

Abondance et densité du lynx : estimation par capture-recapture photographique dans le Nord du Jura suisse



Koordinierte Forschungsprojekte zur Erhaltung und zum Management der Raubtiere in der Schweiz.
Coordinated research projects for the conservation and management of carnivores in Switzerland.
Projets de recherches coordonnés pour la conservation et la gestion des carnivores en Suisse.

KORA Bericht 37f

**Abondance et densité du lynx: estimation par capture-recapture photographique
dans le Nord du Jura suisse**

Autor Fridolin Zimmermann, Julien Fattebert, Christine
Auteur Breitenmoser-Würsten & Urs Breitenmoser
Author

Bearbeitung Julien Fattebert (mise en page)
Adaptation
Editorial

Bezugsquelle Pdf: <http://www.kora.ch>
Source
Source

Titelbild B93, 13.04.2007, Egerkingen (SO) © KORA
Page de titre
Front cover picture

Anzahl Seiten/Pages: 24

ISSN 1422-5123

© KORA Août 2007

Abondance et densité du lynx :
estimation par capture-recapture photographique
dans le Nord du Jura suisse

Fridolin Zimmermann, Julien Fattebert, Christine Breitenmoser-
Würsten & Urs Breitenmoser

Remerciements

Nous remercions vivement tous ceux qui d'une manière ou d'une autre nous ont aidé et soutenu lors de la session intensive avec les pièges-photos dans le Nord du Jura. Nous remercions en particulier :

- Tous les surveillants de la faune, chasseurs et naturalistes, membres des deux *Groupes Lynx* qui nous ont aidés lors du choix des sites ainsi que lors de la mise en place des pièges-photographiques, les contrôles et le démontage, en particulier : S. Balmer, P. Galeuchet, F. Maeder, J.-P. Monnerat, J.-C. Schaller, T. Studer, L. Tschanz, D. Zöpfl, J. Bader, E. Balmer, H.-U. Aegerter, M. Borer, M. Buchwalder, H.-P. Dreier, A. Hess, R. Känzig, L. Oppliger, S. Roth, F. Schmid, W. Schmutz, S. Schneiter, V. Stampfli, H. Wampfler, H. Wehrli, N. Bourquin, S. Gerber, C. Grünenwald, J. Ioset, A. Kammermann, B. Lehmann, A. Nikles, Ph. Riat, N. Rochat Wehrli, D. Rohrer et A. Saunier;
- Tous les responsables des institutions cantonales et fédérales notamment M. Baumann, I. Bloch, P. Juesy, Ch. Noël, M. Tschan, Ch. Jäggi et R. Schnidrig pour leur soutien professionnel;
- A. Montavon et J. Ioset ainsi que P. et R. von Arx pour leur hospitalité lors du travail de terrain;
- La stagiaire B. Reichhart pour son aide au début de la session intensive;
- A. Pittet du CEDT, IISc Bangalore pour le prêt de trois pièges-photographiques digitaux.

Digitale geographische Daten:

Gewässer und politische Grenzen: GEOSTAT, © Bundesamt für Statistik; Euromaps, © Bartholomew;

Bevölkerungsdichte: GEOSTAT, © Bundesamt für Statistik;

Siedlungen, Verkehrswege und Wald: Vector 200, © Bundesamt für Landestopographie; Euromaps, © Bartholomew;

Digitales Höhenmodell: DHM25, RIMINI, © Bundesamt für Landestopographie; MONA Pro Europe 250 m, © GEOSYS DATA;

Landnutzung: AS85r, AS97, © Bundesamt für Statistik GEOSTAT; CORINE Land Cover, © Bundesamt für Statistik GEOSTAT für die Schweiz und Europäische Umweltagentur für die übrigen Gebiete;

Grenzen des Alpenraumes gemäss der Alpenkonvention: © Réseau Alpin des Espaces Protégés.

Abondance et densité du lynx : estimation par capture-recapture photographique dans le Nord du Jura suisse

Contenu

Remerciements.....	4
Résumé.....	6
Zusammenfassung.....	6
English executive summary	7
Introduction.....	9
Zone de l'étude	9
Matériel et méthodes.....	9
Piégeage photographique	9
Nombre minimum d'individus indépendants.....	10
Degré de superposition des aires de présence probable des lynx photographiés.....	10
Estimation de l'abondance et de la densité par capture-recapture.....	11
Résultats.....	12
Déprédations sur le matériel	12
Effort d'échantillonnage effectif et causes de déclenchement.....	12
Nombre minimum de lynx	13
Degrés de superposition des aires de présence probable des lynx photographiés	17
Estimation de l'abondance par capture-recapture.....	17
Estimation de la densité	19
Discussion.....	19
Références.....	21

