vingt-neuf individus étant donné qu'on trouve parfois jusqu'à quatre génotypes différents sur des fèces collectées au même endroit, la même année.

Par exemple, lorsque deux individus ayant des génotypes proches se trouvent sur le même site, la même année, on peut se demander s'il s'agit de deux individus différents potentiellement apparentés ou s'il s'agit d'un même individu et que des erreurs sont apparues dans les génotypages.

S'il s'avère qu'il n'y a pas d'erreur, alors ces données nous permettent de donner un nombre minimum de panthères des neiges chaque année. Il y aurait eu le passage d'au minimum onze panthères des neiges en 2014 dans la réserve.

Ce serait très intéressant de coupler la cartographie des données génétiques avec les photographies des piège photographiques pour voir si le piège a également enregistré le passage de plusieurs individus lorsque des fèces d'individus différents ont été trouvés sur un même site.

#### E) Estimation de l'abondance

Le suivi à long terme de la population de panthères des neiges à Sarychat-Ertash passe nécessairement par une estimation de la taille de la population chaque année afin de suivre son évolution. Pour le moment, un des premiers objectifs d'OSI Panthera de déterminer si la panthère des neiges était présente ou non dans la réserve a été atteint et le second objectif d'obtenir une première estimation de la taille de la population est en cours.

Seules les analyses génétiques permettent aujourd'hui de donner un nombre minimal d'individus vivant ou ayant été de passage dans la réserve. Extrapoler le nombre de génotypes trouvés pour en estimer une abondance en panthères des neiges dans la réserve n'est pas envisageable. D'une part, l'hypothèse d'une population close n'est pas validée car les résultats ont été obtenus sur des échantillons prélevés pendant huit saisons. Ce laps de temps oblige à prendre en compte les naissances, décès, mouvements des individus de part et d'autre des limites de la réserve (O'Connell, Nichols, et Karanth 2011). Ainsi, un individu identifié à partir d'un échantillon de fèces prélevé en 2009 ne vit peut-être plus dans la réserve ce jour. D'autre part, la zone d'étude n'est pas représentative de l'ensemble de la réserve, en surface et en topographie. Les résultats obtenus pour cette zone d'étude sont donc difficiles à extrapoler à l'ensemble de la réserve.

Pour transformer cette abondance en densité de population et estimer la taille d'un domaine vital moyen de panthère, l'aire précise de la zone d'étude totale doit être déterminée. Dans les conditions actuelles, il est impossible de calculer cette aire car l'échantillonnage a été très inégal au cours des années et n'a pas couvert la totalité de la zone de façon homogène. Toutes années confondues, les transects ont couvert une zone d'environ 120 km<sup>2</sup> mais cela ne signifie pas que les domaines vitaux de ces trente-deux panthères se situent dans cette zone. D'après les études sur les panthères des neiges dans plusieurs parties de leur aire de répartition, la densité de population des panthères des neiges seraient de 0,92 à 1,8 panthères par 100 km<sup>2</sup> (T. McCarthy et al. 2016) ce qui correspondrait environ à une panthère dans la zone totale prospectée et non trente-deux. Certains individus pouvaient être seulement de passage, d'autres peuvent avoir une toute petite partie de leur domaine vital dans la zone d'étude et le reste s'étendant sur les crêtes voisines non étudiées. Enfin, la distribution des domaines vitaux peut changer au cours des années, notamment en fonction de la disponibilité en proies, ce qui pourrait expliquer la présence de fèces de plusieurs individus sur un même territoire à quelques années d'intervalle.



Pour le moment cette estimation d'abondance n'a pu être possible. Le nombre d'indices de présence en fonction de l'effort d'échantillonnage nous donne une première idée d'abondance relative. Elle semble stable au cours des années. L'estimation d'une abondance réelle n'est pas encore possible avec les données obtenues.

#### F) Limites des expéditions participatives

Le principe de ces expéditions est qu'elles font intervenir des participants de toutes origines, de tous âges et ayant chacun une condition physique, des connaissances, une motivation et des attentes bien différentes. Chaque expédition est unique puisque chaque équipe est très différente ce qui limite la comparaison des résultats entre expéditions.

Les transects sont choisis en fonction des pièges photographiques à relever, des conditions météorologiques mais également en fonction de l'envie des encadrants et de la motivation ou fatigue des participants. Cela montre la nécessité de disposer d'un protocole précis appliqué à chaque expédition. En pratique, cela est peu compatible avec l'esprit des expéditions participatives qui est aussi un esprit de partage et de découverte où chaque participant peut choisir de profiter de son voyage à sa façon.

De nombreux facteurs liés aux participants influent sur la recherche d'indices de présence. Tout d'abord, les transects sont réalisés dans un but pédagogique donc les encadrants préfèrent parfois choisir un transect connu pour présenter de nombreux indices de présence plutôt que de s'aventurer sur un transect inconnu. L'équipe est nombreuse ce qui est un avantage en termes de détection bien que la plupart des indices soient trouvés initialement par les gardes ou les encadrants, surtout en début d'expédition. L'attention des participants peut vite être détournée du transect, au passage d'un groupe d'ongulés ou d'un rapace par exemple. Enfin, l'entente, la cohésion et l'entraide au sein d'un groupe varie aussi d'un groupe à l'autre et joue pour beaucoup dans l'ambiance du séjour en général et par conséquent sur les transects.

La pose des pièges photographiques et le prélèvement des fèces une fois trouvées sont peu affectés par la présence des participants.

Étendre les recherches à d'autres parties de la réserve serait essentiel mais cela semble compliqué à mettre en place avec des groupes de participants. Les nouveaux transects seraient inconnus, difficiles voire dangereux. Les crêtes de la rive gauche de l'Ertash en aval de Sarychky sont plus difficiles d'accès et bien plus escarpées. Le passage de la rivière peut également être dangereux à certaines périodes de l'année pour des personnes non expérimentées.

#### G) Objectifs et perspectives d'avenir pour OSI Panthera

Les deux grandes missions de OSI Panthera sont l'étude de la panthère des neiges et la sensibilisation des populations locales et occidentales aux enjeux de sa conservation.

L'étude de la panthère des neiges implique connaître la taille de la population vivant dans la réserve, l'évolution de cette population, la taille et la distribution des territoires mais également des informations sur le comportement de chasse et de reproduction, des interactions entre individus, des interactions entre panthères des neiges et autres espèces de la réserve.

Dix ans de données ont été conservées et certains résultats devraient apporter des informations considérables notamment : la cartographie des indices de présence dont les grattages pour visualiser des limites de territoire, la comparaison des clichés de panthères pour identifier des individus, la cartographie précise des résultats génétiques et la combinaison de ces résultats génétiques avec les photographies. Des stagiaires à OSI et anciens participants de OSI Panthera ont commencé ce travail.

A l'avenir les recherches devraient être réalisées sur la totalité de l'habitat disponible pour la panthère dans la réserve. Si cette perspective n'est pas compatible avec le principe de recherche participative, une nouvelle zone d'étude englobant les zones déjà étudiées et potentiellement d'autres zones accessibles devrait être définie et son aire calculée. Les transects à l'intérieur de cette zone devraient être définis à l'avance de manière aléatoire et suivi le plus possible sur le terrain, en prenant bien sûr en compte qu'il est parfois nécessaire de contourner un relief infranchissable. Chacun de ces transects devraient être prospectés au moins une fois par an, ce qui implique de ne pas systématiquement refaire les mêmes transects avec deux groupes différents. Les résultats trouvés en termes de taille et densité de population seraient appliqués à cette zone réellement étudiée et non à la totalité de la réserve. Dans un second temps on pourrait extrapoler ces résultats au reste de la réserve tout en sachant que le résultat obtenu serait approximatif.

Afin d'intensifier les efforts de recherche dans les zones déjà accessibles, le prélèvement d'un plus grand nombre de fèces susceptibles d'être de la panthère des neiges est une mesure simple à mettre en place qui pourrait apporter de bons résultats.

La possibilité de poser des pièges à poils afin de récolter encore plus d'échantillons ADN a déjà été discutée et pourrait être mise en place.

La pose d'un collier GPS sur un individu dans la réserve apporterait une très grande quantité d'informations sur le comportement de la panthère, l'utilisation de son espace, la distance parcourue dans une journée, la taille de son territoire. Toutefois, cette méthode n'est pas compatible avec le principe de recherche non invasive de OSI Panthera dont la devise est « Sur les traces de la panthère des neiges sans laisser les nôtres ». En juin 2017, une expédition a été réalisée en collaboration avec Panthera US, un programme américain d'étude de la panthère des neiges dans la région des Pamirs Alai, au Kirghizistan à la frontière tadjike. Ce programme a récemment équipé une jeune femelle d'un collier GPS. Cette collaboration offre de nouvelles perspectives en terme de partage de données et pourrait permettre à OSI Panthera d'obtenir des informations manquantes comme la taille d'un domaine vital de panthère des neiges au Kirghizistan et à Panthera US de s'aider des données qui ont été récoltées ces dernières années par OSI Panthera.

Enfin depuis 2016, des expéditions dans la réserve de Naryn située au sud-ouest du lac Issik-Kul ont été initiées. Cette réserve de 1000 km<sup>2</sup> abrite également un écosystème très riche. Des indices de présence et une centaine de photographies de la panthère des neiges ont déjà été relevés en deux ans.

## CONCLUSION

A l'heure où la biodiversité connaît un déclin sans précédent, les félins ne font pas exception et subissent des pressions humaines et environnementales fortes. Ces animaux ont colonisé quatre continents sur cinq et ont su s'adapter et survivre à tous types de milieux et de climats. Pourtant aujourd'hui, la perte de leur habitat et le braconnage sont deux dangers pesant sur toutes les espèces de félins partout dans le monde. En tant que carnivores stricts et prédateurs, ils jouent un rôle essentiel dans l'équilibre des écosystèmes qu'ils occupent, sans compter leur valeur culturelle, religieuse, économique. La conservation de ces félins, passant notamment par la protection de leur environnement et de leurs ressources, un contrôle strict du braconnage et une prise de conscience de l'enjeu de leur sauvegarde par les populations locales, sont les défis de ce siècle et nécessitent la mise en place de mesures de conservation adaptées et efficaces. Ces mesures ne peuvent être déterminées qu'après une étude des populations concernées, notamment de leur abondance, un paramètre fondamental pour statuer sur l'état d'une population, assurer son suivi et évaluer l'efficacité des mesures de protection. Cependant, malgré l'urgence de protéger certaines espèces de félins, les études permettant d'obtenir des données suffisantes et fiables manquent.

La panthère des neiges, *Panthera uncia*, est un exemple d'espèce de félin méconnue. Son étude est particulièrement difficile car elle est discrète, farouche, vit à faible densité de population dans des espaces très vastes, peu accessibles, aux conditions climatiques difficiles. Nos connaissances sur cette espèce nous viennent d'un ensemble de données obtenues par différentes équipes de recherche dans de très petites zones de son aire de répartition et extrapolées à de plus grandes régions.

L'étude des panthères des neiges dans la réserve de Sarychat Ertash au Kirghizistan est une contribution à cette collaboration internationale pour la connaissance et la protection de cette espèce. Les sept saisons de prospection par les équipes d'OSI Panthera analysées dans ce document ont permis d'attester de la présence de panthères des neiges dans toutes les zones étudiées de la réserve sur plusieurs années consécutives. Les indices de présence relevés sont en faveur d'une abondance relative stable au cours des années, bien qu'il soit impossible d'en estimer une abondance réelle : les zones étudiées manquent de représentativité et les transects réalisés sont choisis en fonction de l'équipe de l'expédition et des conditions de terrain. Les pièges photographiques ont fourni un grand nombre d'images permettant d'observer indirectement des comportements de panthère des neiges dans leur environnement naturel, ce qui est essentiel à la compréhension de l'espèce. Enfin, les analyses génétiques sur fèces prélevés quatre années consécutives ont montré le passage de trente-deux individus différents.

Un travail important reste à faire, comme mettre en place un protocole de prospection plus rigoureux dans l'objectif d'estimer une abondance réelle, l'identification des panthères des neiges sur les photographies et le couplage de cette identification avec les analyses génétiques.

**Thèse de Mlle Marianne Bourlat**

**Le Professeur responsable**  
**VetAgro Sup campus vétérinaire**  
**Professeur Emmanuelle GILOT-FROMONT**

**Le Président de la thèse**  
**Professeur Philippe VANHEMS**

**Vu et permis d'imprimer**

Lyon, le **21 NOV. 2017**

**Pour Le Président de l'Université,**  
**Le Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales**  
**Professeur Pierre COCHAT**

**La Directrice générale**  
**VetAgro Sup**  
**Emmanuelle SOUBEYRAN**

Pour le Directeur Général et par délégation

La Directrice Générale Adjointe  
Pr. Jeanne-Marie BONNET-GARIN



## BIBLIOGRAPHIE

- Alexander, Justine S., Arjun M. Gopalaswamy, Kun Shi, et Philip Riordan. 2015. « Face Value: Towards Robust Estimates of Snow Leopard Densities ». *PLOS ONE*
- Alibhai, Sky, Zoe Jewell, et Jonah Evans. 2017. « The challenge of monitoring elusive large carnivores: An accurate and cost-effective tool to identify and sex pumas (*Puma concolor*) from footprints ». *PLOS ONE*
- Alonso, Robert S., Brett T. McClintock, Lisa M. Lyren, Erin E. Boydston, et Kevin R. Crooks. 2015. « Mark-Recapture and Mark-Resight Methods for Estimating Abundance with Remote Cameras: A Carnivore Case Study ». *PLOS ONE*
- Appel, et Duckworth. 2016. « Proceedings of the First International Fishing Cat Conservation Symposium ».
- Bank, The World. 2011. « Global Tiger Recovery Program (2010-2022) ». 73205. The World Bank.
- Belbachir, Farid, Nathalie Pettorelli, Tim Wacher, Amel Belbachir-Bazi, et Sarah M. Durant. 2015. « Monitoring Rarity: The Critically Endangered Saharan Cheetah as a Flagship Species for a Threatened Ecosystem ». *PLOS ONE* 10
- Bhagavatula, Jyotsna, et Lalji Singh. 2006. « Genotyping Faecal Samples of Bengal Tiger *Panthera tigris tigris* for Population Estimation: A Pilot Study ». *BMC Genetics*
- Brassine, Eléonor, et Daniel Parker. 2015. « Trapping Elusive Cats: Using Intensive Camera Trapping to Estimate the Density of a Rare African Felid ». *PLOS ONE*
- Breitenmoser-Würsten, Christine, Jean-Michel Vandell, Fridolin Zimmermann, et Urs Breitenmoser. 2007. « Demography of lynx *Lynx lynx* in the Jura Mountains ». *Wildlife Biology*
- C. Ahlbom, Gary, et Rodney Jackson. 1988. « Marking in free-ranging snow leopards in west Nepal: A preliminary assessment ». *Proceedings of the Fifth International Snow Leopard Symposium*
- Carthew, Susan M., et Ederic Slater. 1991. « Monitoring Animal Activity with Automated Photography ». *The Journal of Wildlife Management*
- Ceballos, Gerardo, Paul R. Ehrlich, Anthony D. Barnosky, Andrés García, Robert M. Pringle, et Todd M. Palmer. 2015. « Accelerated Modern Human-Induced Species Losses: Entering the Sixth Mass Extinction ». *Science Advances*
- « CITES ». s. d. Consulté le 26 novembre 2017. <https://www.cites.org/fra>.
- Cusack, Jeremy J., Amy J. Dickman, J. Marcus Rowcliffe, Chris Carbone, David W. Macdonald, et Tim Coulson. 2015. « Random versus Game Trail-Based Camera Trap Placement Strategy for Monitoring Terrestrial Mammal Communities ». *PLOS ONE*
- D. Farrington, John, et Juan Li. 2016. « Climate Change Impacts on Snow Leopard Range »
- Dice, Lee R. 1938. « Some Census Methods for Mammals ». *The Journal of Wildlife Management*
- Fernández-Giménez, María E., B. Batkhishig, et B. Batbuyan. 2012. « Cross-boundary and cross-level dynamics increase vulnerability to severe winter disasters (dzud) in Mongolia ». *Global Environmental Change*
- « Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité - Accueil FRB - Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité - FRB ». s. d. Consulté le 27 novembre 2017. <http://www.fondationbiodiversite.fr/fr/>.
- Foster, Rebecca J., et Bart J. Harmsen. 2012. « A Critique of Density Estimation from Camera-Trap Data ». *The Journal of Wildlife Management*
- GrrlScientist. 2014. « How Wolves Change Rivers | Video | @GrrlScientist ». *The Guardian*, 3 mars 2014, sect. Science. <http://www.theguardian.com/science/grrlscientist/2014/mar/03/how-wolves-change-rivers>.
- Gusset, Markus, et Nicole Burgener. 2005. « Estimating Larger Carnivore Numbers from Track Counts and Measurements ». *African Journal of Ecology*
- Hearn, Andrew J., Joanna Ross, Henry Bernard, Soffian Abu Bakar, Luke T. B. Hunter, et David W. Macdonald. 2016. « The First Estimates of Marbled Cat *Pardofelis marmorata* Population Density from Bornean Primary and Selectively Logged Forest ». *PLOS ONE*
- Holden, Jeremy, Achmad Yanuar, et Deborah J. Martyr. 2003. « The Asian Tapir in Kerinci Seblat National Park, Sumatra: Evidence Collected through Photo-Trapping ». *Oryx*
- Hunter. 2011. *Carnivores of the World*.
- Hunter, Luke. 2015. *Wild Cats of the World*.
- Inskip, Chloe, Martin Ridout, Zubair Fahad, Rowan Tully, Adam Barlow, Christina Greenwood Barlow, Md. Anwar Islam, Thomas Roberts, et Douglas MacMillan. 2013. « Human–Tiger Conflict in Context: Risks to Lives and Livelihoods in the Bangladesh Sundarbans ». *Human Ecology*
- « ITIS Standard Report Page: Felidae ». s. d. Consulté le 8 novembre 2017. [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=180580#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=180580#null).
- IUCN. 2008. « *Acinonyx jubatus*: Durant, S., Marker, L., Purchase, N., Belbachir, F., Hunter, L., Packer, C., Breitenmoser-Würsten, C., Sogbohossou, E. & Bauer, H.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2014a. « *Lynx pardinus*: Rodríguez, A. & Calzada, J.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2014b. « *Catopuma temminckii*: McCarthy, J., Dahal, S., Dhendup, T., Gray, T.N.E., Mukherjee, S., Rahman, H., Riordan, P., Boontua, N. & Wilcox, D.: The IUCN Red List of Threatened Species