Résumé

Le piégeage photographique du lynx (*Lynx lynx*) a été effectué durant 60 nuits, du 16 février au 17 avril 2007, dans le Nord du Jura suisse. Cinquante-quatre sites ont été surveillés à l'aide d'un système double de pièges photographiques et pièges esclaves – réagissant au flash des premiers – permettant de photographier les deux flancs des lynx pour permettre leur identification individuelle certaine. L'effort de capture potentiel était de 3240 nuits de capture. Pour différentes raisons l'effort réalisé fut de 2727 nuits de capture, soit 84,2% du potentiel. Un nombre minimum de neuf lynx indépendants a été détecté au cours des deux mois d'échantillonnage. La répartition des détections de lynx dans la zone d'étude est cependant très hétérogène. Elles se concentrent avant tout dans le canton de SO et les régions attenantes des cantons de BE et JU. Il en suit que la densité y est substantiellement plus élevée que la densité moyenne de 1.13 ± 0.39 lynx indépendants pour 100 km^2 (\pm ET) calculée sur l'ensemble de la zone de référence. Cette densité a été calculée au moyen de la méthode de capture-recapture qui estime que 10.0 ± 3.4 lynx indépendants étaient présents dans l'ensemble de la zone de référence. La densité observée est légèrement plus haute que les 0.84-0.99 lynx indépendants pour 100 km^2 calculées pour le Sud du Jura suisse lors d'études télémétriques dans les années nonante, mais plus petite que celle de 1.53 ± 0.24 estimée par capture-recapture photographique dans le Nord-Ouest des Alpes suisses durant l'hiver 2005-06. La capture recapture photographique est une méthode applicable pour l'estimation de l'abondance et de la densité des lynx dans le Jura, malgré une probabilité de capture plus petite que dans les Alpes.

Zusammenfassung

Der systematische Fotofallen-Durchgang für die Erfassung der Luchse wurde während 60 Nächten vom 16. Februar bis am 17. April 2007 im nördlichen Jura durchgeführt. 54 Standorte wurden mit je einer „Master-Fotofalle“ und einem gegenüberliegenden „Slave“ bestückt, um beide Flankender Tiere erfassen zu können, was eine eindeutige Identifikation der Luchse ermöglicht. Die potenziellen Fallennächte lagen bei 3240 Nächten, diese reduzierten sich aber durch diverse Ausfälle auf einen effektiven Wert von 2727 Nächten, was 84,2% des Potenzials entspricht. Eine minimale Anzahl von 9 Luchsen wurde während dem Durchgang nachgewiesen. Die Verteilung der Luchsnachweise war innerhalb des Untersuchungsgebietes jedoch sehr heterogen, so konzentrierten sie sich vor allem auf den Kanton SO und das angrenzende Gebiet der Kantone BE und JU. Entsprechend ist auch dort die Dichte wesentlich höher als die durchschnittlich im Referenzgebiet geschätzten $1,13 \pm 0,39$ selbständigen Luchsen pro 100 km^2 (\pm SF). Diese Dichteschätzung wurde an Hand der Fang-Wiederfang Methodik ermittelt, die $10,0 \pm 3,4$ selbständige Luchse im ganzen Referenzgebiet ergab. Die geschätzte Dichte ist leicht höher als jene aus der radiotelemetrischen Studie Anfang der 90er Jahre im südlichen Jura, welche zwischen 0,84-0,99 selbständigen Luchsen pro 100 km^2 lag. Sie ist aber tiefer als jene von $1,53 \pm 0,24$ selbständigen Luchsen pro 100 km^2 , die im Referenzgebiet in den Nordwestalpen im Winter 2005-06 mittels Fotofallen gemessen wurde. Unsere Ergebnisse zeigen, dass es trotz einer geringeren Fangwahrscheinlichkeit möglich ist, im Jura die Luchspopulation an Hand der Fang-Wiederfang Methodik zu schätzen.

English executive summary

Reliable data on abundance and density of a species enables applying sound conservation and management measures. Knowledge of these state variables and their evolution in space and time is central for implementing the *Swiss Lynx Concept* (OFEFP 2004), a management plan for Eurasian lynx *Lynx lynx* in Switzerland. Lynx, however, are difficult to count as they are elusive, cryptic animals with large home ranges (Breitenmoser *et al.* 1993), hence naturally living at low densities. It is nowadays a common tool to non-invasively assess abundance and density of free ranging, naturally marked felid species using camera-trap sampling in the framework of capture-recapture methodologies (e.g. Jackson *et al.* 2006, Karanth *et al.* 2004, Karanth & Nichols 1998, Kawanishi & Sunquist 2004, Maffei *et al.* 2004, O'Brien *et al.* 2003, Silver *et al.* 2004, Soisalo & Cavalcanti 2006, Trolle & Kéry 2003, Wegge *et al.* 2004). Lynx also have distinctive individual coat markings (Laass 1999, Thüler 2002), and this characteristic is used to identify individuals on photographs (Fattebert & Zimmermann 2007, Laass 1999, Zimmermann *et al.* 2006) and build their history of capture. The aim of the present study was to estimate the abundance and density of lynx in the northern Swiss Jura, using camera trap sampling and capture-recapture methodologies.

The study area was located in the northern Swiss Jura, a secondary limestone mountain chain at the western border of Switzerland with France. The sampling zone was divided in grid-cells of 2.7 km x 2.7 km each, following Laass (1999). Between 16th February-18th April 2007, every second grid-cell was sampled (54 sampling sites) using two camera-traps facing to each other to picture both flanks of the lynx, enabling for certain individual identification (Zimmermann *et al.* 2004). An important requirement of the method is that no target-species individual within the sampled area had a zero probability of being captured, and there should be at least one sampling site per smallest home range (Karanth & Nichols 1998, Nichols & Karanth 2002). Accounting for values from the study in the 1990's in the southern Swiss Jura (Breitenmoser *et al.* 1993), we obtained a rough density of 11 photo-trapping sites per average female home range.

We conducted the camera trapping over 60 nights (2 months), a period likely short enough to meet the population closure assumptions (no recruitment, no depletion). Consecutive 5-night periods were defined as capture occasions (Zimmermann *et al.* 2006). Capture history data of independent lynx (*i.e.* exclusive of dependant cubs roaming within their mother's home range) were analysed using the module CAPTURE for closed-population estimates of abundance included in program MARK (White & Burnham 1999). To check for the closure assumption, we used program CLOSETEST (Stanley & Burnham 1999). Eight models for abundance estimates are implemented in CAPTURE that differ in their assumptions and may account for different sources of capture probabilities variation (Otis *et al.* 1978, Pollock *et al.* 1990). Between-model tests and overall test were computed in CAPTURE to help selecting the most appropriate model for the given dataset.

Density of independent lynx was calculated as the abundance estimate divided by the effectively sampled area (\hat{A}). Three areas have been considered: (i) a reference area was defined according to our knowledge of home range establishment and spatial structure of the Eurasian lynx; (ii) the polygon formed by the outermost camera-trap sites, plus a buffer area of a width (W) equal to half the mean maximum distance between trap-sites for individuals captured on at least two different sites (e.g. Karanth & Nichols 1998, Nichols & Karanth 2002); and (iii) the suitable habitat area, by subtracting areas of non-lynx habitat using a habitat suitability model developed by Zimmermann & Breitenmoser (2002). This to enable comparisons, as the proportion of suitable habitat within the reference area can considerably differ between ecoregions (e.g. Jura vs Alps).

Results

Potential sampling effort was 3240 trap-nights. However, due to technical failures, programming errors and sabotage the effort was reduced to 2727 trap nights, representing 84.2% of the potential. (Fig. 3).

Nine independent lynx were detected during the intensive photo-trapping. There is an uneven distribution of the lynx detections within the study

area. Lynx were detected mainly in the canton of Solothurn and the adjoining areas of the cantons of Bern and Jura. Correspondingly the density is locally higher than the mean density calculated for the whole reference area. Model M_h was selected second after M_o , which assumes no variation in capture probabilities – a situation rather unrealistic in natural conditions. Because of differences in movement patterns of male and female lynx, we expected model M_h , which accounts for individual heterogeneity of capture probabilities to best fit our dataset. Abundance estimate under model M_h was 10 ± 3.4 independent lynx (\pm SE). Density estimate was 1.13 ± 0.39 independent lynx per 100 km² in the reference area (Tab. 2). This density was slightly higher than the 0.84-0.99 independent lynx per 100 km² observed during a telemetry study in the 1990s in the southern Jura Mountains but lower than the 1.53 ± 0.24 assessed by camera-trapping in winter 2005-2006 in the North-Western Swiss Alps.

Photographic capture-recapture proved to be a feasible method to assess lynx abundance and density in the Jura Mountains at an absolute level, although the capture probability was lower compared to previous studies. However, this first essay in the Jura Mountains constituted rather a pilot-study. Experience should enable to optimise sampling-sites selection enhancing lynx detection rate, strengthening precision and accuracy of statistical inferences on the dataset (Nichols & Karanth 2002). We recommend further studies to be conducted in the same reference area and in other parts of the Jura Mountains to enable analysis of the population size evolution in time and space, respectively.

Introduction

Depuis 2000, le nombre des observations occasionnelles de lynx (*Lynx lynx*) dans le Nord du Jura suisse a augmenté suite à l'expansion géographique et numérique du lynx dans cette partie du massif (Zimmermann *et al.* 2006). La formation en 2002 du *Groupe Lynx*^a a amélioré la récolte des observations occasionnelles, et par là-même a permis d'améliorer de manière substantielle la qualité du monitoring. Cependant, la commission intercantonale du compartiment I (Jura)^b a voulu connaître la densité absolue de lynx dans le Nord du Jura et a chargé le programme KORA d'estimer l'abondance de cette espèce dans cette région.

Des données fiables sur l'abondance et la densité d'une espèce dans l'espace et le temps permettent d'implémenter des mesures de conservation et de gestion adéquates et ciblées. Des données sur les effectifs de lynx en Suisse sont un des pré-requis nécessaires pour permettre la prise de décision de gestion dans le cadre du *Concept Lynx Suisse* (OFEFP 2004). Les lynx, cependant, sont difficiles à dénombrer, car ce sont des animaux discrets et cryptiques, avec de grands domaines vitaux (Breitenmoser *et al.* 1993) et qui vivent à basse densité.