- . 2014c. « *Leopardus Jacobita*: Villalba, L., Lucherini, M., Walker, S., Lagos, N., Cossios, D., Bennett, M. & Huaranca, J.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2014d. « *Panthera Tigris*: Goodrich, J., Lynam, A., Miquelle, D., Wibisono, H., Kawanishi, K., Pattanavibool, A., Htun, S., Tempa, T., Karki, J., Jhala, Y. & Karanth, U.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2014e. « *Leopardus Pardalis*: Paviolo, A., Crawshaw, P., Caso, A., de Oliveira, T., Lopez-Gonzalez, C.A., Kelly, M., De Angelo, C. & Payan, E.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2014f. « *Leopardus Pardalis*: Paviolo, A., Crawshaw, P., Caso, A., de Oliveira, T., Lopez-Gonzalez, C.A., Kelly, M., De Angelo, C. & Payan, E.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2014g. « *Leopardus Wiedii*: De Oliveira, T., Paviolo, A., Schipper, J., Bianchi, R., Payan, E. & Carvajal, S.V.: The IUCN Red List of Threatened Species 2015
- . 2014h. « *Catopuma Badia*: Hearn, A., Brodie, J., Cheyne, S., Loken, B., Ross, J. & Wilting, A.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2014i. « *Prionailurus Planiceps*: Wilting, A., Brodie, J., Cheyne, S., Hearn, A., Lynam, A., Mathai, J., McCarthy, J., Meijaard, E., Mohamed, A., Ross, J., Sunarto, S. & Traeholt, C.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2014j. « *Panthera Leo*: Bauer, H., Packer, C., Funston, P.F., Henschel, P. & Nowell, K.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2014k. « *Felis Bieti*: Riordan, P., Sanderson, J., Bao, W., Abdulkadir, A. & Shi, K.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2015a. « *Panthera Pardus*: Stein, A.B., Athreya, V., Gerngross, P., Balme, G., Henschel, P., Karanth, U., Miquelle, D., Rostro-Garcia, S., Kamler, J.F., Laguardia, A., Khorozyan, I. & Ghoddousi, A.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2015b. « *Panthera Pardus*: Stein, A.B., Athreya, V., Gerngross, P., Balme, G., Henschel, P., Karanth, U., Miquelle, D., Rostro-Garcia, S., Kamler, J.F., Laguardia, A., Khorozyan, I. & Ghoddousi, A.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2016a. « *Neofelis Nebulosa*: Grassman, L., Lynam, A., Mohamad, S., Duckworth, J.W., Bora, J., Wilcox, D., Ghimirey, Y., Reza, A. & Rahman, H.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2016b. « *Felis Nigripes*: Sliwa, A., Wilson, B., Küsters, M. & Tordiffe, A.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2016c. « *Prionailurus Viverrinus*: Mukherjee, S., Appel, A., Duckworth, J.W., Sanderson, J., Dahal, S., Willcox, D.H.A., Herranz Muñoz, V., Malla, G., Ratnayaka, A., Kantimahanti, M., Thudugala, A. & Thaug R. and Rahman, H.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2016d. « *Panthera Uncia*: McCarthy, T., Mallon, D., Jackson, R., Zahler, P. & McCarthy, K.: The IUCN Red List of Threatened Species
- . 2016e. « *Panthera Uncia*: McCarthy, T., Mallon, D., Jackson, R., Zahler, P. & McCarthy, K.: The IUCN Red List of Threatened Species
- Janečka, Jan E., Bariushaa Munkhtsog, Rodney M. Jackson, Galsandorj Naranbaatar, David P. Mallon, et William J. Murphy. 2011. « Comparison of noninvasive genetic and camera-trapping techniques for surveying snow leopards ». *Journal of Mammalogy*
- Johansson, Örjan, Tom McCarthy, Gustaf Samelius, Henrik Andrén, Lkhagvasumberel Tumursukh, et Charudutt Mishra. 2015. « Snow leopard predation in a livestock dominated landscape in Mongolia ». *Biological Conservation*
- Jumabay-Uulu, Kubanychbek, Per Wegge, Charudutt Mishra, et Koustubh Sharma. 2013. « Large carnivores and low diversity of optimal prey: A comparison of the diets of snow leopards *Panthera uncia* and wolves *Canis lupus* in Sarychat-Ertash Reserve in Kyrgyzstan ». *Oryx* Firstview
- Kāraṅta, Ke Ullāsa, et James D. Nichols. 2002. *Monitoring Tigers and Their Prey: A Manual for Researchers, Managers, and Conservationists in Tropical Asia*. Centre for Wildlife Studies.
- Karant, K. Ullas. 1995. « Estimating tiger *Panthera tigris* populations from camera-trap data using capture—recapture models ». *Biological Conservation*
- Karmacharya, Dibesh B, Kamal Thapa, Rinjan Shrestha, Maheshwar Dhakal, et Jan E Janecka. 2011. « Noninvasive genetic population survey of snow leopards (*Panthera uncia*) in Kangchenjunga conservation area, Shey Phoksundo National Park and surrounding buffer zones of Nepal ». *BMC Research Notes*
- Kelly, Marcella J., Andrew J. Noss, Mario S. Di Bitetti, Leonardo Maffei, Rosario L. Arispe, Agustin Paviolo, Carlos D. De Angelo, et Yamil E. Di Blanco. 2008. « Estimating Puma Densities from Camera Trapping across Three Study Sites: Bolivia, Argentina, and Belize ». *Journal of Mammalogy*
- Kitchener, Andrew, Carlos Driscoll, et Nobuyuki Yamaguchi. 2016. « What is a Snow Leopard? Taxonomy, Morphology, and Phylogeny ».

- Kohn, M. H., E. C. York, D. A. Kamradt, G. Haught, R. M. Sauvajot, et R. K. Wayne. 1999. « Estimating Population Size by Genotyping Faeces ». *Proceedings. Biological Sciences*
- L, Erika Etnyre; Jenna, et e; Alison Mckenna. s. d. « Felidae (cats) ». Animal Diversity Web. Consulté le 21 novembre 2017. <http://animaldiversity.org/accounts/Felidae/>.
- L. Fox, Joseph, et Raghunandan Chundawat. 2016. « What is a Snow Leopard? Behavior and Ecology ».
- Lewison, Rebecca, E. L. Fitzhugh, et Steve P. Galentine. 2001. « Validation of a rigorous track classification technique: identifying individual mountain lions ». *Biological Conservation*
- Lincoln, Frederick Charles. 1930. *Calculating waterfowl abundance on the basis of banding returns* /. Washington, D.C. : U.S. Dept. of Agriculture,.
- Lindsey, Peter Andrew, Guy Andrew Balme, Paul Funston, Philipp Henschel, Luke Hunter, Hilary Madzikanda, Neil Midlane, et Vincent Nyirenda. 2013. « The Trophy Hunting of African Lions: Scale, Current Management Practices and Factors Undermining Sustainability ». *PLOS ONE*
- « L'intérieur de la nuit ». s. d. Editions Xavier Barral. Consulté le 2 mai 2017. <http://exb.fr/fr/le-catalogue/247-l-interieur-de-la-nuit.html>.
- « Liste des divinités et dieux égyptiens | Dieux égyptiens ». s. d. Consulté le 27 novembre 2017. <https://www.egyptos.net/egyptos/dieux/lesdivinites.php>.
- Macdonald, David, et Andrew Loveridge. 2010. *The Biology and Conservation of Wild Felids*.
- Maheshwari, Aishwarya, et Shekhar Kumar Niraj. 2016. *Melting the Snow: Monitoring Illegal Trade in Snow Leopards*.
- Mallon, David, Richard B. Harris, et Per Wegge. 2016. « Chapter 4 - Snow Leopard Prey and Diet ». In *Snow Leopards*
- McCarthy, Thomas M., Todd K. Fuller, et Bariusha Munkhtsog. 2005. « Movements and activities of snow leopards in Southwestern Mongolia ». *Biological Conservation*
- McCarthy, Thomas, et David Mallon, éd. 2016. « Chapter 15 - Religion and Cultural Impacts on Snow Leopard Conservation ». In *Snow Leopards*
- McCarthy, Thomas, David Mallon, Eric W. Sanderson, Peter Zahler, et Kim Fisher. 2016. « Chapter 3 - What is a Snow Leopard? Biogeography and Status Overview ». In *Snow Leopards*
- Meek, Paul, Guy Ballard, Peter Fleming, et Greg Falzon. 2016. « Are We Getting the Full Picture? Animal Responses to Camera Traps and Implications for Predator Studies ». *Ecology and Evolution*
- Meek, Paul D., Guy-Anthony Ballard, Peter J. S. Fleming, Michael Schaefer, Warwick Williams, et Greg Falzon. 2014. « Camera Traps Can Be Heard and Seen by Animals ». *PLOS ONE*
- Mishra, Charudutt, Steve Redpath, et Kulbhushansingh Suryawanshi. 2016. « Livestock Predation by Snow Leopards: Conflicts and the Search for Solutions ».
- Mondol, Samrat, Navya R, Vidya Athreya, Kartik Sunagar, Velu Mani Selvaraj, et Uma Ramakrishnan. 2009. « A panel of microsatellites to individually identify leopards and its application to leopard monitoring in human dominated landscapes ». *BMC Genetics*
- Nowell. 2007. « Asian big cat conservation and trade control in selected range States: evaluating implementation and effectiveness of CITES Recommendations. »
- Oakleaf, James R., Christina M. Kennedy, Sharon Baruch-Mordo, Paul C. West, James S. Gerber, Larissa Jarvis, et Joseph Kiesecker. 2015. « A World at Risk: Aggregating Development Trends to Forecast Global Habitat Conversion ». *PLOS ONE*
- O'Connell, Allan F., James D. Nichols, et K. Ullas Karanth, éd. 2011. *Camera Traps in Animal Ecology*.
- Ostrowski, Stéphane, et Martin Gilbert. 2016. « Diseases of Free-Ranging Snow Leopards and Primary Prey Species ».
- Oswell. 2010. *The big cat trade in Myanmar and Thailand*.
- Otis, David L., Kenneth P. Burnham, Gary C. White, et David R. Anderson. 1978. « Statistical inference from capture data on closed animal populations ». *Wildlife Monographs*
- « Overview of The IUCN Red List ». s. d. Consulté le 26 novembre 2017. [http://www.iucnredlist.org/about/overview#redlist\\_criteria](http://www.iucnredlist.org/about/overview#redlist_criteria).
- Parmenter, Robert R., Terry L. Yates, David R. Anderson, Kenneth P. Burnham, Jonathan L. Dunnum, Alan B. Franklin, Michael T. Friggens, et al. 2003. « Small-Mammal Density Estimation: A Field Comparison of Grid-Based Vs. Web-Based Density Estimators ». *Ecological Monographs*.
- Peterson. 1896. « The yearly immigration of young plaice into the Limfjord from the German Sea. » *Danish Biological Station Report*
- Reddy, Patlolla Anuradha, Maradani Bhavanishankar, Jyotsna Bhagavatula, Katakam Harika, Ranjeet Singh Mahla, et Sisinthy Shivaji. 2012. « Improved Methods of Carnivore Faecal Sample Preservation, DNA Extraction and Quantification for Accurate Genotyping of Wild Tigers ». *PLOS ONE*
- Rodgers, Torrey W., Jacalyn Giacalone, Edward J. Heske, Jan E. Janečka, Christopher A. Phillips, et Robert L. Schooley. 2014. « Comparison of Noninvasive Genetics and Camera Trapping for Estimating Population



- Density of Ocelots (*Leopardus Pardalis*) on Barro Colorado Island, Panama ». *Tropical Conservation Science*
- Rodgers, Torrey W., et Jan E. Janečka. 2013. « Applications and Techniques for Non-Invasive Faecal Genetics Research in Felid Conservation ». *European Journal of Wildlife Research*
- Roe, Leader-Williams, et Dalal-Clayton. 1997. « Take Only Photographs, Leave Only Footprints: The environmental impacts of wildlife tourism »
- Seydack, AHW. 1984. « Application of a photo recording device in the census of larger rain forest mammals ». *South African Journal of Wildlife Research*.
- Sharma, Koustubh, Rana Bayrakcismith, Lkhagvasumberel Tumursukh, Orjan Johansson, Purevsuren Sevger, Tom McCarthy, et Charudutt Mishra. 2014. « Vigorous Dynamics Underlie a Stable Population of the Endangered Snow Leopard *Panthera Uncia* in Tost Mountains, South Gobi, Mongolia ». *PLOS ONE*
- Silveira, Leandro, Anah T. A. Jácomo, et José Alexandre F. Diniz-Filho. 2003. « Camera trap, line transect census and track surveys: a comparative evaluation ». *Biological Conservation*
- Smallwood, K. Shawn, et E. Lee Fitzhugh. 1995. « A track count for estimating mountain lion *Felis concolor californica* population trend ». *Biological Conservation*
- Soisalo, Marianne K., et Sandra M. C. Cavalcanti. 2006. « Estimating the density of a jaguar population in the Brazilian Pantanal using camera-traps and capture–recapture sampling in combination with GPS radio-telemetry ». *Biological Conservation*
- Stander, P. E. 1998. « Spoor Counts as Indices of Large Carnivore Populations: The Relationship between Spoor Frequency, Sampling Effort and True Density ». *Journal of Applied Ecology*
- « Stop au trafic illégal d'espèces sauvages ! » s. d. WWF - 40 ans. Consulté le 26 novembre 2017. <http://40.wwf.fr/fr/especes/braconnage>.
- « Suivi scientifique d'espèces animales - PDF ». s. d. Consulté le 27 novembre 2017. <http://docplayer.fr/4539600-Suivi-scientifique-d-especes-animales.html>.
- « Sumatra, une île paradisiaque menacée ». s. d. WWF France. Consulté le 26 novembre 2017. <https://www.wwf.fr/espaces-prioritaires/sumatra>.
- Sunquist, Fiona, et Mel Sunquist. 2014. *The Wild Cat Book: Everything You Ever Wanted to Know about Cats*.
- Swann, Don E., Christine C. Hass, David C. Dalton, et Sandy A. Wolf. 2004. « Infrared-Triggered Cameras for Detecting Wildlife: An Evaluation and Review ». *Wildlife Society Bulletin*
- Thornton, Daniel, Kathy Zeller, Carlo Rondinini, Luigi Boitani, Kevin Crooks, Christopher Burdett, Alan Rabinowitz, et Howard Quigley. 2016. « Assessing the Umbrella Value of a Range-Wide Conservation Network for Jaguars (*Panthera Onca*) ». *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*
- Trolle, M., et M. Kery. 2003. « Estimation of ocelot density in the pantanal using capture-recapture analysis of camera-trapping data ». *Journal of Mammalogy*
- Wang, Sonam Wangyel, et David W. Macdonald. 2009. « The use of camera traps for estimating tiger and leopard populations in the high altitude mountains of Bhutan ». *Biological Conservation*
- Wearn, Oliver R., J. Marcus Rowcliffe, Chris Carbone, Henry Bernard, et Robert M. Ewers. 2013. « Assessing the Status of Wild Felids in a Highly-Disturbed Commercial Forest Reserve in Borneo and the Implications for Camera Trap Survey Design ». *PLOS ONE*
- Wegge, Per, Chiranjibi Pd. Pokheral, et Shant Raj Jnawali. 2004. « Effects of Trapping Effort and Trap Shyness on Estimates of Tiger Abundance from Camera Trap Studies ». *Animal Conservation*
- Wegge, Per, Rinjan Shrestha, et Øystein Flagstad. 2012. « Snow leopard *Panthera uncia* predation on livestock and wild prey in a mountain valley in northern Nepal: implications for conservation management ». *Wildlife Biology*
- Wilson, Kenneth R., et David R. Anderson. 1985. « Evaluation of Two Density Estimators of Small Mammal Population Size ». *Journal of Mammalogy*