Aujourd'hui, le piégeage photographique^c est un outil d'échantillonnage commun pour estimer l'abondance et la densité d'espèces de félins naturellement marqués (p.ex. Jackson *et al.* 2006, Karanth *et al.* 2004, Karanth & Nichols 1998, Kawanishi & Sunquist 2004, Maffei *et al.* 2004, O'Brien *et al.* 2003, Silver *et al.* 2004, Soisalo & Cavalcanti 2006, Trolle & Kéry 2003, Wegge *et al.* 2004). Le lynx possède aussi des marques individuelles distinctives (Laass 1999, Thüler 2002). Cette caractéristique peut être utilisée pour identifier les individus sur des photos (Fattebert & Zimmermann 2007, Laass 1999, Zimmermann *et al.* 2006) et échantillonner la population dans le

^a Groupe de personnes intéressées (gardes-faunes, chasseurs, naturalistes) à récolter et transmettre des données de présence du lynx.

^b La CIC-I du compartiment de gestion des grands carnivores du Jura est composé de représentants de l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV) et des cantons de Vaud, Neuchâtel, Jura, Berne, Soleure, Bâle Campagne et Argovie.

^c Appareils photographiques munis de détecteurs de mouvements qui se déclenchent automatiquement lors du passage d'un animal.

cadre conceptuel des méthodes de capture-recapture (p.ex. Nichols 1992, Otis *et al.* 1978, Pollock *et al.* 1990).

Le but de la présente étude était d'effectuer une première session systématique avec les pièges-photographiques dans le Nord du Jura basée sur la méthodologie appliquée depuis 1998 dans le Alpes (Laass 1999), afin de tester la méthode dans cette région et de livrer une estimation des effectifs et de la densité du lynx au moyen de la méthode de capture-recapture.

Zone de l'étude

Cette étude a été menée de la nuit du 16-17 février au 16-17 avril 2007. La zone d'étude et future « aire de référence » a préalablement été présentée et discutée dans le cadre de la CIC-I Jura. Elle est délimitée par le Plateau suisse au sud-est, la Vallée de Delémont au nord-ouest, Bienna au sud-ouest et Hägendorf au nord-est (Fig. 1). La zone d'échantillonnage a été choisie de manière à être (i) de dimension comparable aux zones d'étude alpines (p. ex. Zimmermann *et al.* 2006), (ii) représentative de la population de lynx du Nord du Jura suisse, et (iii) représentative politiquement en touchant le plus grand nombre de cantons possible. La zone a été précisément délimitée à l'aide d'un modèle d'habitat (Zimmermann & Breitenmoser 2002) de manière à exclure des zones d'habitat défavorable où le lynx était *a priori* absent.

Matériel et méthodes

Piégeage photographique

Pour éviter des agrégats de sites d'échantillonnage et pour permettre des comparaisons avec des études antérieures, une grille de cellules d'échantillonnage de 2.7 x 2.7 km chacune a été superposée à la zone d'étude, d'après Laass (1999). Chaque deuxième cellule a été échantillonnée (54 sites d'échantillonnage) à l'aide d'un piège photographique « master » et d'un « slave »^d placés face à face, de manière à photographier les deux flancs des lynx pour permettre leur identification

^d Le piège photographique « master » possède un détecteur infrarouge et réagit au passage d'un animal chaud ou de courants thermiques. Le « slave », de conception plus simple, est déclenché par le flash du premier.