## ANNEXES

### Annexe 1 : classification de la famille des Féélidaees – D'après l'ITIS

#### FELIDAES

##### PANTHERINAES

Genre	Famille	Sous-famille
Neofelis	<i>Neofelis diardi</i> <b>Panthère nébuleuse de Bornéo</b>	
	<i>Neofelis nebulosa</i> <b>Panthère nébuleuse</b>	<i>Neofelis nebulosa brachyura</i> <i>Neofelis nebulosa macrosceloides</i> <i>Neofelis nebulosa nebulosa</i>
Panthera	<i>Panthera leo</i> <b>Lion</b>	<i>Panthera leo azandica</i> <i>Panthera leo bleyenberghi</i> <i>Panthera leo krugeri</i> <i>Panthera leo leo</i> <i>Panthera leo melanochaita</i> <i>Panthera leo nubica</i> <i>Panthera leo persica</i> <i>Panthera leo senegalensis</i>
	<i>Panthera onca</i> <b>Jaguar</b>	<i>Panthera onca arizonensis</i> <i>Panthera onca centralis</i> <i>Panthera onca goldmani</i> <i>Panthera onca hernandesii</i> <i>Panthera onca onca</i> <i>Panthera onca palustris</i> <i>Panthera onca paraguensis</i> <i>Panthera onca peruviana</i> <i>Panthera onca veraecrucis</i>
	<i>Panthera pardus</i> <b>Léopard</b>	<i>Panthera pardus delacouri</i> <i>Panthera pardus fusca</i> <i>Panthera pardus japonensis</i> <i>Panthera pardus kotiya</i> <i>Panthera pardus melas</i> <i>Panthera pardus nimr</i> <i>Panthera pardus orientalis</i> <i>Panthera pardus pardus</i> <i>Panthera pardus saxicolor</i>
	<i>Panthera tigris</i> <b>Tigre</b>	<i>Panthera tigris altaica</i> <i>Panthera tigris amoyensis</i> <i>Panthera tigris balica Schwarz</i> <i>Panthera tigris corbetti</i> <i>Panthera tigris sondaica</i> <i>Panthera tigris sumatrae</i> <i>Panthera tigris tigris</i> <i>Panthera tigris virgata</i>
Uncia	<i>Uncia uncia</i> <b>Panthère des neiges</b>	

**FELINAE**

Acinonyx	<i>Acinonyx jubatus</i> <b>Guépard</b>	<i>Acinonyx jubatus hecki</i> <i>Acinonyx jubatus jubatus</i> <i>Acinonyx jubatus raineyi</i> <i>Acinonyx jubatus soemmeringii</i> <i>Acinonyx jubatus venaticus</i>
Caracal	<i>Caracal caracal</i> <b>Caracal</b>	<i>Caracal caracal algira</i> <i>Caracal caracal caracal</i> <i>Caracal caracal damarensis</i> <i>Caracal caracal limpopoensis</i> <i>Caracal caracal lucani</i> <i>Caracal caracal nubica</i> <i>Caracal caracal poecilotis</i> <i>Caracal caracal schmitzi</i>
Catopuma	<i>Catopuma badia</i> <b>Chat bai ou chat doré de Bornéo</b>	
	<i>Catopuma temminckii</i> <b>Chat de Temminck ou chat doré d'Asie</b>	<i>Catopuma temminckii dominicanorum</i> <i>Catopuma temminckii temminckii</i> <i>Catopuma temminckii tristis</i>
Felis	<i>Felis bieti</i> <b>Chat de Biet</b>	
	<i>Felis catus</i> <b>Chat domestique</b>	
	<i>Felis chaus</i> <b>Chaus ou chat des marais</b>	<i>Felis chaus affinis</i> <i>Felis chaus chaus</i> <i>Felis chaus fulvidina</i> <i>Felis chaus furax</i> <i>Felis chaus kelaarti</i> <i>Felis chaus kutas</i> <i>Felis chaus maimanah</i> <i>Felis chaus nilotica</i> <i>Felis chaus oxiana</i> <i>Felis chaus prateri</i>
	<i>Felis manul</i> <b>Manul ou chat de Pallas</b>	<i>Felis manul ferruginea</i> <i>Felis manul manul</i> <i>Felis manul nigripecta</i>
	<i>Felis margarita</i> <b>Chat des sables</b>	<i>Felis margarita airensis</i> <i>Felis margarita harrisoni</i> <i>Felis margarita margarita</i> <i>Felis margarita meinertzhageni</i> <i>Felis margarita scheffeli</i> <i>Felis margarita thinobia</i>
	<i>Felis nigripes</i> <b>Chat à pieds noirs</b>	<i>Felis nigripes nigripes</i> <i>Felis nigripes thomasi</i>

	<i>Felis silvestris</i> <b>Chat sauvage</b>	<i>Felis silvestris cafra</i> <i>Felis silvestris caucasica</i> <i>Felis silvestris caudata</i> <i>Felis silvestris chutuchta</i> <i>Felis silvestris cretensis</i> <i>Felis silvestris foxi</i> <i>Felis silvestris gordoni</i> <i>Felis silvestris grampia</i> <i>Felis silvestris griselda</i> <i>Felis silvestris haussa</i> <i>Felis silvestris irak</i> <i>Felis silvestris jordansi</i> <i>Felis silvestris lybica</i> <i>Felis silvestris mellandi</i> <i>Felis silvestris nesterovi</i> <i>Felis silvestris ocreata</i> <i>Felis silvestris ornata</i> <i>Felis silvestris reyi</i> <i>Felis silvestris rubida</i> <i>Felis silvestris silvestris</i> <i>Felis silvestris tristrami</i> <i>Felis silvestris ugandae</i> <i>Felis silvestris vellerosa</i>
Leopardus	<i>Leopardus braccatus</i> <b>Chat du Pantanal</b>	<i>Leopardus braccatus braccatus</i> <i>Leopardus braccatus munoai</i>
	<i>Leopardus colocolo</i> <b>Colocolo ou chat des pampas</b>	<i>Leopardus colocolo colocolo</i> <i>Leopardus colocolo wolffsohni</i>
	<i>Leopardus geoffroyi</i> <b>Chat de Geoffroy</b>	<i>Leopardus geoffroyi euxanthus</i> <i>Leopardus geoffroyi geoffroyi</i> <i>Leopardus geoffroyi leucobaptus</i> <i>Leopardus geoffroyi paraguayae</i> <i>Leopardus geoffroyi salinarum</i>
	<i>Leopardus guigna</i> <b>Guigna ou chat du Chili</b>	<i>Leopardus guigna guigna</i> <i>Leopardus guigna tigrillo</i>
	<i>Leopardus guttulus</i> <b>Oncille ou chat tigre du sud</b>	
	<i>Leopardus jacobitus</i> <b>Chat des Andes</b>	
	<i>Leopardus pajeros</i> <b>Chat des pampas</b>	<i>Leopardus pajeros budini</i> <i>Leopardus pajeros garleppi</i> <i>Leopardus pajeros pajeros</i> <i>Leopardus pajeros steinbachi</i> <i>Leopardus pajeros thomasi</i>
	<i>Leopardus pardalis</i> <b>Ocelot</b>	<i>Leopardus pardalis aequatorialis</i> <i>Leopardus pardalis albescens</i> <i>Leopardus pardalis melanurus</i> <i>Leopardus pardalis mitis</i> <i>Leopardus pardalis nelsoni</i> <i>Leopardus pardalis pardalis</i> <i>Leopardus pardalis pseudopardalis</i> <i>Leopardus pardalis pusaeus</i> <i>Leopardus pardalis sonoriensis</i> <i>Leopardus pardalis steinbachi</i>
	<i>Leopardus tigrinus</i> <b>Oncille ou chat tigre</b>	<i>Leopardus tigrinus oncilla</i> <i>Leopardus tigrinus pardinoides</i> <i>Leopardus tigrinus tigrinus</i>