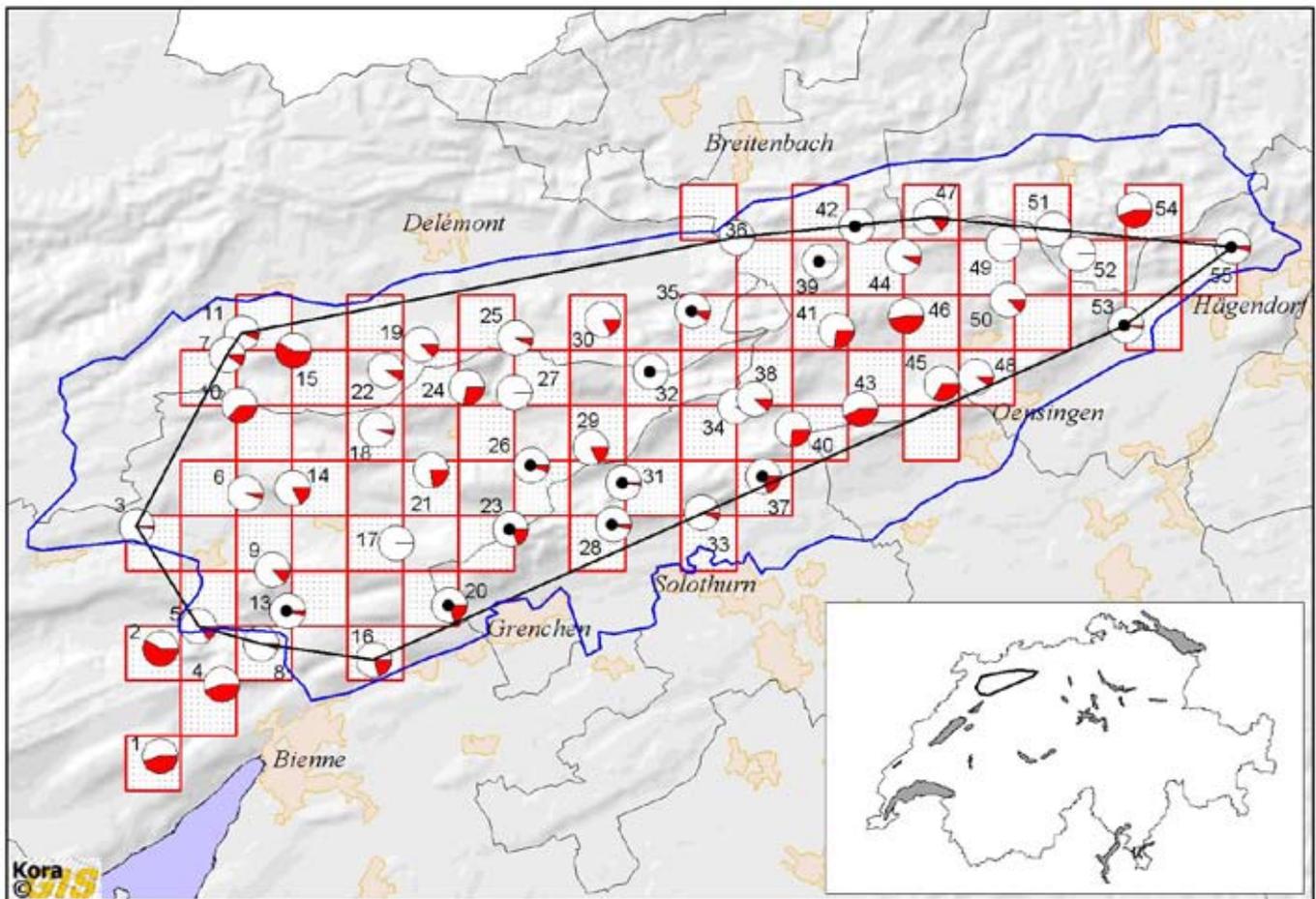


Fig. 1 Zone d'étude : sites d'échantillonnage et effort réalisé (secteur blanc des camemberts), sites avec au moins une détection de lynx (⊙), aire de piégeage ajustée (polygone noir) en excluant les 4 sites périphériques avec <55% de nombre potentiel de nuits de capture. La ligne bleue délimite l'aire de référence.

individuelle de manière certaine (Zimmermann *et al.* 2004). Le lynx utilise fréquemment les passages dégagés tels que des routes forestières lors de ses longs déplacements. Les sites sélectionnés étaient situés le long (*i*) de routes forestières, (*ii*) de chemins pédestres et (*iii*), dans une moindre mesure, le long de sentes de gibier. Le matériel était contrôlé tous les 6 à 7 jours afin de remplacer les batteries, changer les films si nécessaire et remplacer le matériel en cas de panne ou de déprédation.

Nombre minimum d'individus indépendants

Les images des « slaves » n'ont été utilisées que pour l'identification des individus et n'ont pas été incluses dans les autres analyses (redondance). Le nombre d'individus indépendants^e différents

^e Il est impossible de distinguer de manière certaine les adultes des subadultes sur la base de photographies, et ceux-ci sont regroupés sous l'appellation de lynx indépendants, par opposition aux juvéniles, encore dépendants de leur mère.

représente l'effectif minimum de la population. Pour identifier individuellement les lynx photographiés, chaque image a été comparée à un ensemble d'images de référence d'individus déjà connus par le piégeage photographique ou les captures pour des études télémétriques (voir Fig. 2 pour un exemple d'identification). Puisque que les taches des deux flancs diffèrent chez un même individu, il est indispensable de pouvoir associer sans ambiguïté ses flancs gauche et droit pour une identification certaine (Zimmermann *et al.* 2004), d'où l'utilisation des « slaves ».

Degré de superposition des aires de présence probable des lynx photographiés

Lors d'une session intensive, les lynx sont en général photographiés au hasard sur 1 à 5 sites différents. L'information spatiale gagnée ne permet pas de calculer de domaine vitaux, contrairement à la télémétrie. Afin d'avoir une idée de l'aire de présence probable (ne correspond pas au domaine



Fig. 2 Deux photographies d'un même lynx (B126) au même endroit : les flèches et les cercles indiquent quelques caractéristiques distinctives du pelage de cet individu (photos © Stampfli, Hess, KORA).

vital) de chaque lynx photographié durant la session intensive, l'information ponctuelle des sites où il a été photographié a été traduite en une superficie en appliquant les règles suivantes : une zone tampon de 5 km a été placée au tour du site (1 point), du segment (2 points) ou du convexe polygone (> 2 points) où il a été détecté. Afin d'obtenir le degré de superposition des aires de présence probable de tous les individus nous avons superposé les zones tampons de l'ensemble des individus et calculé le nombre d'individus présents à un lieu donné. La distribution des fréquences des degrés de superposition est biaisée à gauche. Les degrés de superposition ont été classés en trois catégories de la manière suivante : faible (0 ; 348 km²), moyenne (1 à 2 ; 405 km²) et forte (3 à 6 ; 129 km²).