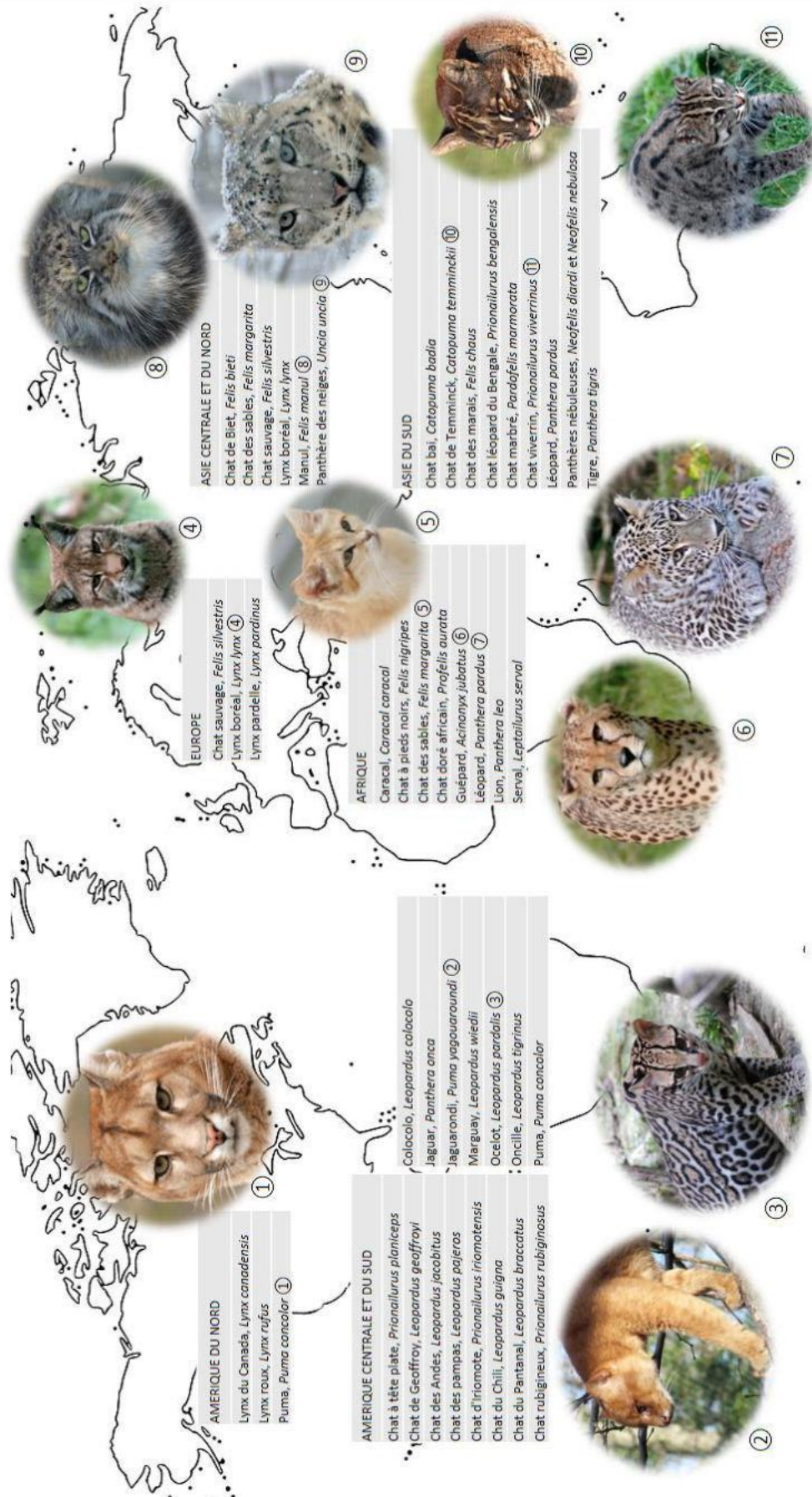
	<i>Leopardus wiedii</i> <b>Margay</b>	<i>Leopardus wiedii amazonicus</i> <i>Leopardus wiedii boliviae</i> <i>Leopardus wiedii cooperi</i> <i>Leopardus wiedii glauculus</i> <i>Leopardus wiedii nicaraguae</i> <i>Leopardus wiedii oaxacensis</i> <i>Leopardus wiedii pirrensis</i> <i>Leopardus wiedii salvinius</i> <i>Leopardus wiedii vigens</i> <i>Leopardus wiedii wiedii</i> <i>Leopardus wiedii yucatanicus</i>
Leptailurus	<i>Leptailurus serval</i> <b>Serval</b>	<i>Leptailurus serval beirae</i> <i>Leptailurus serval brachyurus</i> <i>Leptailurus serval constantinus</i> <i>Leptailurus serval faradjius</i> <i>Leptailurus serval ferrarii</i> <i>Leptailurus serval hamiltoni</i> <i>Leptailurus serval hindei</i> <i>Leptailurus serval kempfi</i> <i>Leptailurus serval kivuensis</i> <i>Leptailurus serval lipostictus</i> <i>Leptailurus serval lonnbergi</i> <i>Leptailurus serval mababiensis</i> <i>Leptailurus serval pantastictus</i> <i>Leptailurus serval phillipsi</i> <i>Leptailurus serval pococki</i> <i>Leptailurus serval robertsi</i> <i>Leptailurus serval serval</i> <i>Leptailurus serval togoensis</i>
Lynx	<i>Lynx canadensis</i> <b>Lynx du Canada ou lynx polaire ou lynx gris</b>	<i>Lynx canadensis canadensis</i> <i>Lynx canadensis mollipilosus</i> <i>Lynx canadensis subsolanus</i>
	<i>Lynx lynx</i> <b>Lynx boréal</b>	<i>Lynx lynx isabellinus</i> <i>Lynx lynx kozlovi</i> <i>Lynx lynx lynx</i> <i>Lynx lynx sardiniae</i> <i>Lynx lynx stroganovi</i>
	<i>Lynx pardinus</i> <b>Lynx pardelle ou lynx ibérique</b>	
	<i>Lynx rufus</i> <b>Lynx roux</b>	<i>Lynx rufus baileyi</i> <i>Lynx rufus californicus</i> <i>Lynx rufus escuinapae</i> <i>Lynx rufus fasciatus</i> <i>Lynx rufus floridanus</i> <i>Lynx rufus gigas</i> <i>Lynx rufus oaxacensis</i> <i>Lynx rufus pallescens</i> <i>Lynx rufus peninsularis</i> <i>Lynx rufus rufus</i> <i>Lynx rufus superiorensis</i> <i>Lynx rufus texensis</i>
Pardofelis	<i>Pardofelis marmorata</i> <b>Chat marbré</b>	<i>Pardofelis marmorata charltonii</i> <i>Pardofelis marmorata marmorata</i>

Prionailurus	<i>Prionailurus bengalensis</i> <b>Chat léopard du Bengale</b>	<i>Prionailurus bengalensis alleni</i> <i>Prionailurus bengalensis bengalensis</i> <i>Prionailurus bengalensis borneoensis</i> <i>Prionailurus bengalensis chinensis</i> <i>Prionailurus bengalensis euphilurus</i> <i>Prionailurus bengalensis heaneyi</i> <i>Prionailurus bengalensis horsfieldii</i> <i>Prionailurus bengalensis javanensis</i> <i>Prionailurus bengalensis rabori</i> <i>Prionailurus bengalensis sumatranus</i> <i>Prionailurus bengalensis trevelyani</i>
	<i>Prionailurus iriomotensis</i> <b>Chat d'Iriomote</b>	
	<i>Prionailurus planiceps</i> <b>Chat à tête plate</b>	
	<i>Prionailurus rubiginosus</i> <b>Chat rubigineux</b>	<i>Prionailurus rubiginosus phillipsi</i> <i>Prionailurus rubiginosus rubiginosus</i>
	<i>Prionailurus viverrinus</i> <b>Chat viverrin</b>	
Profelis	<i>Profelis aurata</i> <b>Chat doré africain</b>	<i>Profelis aurata aurata</i> <i>Profelis aurata cottoni</i>
Puma	<i>Puma concolor</i> <b>Puma ou lion des montagnes ou cougar</b>	<i>Puma concolor anthonyi</i> <i>Puma concolor cabreræ</i> <i>Puma concolor concolor</i> <i>Puma concolor costaricensis</i> <i>Puma concolor cougar</i> <i>Puma concolor puma</i>
	<i>Puma yagouaroundi</i> <b>Jaguarondi</b>	<i>Puma yagouaroundi ameghinoi</i> <i>Puma yagouaroundi cacomitli</i> <i>Puma yagouaroundi eyra</i> <i>Puma yagouaroundi fossata</i> <i>Puma yagouaroundi melantho</i> <i>Puma yagouaroundi panamensis</i> <i>Puma yagouaroundi tolteca</i> <i>Puma yagouaroundi yagouaroundi</i>





Annexe 2 : carte du monde des félins – Figure personnelle, crédits photographiques Le Parc des Félins





### Annexe 3 : définition des statuts de conservation – D’après l’UICN

#### ÉTEINT (EX)

Un taxon est dit *Éteint* lorsqu’il ne fait aucun doute que le dernier individu est mort.