Estimation de l'abondance et de la densité par capture-recapture

Lorsque les individus peuvent être reconnus, soit par des marques distinctives naturelles – soit par des marques artificielles – on peut échantillonner la population dans le cadre conceptuel des méthodes de capture-recapture, afin d'estimer les probabilités de captures et les effectifs avec les erreurs statistiques (écarts types) associées (Jennelle *et al.* 2002, Karanth 1995). Historiquement, le concept de capture-recapture fut appliqué pour la première fois en 1662 pour estimer la population de Londres. C'est seulement 150 ans plus tard que Laplace rédigea la formule de base : partant du principe que tous les individus ont la même probabilité de capture, la proportion d'individus marqués dans l'échantillon de recapture est identique à celle des individus

marqués dans l'ensemble de la population. Puisque ces proportions, ainsi que le nombre d'individus marqués sont connus, on peut en déduire la taille de l'ensemble de la population. Les algorithmes actuels sont basés sur ce principe de base, mais tiennent compte du fait que la probabilité de capture puissent varier individuellement ou temporellement.

Si le but n'est pas de détecter tous les individus présents mais d'échantillonner la population, il est néanmoins important qu'aucun individu de l'espèce ciblée ait une probabilité de capture nulle dans la zone échantillonnée. Cette assumption détermine la densité minimale de site d'échantillonnage, qui devrait être d'au moins un site par plus petit domaine vital connu pour l'espèce ciblée (Karanth & Nichols 1998, Nichols & Karanth 2002). Nous nous sommes référés à la taille des domaines vitaux des lynx mesurés dans les années nonante dans le Sud du Jura suisse (Breitenmoser *et al.* 1993). Ceci mène à une densité d'environ 11 sites d'échantillonnage par domaine vital de femelle moyen.

Afin de pouvoir utiliser des estimateurs pour population fermée (p. ex. Otis *et al.* 1978), une assumption importante de la méthode est que la population soit, durant la période d'échantillonnage, libre de recrutement (naissance ou immigration) et de déplétion (décès ou émigration). Le piégeage photographique des lynx a été mené à la fin de l'hiver pendant 60 nuits (2 mois), une période dépourvue de naissances et assez courte pour remplir cette condition dans le cas d'une espèce comme le lynx.

Estimation de l'abondance

Une période de cinq nuits consécutives (pentade) a été définie comme une occasion de capture (Zimmermann *et al.* 2006). Pour chaque occasion de capture, chaque individu a été défini comme capturé au moins une fois (« 1 ») ou non capturé (« 0 »), formant un vecteur consistant en autant de « 1 » et de « 0 » qu'il y a d'occasion de capture. L'ensemble des vecteurs individuels forme une matrice- X , le calendrier de capture (Otis *et al.* 1978). Le calendrier de capture des lynx indépendants a été analysé à l'aide du module CAPTURE pour des populations fermées, intégré au programme MARK (White & Burnham 1999). Pour vérifier si la population était fermée, nous avons utilisé le programme CLOSETEST (Standley & Richards 2004). Le programme MARK sélectionne le « meilleur » modèle parmi 8 modèles possibles lorsque la population est fermée. Entre autres M_0 (la probabilité de capture est la même pour tous les individus, n'est pas influencée par une modification du comportement et ne varie pas au cours du temps) et M_n (la probabilité de capture varie d'un individu à l'autre mais pas au cours du temps).

Estimation de la densité

La densité des lynx indépendants a été calculée en divisant l'estimation de l'abondance par l'aire échantillonnée (\hat{A}). Dans notre cas nous avons considéré trois aires d'échantillonnage : (i) la zone de référence (ii) le polygone convexe formé par les sites d'échantillonnage les plus externes, plus une zone tampon de largeur (W), suivant Karanth & Nichols (1998) et (iii) la superficie de l'habitat favorable.

Les limites de la zone de référence ont été choisies de façon à ce qu'elles correspondent aux mieux aux limites probables des domaines vitaux de lynx selon nos connaissances de la structure spatiale du lynx. Les lynx établissent les limites de leur territoire souvent le long de barrières naturelles et artificielles tels des fonds de vallées densément peuplées ou le long de structures marquantes du relief.

La largeur de la zone tampon est égale à la moitié de la moyenne des distances maximales entre les sites de piégeage pour les individus photographiés sur au moins deux sites différents (Karanth & Nichols 1998). Cette zone tampon représente une estimation

de l'extension probable des domaines vitaux des lynx au-delà de la zone échantillonnée.

En Suisse, les zones densément habitées, les zones cultivées, les lacs et cours d'eau, et les hautes chaînes montagneuses délimitent l'habitat favorable du lynx (Zimmermann 2004, Zimmermann & Breitenmoser 2002). Dans la zone d'étude, le Plateau au Sud et la Vallée de Delémont au Nord forment un obstacle pour le lynx. La proportion d'habitat favorable au sein de la zone d'étude peut différer fortement entre le Jura et les Alpes. Afin de pouvoir comparer les densités absolues entre les différentes aires de référence dans le futur, nous avons soustrait la superficie de l'habitat défavorable du polygone convexe avec zone tampon, d'après un modèle d'habitat développé par Zimmermann & Breitenmoser (2002),

Résultats

Déprédations sur le matériel

Malgré des affichettes placées sur chaque site d'échantillonnage informant des buts de l'étude, plusieurs sites ont subi des déprédations lors des deux mois de piégeage. Le matériel a été détruit aux sites #17 (BE), #22 (JU) et #53 (SO) ou détourné du passage aux sites #15 (JU) et #30 (JU). De plus, deux films ont été volés au site #37 (SO).