Un taxon est présumé *Éteint* lorsque des études exhaustives menées dans son habitat connu et/ou présumé, à des périodes appropriées (rythme diurne, saisonnier, annuel), et dans l’ensemble de son aire de répartition historique n’ont pas permis de noter la présence d’un seul individu. Les études doivent être faites sur une durée adaptée au cycle et aux formes biologiques du taxon.

#### ÉTEINT À L’ÉTAT SAUVAGE (EW)

Un taxon est dit *Éteint à l’état sauvage* lorsqu’il ne survit qu’en culture, en captivité ou dans le cadre d’une population (ou de populations) naturalisée(s), nettement en dehors de son ancienne aire de répartition.

Un taxon est présumé *Éteint à l’état sauvage* lorsque des études détaillées menées dans ses habitats connus et/ou probables, à des périodes appropriées (rythme diurne, saisonnier, annuel), et dans l’ensemble de son aire de répartition historique n’ont pas permis de noter la présence d’un seul individu. Les études doivent être faites sur une durée adaptée au cycle et aux formes biologiques du taxon.

#### EN DANGER CRITIQUE (CR)

Un taxon est dit *En danger critique* lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu’il remplit l’un des critères A à E correspondant à la catégorie *En danger critique* et, en conséquence, qu’il est confronté à un risque extrêmement élevé d’extinction à l’état sauvage.

#### EN DANGER (EN)

Un taxon est dit *En danger* lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu’il remplit l’un des critères A à E correspondant à la catégorie *En danger* et, en conséquence, qu’il est confronté à un risque très élevé d’extinction à l’état sauvage.

#### VULNÉRABLE (VU)

Un taxon est dit *Vulnérable* lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu’il remplit l’un des critères A à E correspondant à la catégorie *Vulnérable* et, en conséquence, qu’il est confronté à un risque élevé d’extinction à l’état sauvage.

#### QUASI MENACÉ (NT)

Un taxon est dit *Quasi menacé* lorsqu’il a été évalué d’après les critères et ne remplit pas, pour l’instant, les critères des catégories *En danger critique*, *En danger* ou *Vulnérable* mais qu’il est près de remplir les critères correspondant aux catégories du groupe *Menacé* ou qu’il les remplira probablement dans un proche avenir.

#### PRÉOCCUPATION MINEURE (LC)

Un taxon est dit de *Préoccupation mineure* lorsqu’il a été évalué d’après les critères et ne remplit pas les critères des catégories *En danger critique*, *En danger*, *Vulnérable* ou *Quasi menacé*. Dans cette catégorie sont inclus les taxons largement répandus et abondants.

#### DONNÉES INSUFFISANTES (DD)

Un taxon entre dans la catégorie *Données insuffisantes* lorsqu'on ne dispose pas d'assez de données pour évaluer directement ou indirectement le risque d'extinction en fonction de sa distribution et/ou de l'état de sa population. Un taxon inscrit dans cette catégorie peut avoir fait l'objet d'études approfondies et sa biologie peut être bien connue, sans que l'on dispose pour autant de données pertinentes sur l'abondance et/ou la distribution. Il ne s'agit donc pas d'une catégorie *Menacé*. L'inscription d'un taxon dans cette catégorie indique qu'il est nécessaire de rassembler davantage de données et n'exclut pas la possibilité de démontrer, grâce à de futures recherches, que le taxon aurait pu être classé dans une catégorie *Menacé*. Il est impératif d'utiliser pleinement toutes les données disponibles. Dans de nombreux cas, le choix entre *Données insuffisantes* et une catégorie *Menacé* doit faire l'objet d'un examen très attentif. Si l'on soupçonne que l'aire de répartition d'un taxon est relativement circonscrite, s'il s'est écoulé un laps de temps considérable depuis la dernière observation du taxon, le choix d'une catégorie *Menacé* peut parfaitement se justifier.

#### NON ÉVALUÉ (NE)

Un taxon est dit *Non évalué* lorsqu'il n'a pas encore été confronté aux critères.



Annexe 4 : résumé des cinq critères (A-E) utilisés pour évaluer l'appartenance d'un taxon à l'une des catégories du groupe Menacé de la liste rouge de l'UICN (En danger critique, En danger, ou Vulnérable) - D'après l'UICN

<b>A. Réduction de la taille de la population.</b> Réduction (mesurée sur la plus longue des deux durées : 10 ans ou 3 générations) sur la base d'un ou plusieurs des critères A1 à A4			
	En danger critique	En danger	Vulnérable
A1	≥ 90%	≥ 70%	≥ 50%
A2, A3 & A4	≥ 80%	≥ 50%	≥ 30%
A1 Réduction de la population constatée, estimée, déduite ou supposée, dans le passé, lorsque les causes de la réduction sont clairement réversibles ET comprises ET ont cessé.	<i>en se basant sur l'un des éléments suivants :</i>	(a) l'observation directe [excepté A3]	(b) un indice d'abondance adapté au taxon
A2 Réduction de la population constatée, estimée, déduite ou supposée, dans le passé, lorsque les causes de la réduction n'ont peut-être pas cessé OU ne sont peut-être pas comprises OU ne sont peut-être pas réversibles.		(c) la réduction de la zone d'occupation (AOO), de la zone d'occurrence (EOO) et/ou de la qualité de l'habitat	(d) les niveaux d'exploitation réels ou potentiels
A3 Réduction de la population prévue, déduite ou supposée dans le futur (sur un maximum de 100 ans) [(a) ne peut pas être utilisé pour A3].		(e) les effets de taxons introduits, de l'hybridation, d'agents pathogènes, de substances polluantes, d'espèces concurrentes ou parasites	
A4 Réduction de la population constatée, estimée, déduite, prévue ou supposée, sur une période de temps devant inclure à la fois le passé et l'avenir (sur un maximum de 100 ans dans le futur), lorsque les causes de la réduction n'ont peut-être pas cessé OU ne sont peut-être pas comprises OU ne sont peut-être pas réversibles.			
<b>B. Répartition géographique, qu'il s'agisse de B1 (zone d'occurrence) ET/OU B2 (zone d'occupation)</b>			
	En danger critique	En danger	Vulnérable
B1. Zone d'occurrence (EOO)	< 100 km <sup>2</sup>	< 5 000 km <sup>2</sup>	< 20 000 km <sup>2</sup>
B2. Zone d'occupation (AOO)	< 10 km <sup>2</sup>	< 500 km <sup>2</sup>	< 2 000 km <sup>2</sup>
<b>ET au moins 2 des 3 conditions suivantes :</b>			
(a) Sévèrement fragmentée OU nombre de localités	= 1	≤ 5	≤ 10
(b) Déclin continu constaté, estimé, déduit ou prévu de l'un des éléments suivants : (i) zone d'occurrence, (ii) zone d'occupation, (iii) superficie, étendue et/ou qualité de l'habitat, (iv) nombre de localités ou de sous-populations, (v) nombre d'individus matures			
(c) Fluctuations extrêmes de l'un des éléments suivants : (i) zone d'occurrence, (ii) zone d'occupation, (iii) nombre de localités ou de sous-populations, (iv) nombre d'individus matures			
<b>C. Petite population et déclin</b>			
	En danger critique	En danger	Vulnérable
Nombre d'individus matures	< 250	< 2 500	< 10 000
<b>ET au moins un des sous-critères C1 ou C2 :</b>			
C1. Un déclin continu constaté, estimé ou prévu (sur un maximum de 100 ans dans le futur) d'au moins :	25% en 3 ans ou 1 génération (sur la plus longue des deux durées)	20% en 5 ans ou 2 générations (sur la plus longue des deux durées)	10% en 10 ans ou 3 générations (sur la plus longue des deux durées)
C2. Un déclin continu constaté, estimé, prévu ou déduit ET au moins 1 des 3 conditions suivantes :			
(a) (i) Nombre d'individus matures dans chaque sous-population :	≤ 50	≤ 250	≤ 1 000
(ii) % d'individus matures dans une sous-population =	90-100%	95-100%	100%
(b) Fluctuations extrêmes du nombre d'individus matures			
<b>D. Population très petite ou restreinte</b>			
	En danger critique	En danger	Vulnérable
D. Nombre d'individus matures	< 50	< 250	D1. < 1 000
D2. Pour la catégorie VU uniquement Zone d'occupation restreinte ou nombre de localités limité et susceptibles d'être affectées à l'avenir par une menace vraisemblable pouvant très vite conduire le taxon vers EX ou CR.	-	-	D2. en règle générale : AOO < 20 km <sup>2</sup> ou nombre de localités ≤ 5
<b>E. Analyse quantitative</b>			
	En danger critique	En danger	Vulnérable
Indiquant que la probabilité d'extinction dans la nature est :	≥ 50% sur 10 ans ou 3 générations, sur la plus longue des deux durées (100 ans max.)	≥ 20% sur 20 ans ou 5 générations, sur la plus longue des deux durées (100 ans max.)	≥ 10% sur 100 ans



Annexe 5 : statut de conservation des félins – D’après l’UICN

Espèce	Statut de conservation	Critères	Tendance de la population à croître ( ^ ) être stable ( > ) ou décliner ( v )
<i>Panthera tigris</i>	EN	A2abcd C1	v
<i>Catopuma badia</i>	EN	C1	v
<i>Prionailurus planiceps</i>	EN	C1	v
<i>Leopardus jacobitus</i>	EN	C2a	v
<i>Lynx pardinus</i>	EN	D	^
<i>Leopardus guigna</i>	V	A2abc C2a	v
<i>Panthera leo</i>	V	A2abcd	v
<i>Acinonyx jubatus</i>	V	A2acd C1	v
<i>Leopardus tigrinus</i>	V	A2c	v
<i>Neofelis diardi</i>	V	A2c C1	v
<i>Profelis aurata</i>	V	A2c3c	v
<i>Panthera pardus</i>	V	A2cd	v
<i>Neofelis nebulosa</i>	V	A2cd3cd	v
<i>Prionailurus viverrinus</i>	V	A2cd3cd4cd	v
<i>Leopardus guttulus</i>	V	C1	v
<i>Uncia uncia</i>	V	C1	v
<i>Felis bieti</i>	V	C2a	v
<i>Felis nigripes</i>	V	C2a	v
<i>Catopuma temminckii</i>	NT		v
<i>Leopardus colocolo</i>	NT		v
<i>Panthera onca</i>	NT		v
<i>Felis manul</i>	NT		v
<i>Leopardus wiedii</i>	NT		v
<i>Pardofelis marmorata</i>	NT		v
<i>Prionailurus rubiginosus</i>	NT		v
<i>Felis chaus</i>	LC		v
<i>Felis margarita</i>	LC		Inconnue
<i>Felis silvestris</i>	LC		v
<i>Leopardus pardalis</i>	LC		v
<i>Leptailurus serval</i>	LC		>
<i>Lynx canadensis</i>	LC		>
<i>Lynx lynx</i>	LC		>
<i>Lynx rufus</i>	LC		>
<i>Prionailurus bengalensis</i>	LC		>
<i>Puma concolor</i>	LC		v
<i>Puma yagouaroundi</i>	LC		v
<i>Caracal caracal</i>	LC		Inconnue
<i>Leopardus geoffroyi</i>	LC		>
<i>Leopardus braccatus</i>	NE		
<i>Leopardus pajeros</i>	NE		
<i>Prionailurus iriomotensis</i>	NE		





## Annexe 6 : Capture-Marquage-Recapture modèle de Jolly-Seber

Cas d'une population ouverte et après plusieurs épisodes de capture

Sous les hypothèses suivantes :

- Chaque individu a une probabilité de capture identique
- Le marquage est définitif et n'affecte pas les individus marqués
- Chaque individu présent après la  $i$ ème capture a la même probabilité de survie jusqu'à la  $i+1$ ème capture
- Le temps nécessaire pour capturer, marquer et relâcher les animaux est court par rapport à l'intervalle de temps séparant deux échantillonnages

On pose alors :

$k$  = nombre d'épisodes de capture

Paramètres à estimer :

$N_i$  = taille de la population au temps  $i$  ( $i = 1, \dots, k$ )

$M_i$  = nombre d'individus marqués juste avant le temps  $i$  ( $i = 1, \dots, k$ )

$B_i$  = nombre d'individus entrant dans la population entre les temps  $i$  et  $i+1$ , toujours en vie au temps  $i+1$  ( $i = 1, \dots, k-1$ )

$\Psi_i$  = probabilité de survie entre les temps  $i$  et  $i+1$  ( $i = 1, \dots, k-1$ )

$p_i$  = probabilité de capture des animaux au  $i$ ème échantillon

Avec :

$n_i$  = taille de l'échantillon capturé au temps  $i$  ( $i = 1, \dots, k$ )

$m_i$  = nombre d'individus capturés et déjà marqués au temps  $i$  ( $m_i \leq n_i$ ) ( $i = 1, \dots, k$ )

$R_i$  = nombre d'individus relâchés après la capture  $i$  ( $i = 1, \dots, k-1$ )

$r_i$  = nombre d'individus parmi les  $R_i$  marqués et relâchés au temps  $i$  qui sont recapturés au moins une fois par la suite ( $i = 1, \dots, k-1$ )

$z_i$  = nombre d'individus marqués avant le temps  $i$ , non capturés au temps  $i$  et recapturés par la suite ( $i = 2, \dots, k-1$ )

Pour estimer  $M_i$  on pose  $\frac{z_i}{M_i - m_i} = \frac{r_i}{R_i}$  d'où  $\hat{M}_i = m_i + \frac{R_i z_i}{r_i}$

On a alors l'estimation de l'effectif au temps  $i$   $\hat{N}_i = \frac{(n_{i+1})\hat{M}_i}{(m_{i+1})}$

On peut de plus estimer la survie des individus marqués  $\hat{\phi}_i = \frac{\hat{M}_{i+1}}{\hat{M}_i - m_i + R_i}$

Le nombre d'individus entrés dans la population entre les temps  $i$  et  $i+1$

$$\hat{B}_i = \hat{N}_{i+1} - \hat{\phi}_i(\hat{N}_i - n_i + R_i)$$

Et la probabilité de capture  $\hat{p}_i = \frac{m_i}{\hat{M}_i} = \frac{n_i}{\hat{N}_i}$



**BOURLAT Marianne**

**ESTIMATION DE L'ABONDANCE DES FELINS – APPLICATION AUX PANTHERES DES NEIGES**

**Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, 7 décembre 2017**

**RESUME :**

A l'heure où la biodiversité connaît un déclin sans précédent, les félins ne font pas exception et subissent des pressions humaines, environnementales et climatiques. Les études fiables permettant de connaître l'abondance et les besoins de ces espèces manquent, or elles sont fondamentales à la mise en place de mesures de conservation ciblées et efficaces.

La panthère des neiges, *Panthera uncia*, est un exemple d'espèce de félin méconnue. Son étude est particulièrement difficile car elle est discrète, farouche, vit à faible densité de population dans des espaces très vastes, peu accessibles, aux conditions climatiques difficiles.

L'étude de la panthère des neiges dans la réserve de Sarychat Ertash au Kirghizistan est une contribution à la collaboration internationale pour la connaissance et la protection de cette espèce. Les données récoltées de 2009 à 2015 par OSI Panthera (indices de présence, piégeage photographique, analyses génétiques sur fèces) n'ont pas permis d'estimer une abondance dans la réserve mais attestent de la présence régulière et stable de la panthère des neiges au cours de la période de suivi et apportent des éléments de compréhension du comportement des panthères. Les analyses génétiques sur fèces prélevées quatre années consécutives ont montré le passage de trente-deux individus différents.

Un travail important reste à faire, comme mettre en place un protocole de prospection plus rigoureux dans l'objectif d'estimer une abondance réelle, l'identification des panthères des neiges sur les photographies et le couplage de cette identification avec les analyses génétiques

**MOTS CLES :**

- Félin
- Abondance
- Biologie des populations
- Panthère des neiges
- Kirghizistan

**JURY :**

Président : Monsieur le Professeur Philippe VANHEMS  
1er Assesseur : Madame la Professeur Emmanuelle GILOT-FROMONT  
2ème Assesseur : Monsieur le Professeur Philippe BERNY

**DATE DE SOUTENANCE : 7 décembre 2017**

**ADRESSE DE L'AUTEUR :**

4, rue du Général Leclerc - 91440 BURES-SUR-YVETTE