Effort d'échantillonnage effectif et causes de déclenchement

Des pièges-photographiques ont été placés sur 54 sites durant 60 nuits de manière simultanée, ce qui équivaut à une durée d'échantillonnage théorique de 3240 nuits de captures. Des raisons techniques, des erreurs de programmation et des actes de sabotage, ont ramené l'effort potentiel à 2727 nuits de captures effectives, soit 84.2% du potentiel (Fig. 3).

Quatre sites (#1 ; #2 ; #4 et #54) en périphérie de la zone d'étude ont réalisé <55% des nuits de capture potentielles et n'ont pas photographié de lynx. Ils ont été exclus lors du calcul de l'aire du polygone convexe et de la zone tampon pour l'estimation de

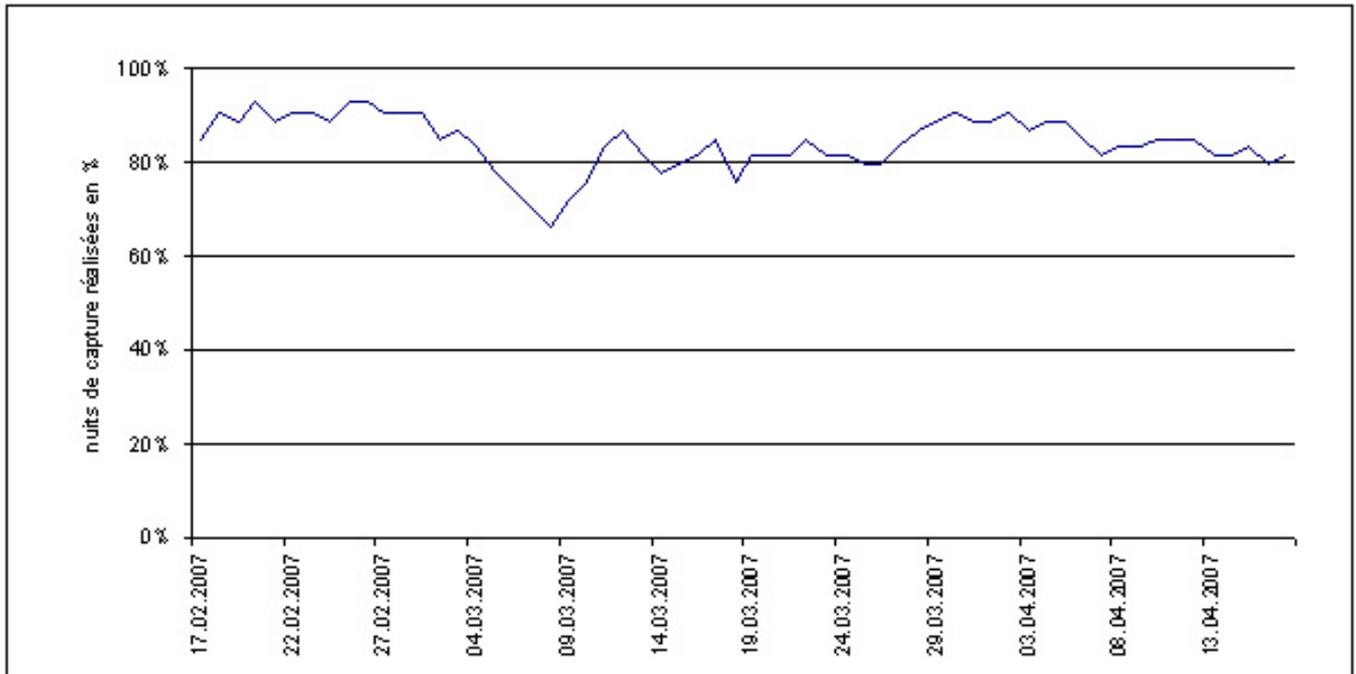


Fig. 3 Evolution de l'effort d'échantillonnage réalisé en pourcentage de l'effort potentiel au cours de l'étude (54 sites)

la densité (Fig. 1).

En excluant les tests (protocoles et test de fonctionnement), 5477 images ont été effectuées par les pièges-photographiques « master ». La cause de déclenchement des caméras (Fig. 4) était indéterminée dans 53.3% (n=2919) des cas. L'homme était la cause de 10.9% (n=599) des déclenchements, suivi du renard et du blaireau, respectivement présents sur 10.2% (n=558) et 9.2% (n=505) des images récoltées. Le lynx représentait 0.4% (n=22) des images, et le chat sauvage^f a été détecté à 70 reprises (1.3 %).

Les ongulés étaient peu représentés sur les images (chamois 1.0% ; sanglier 0.4% ; chevreuil 0.4%), malgré une abondance beaucoup plus élevées que le lynx. Ceci dénoterait le fait que la méthode, optimisée pour le lynx, n'est pas adaptée à l'échantillonnage des espèces avec des mouvements plus restreints et/ou qui utilisent d'autres types de voies de déplacement. Il s'agit donc de garder cela à l'esprit lors de l'interprétation des données. L'expérience montre que les sites placés sur les chemins forestiers sont plus favorables pour les carnivores que les ongulés (p. ex. Fattebert & Zimmermann 2007).

^f L'identification est basée sur le phénotype seul, ne pouvant exclure l'hybridation avec le chat domestique. Les valeurs sont à considérer avec prudence (voir Lüps *et al.* 2006).

Des lynx ont été détectés sur 13 sites différents (Fig. 3, 5). Les espèces détectées sur le plus de sites sont le blaireau (n=49) et le renard (n=45). Le chat sauvage a été détecté sur 16 sites (Fig. 5).

Nombre minimum de lynx

Vingt-deux images (SO 15, JU 4, BE 3, BL 0) de 9 lynx indépendants (B93 ; B116 ; B122 ; M41 « ZENO » ; M43 « WERO » ; B126 ; L84 ; F64 « LOMA » et R88) ont été réalisées dans la zone d'échantillonnage. Cinq d'entre eux étaient déjà connus par le monitoring extensif en 2006 (B93 ; B116 ; B122 ; M41 « ZENO » et M43 « WERO » ; Zimmermann & Breitenmoser 2006). Trois individus connus n'ont pas été détectés lors de la session intensive (B91 ; B23 et B119; Tab. 1). B91 a été photographié pour la dernière fois au début de l'année 2006 et a probablement été remplacé depuis par le mâle M41 « ZENO », qui évolue dans le même secteur. B119 a été détecté une seule fois en 2006, en marge ouest de la zone d'étude.

Les « slaves » ont pris le cliché du flanc opposé dans 8 cas sur vingt-deux (36.4%), permettant d'identifier assurément 5 individus sur neuf (B122 ; B116 ; B126 ; M41 « ZENO » et M43 « WERO »). Deux autres individus ont été identifiés de manière certaine grâce à des images prises en 2006 lors du monitoring extensif pour l'un (B93), et d'une

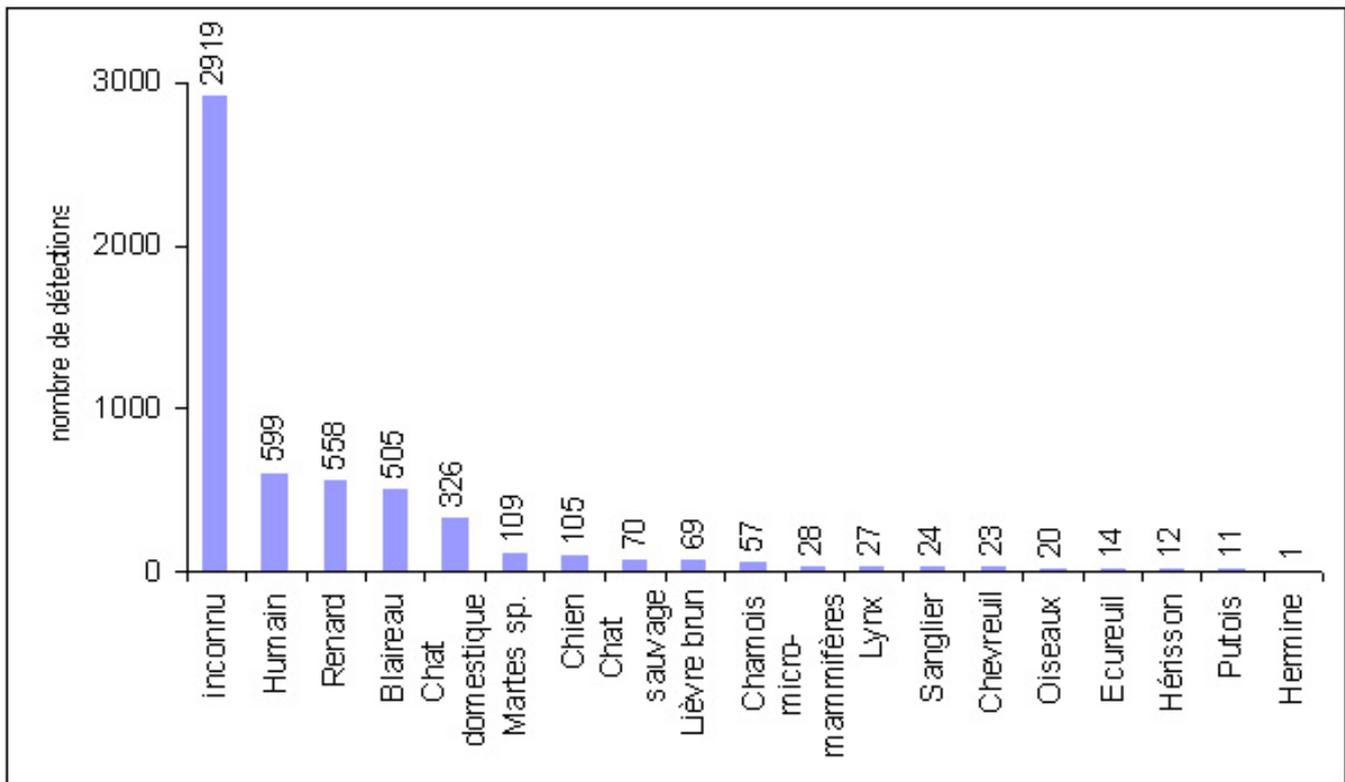


Fig. 4 Causes cumulées de déclenchement des caméras au cours des 60 nuits d'échantillonnage.

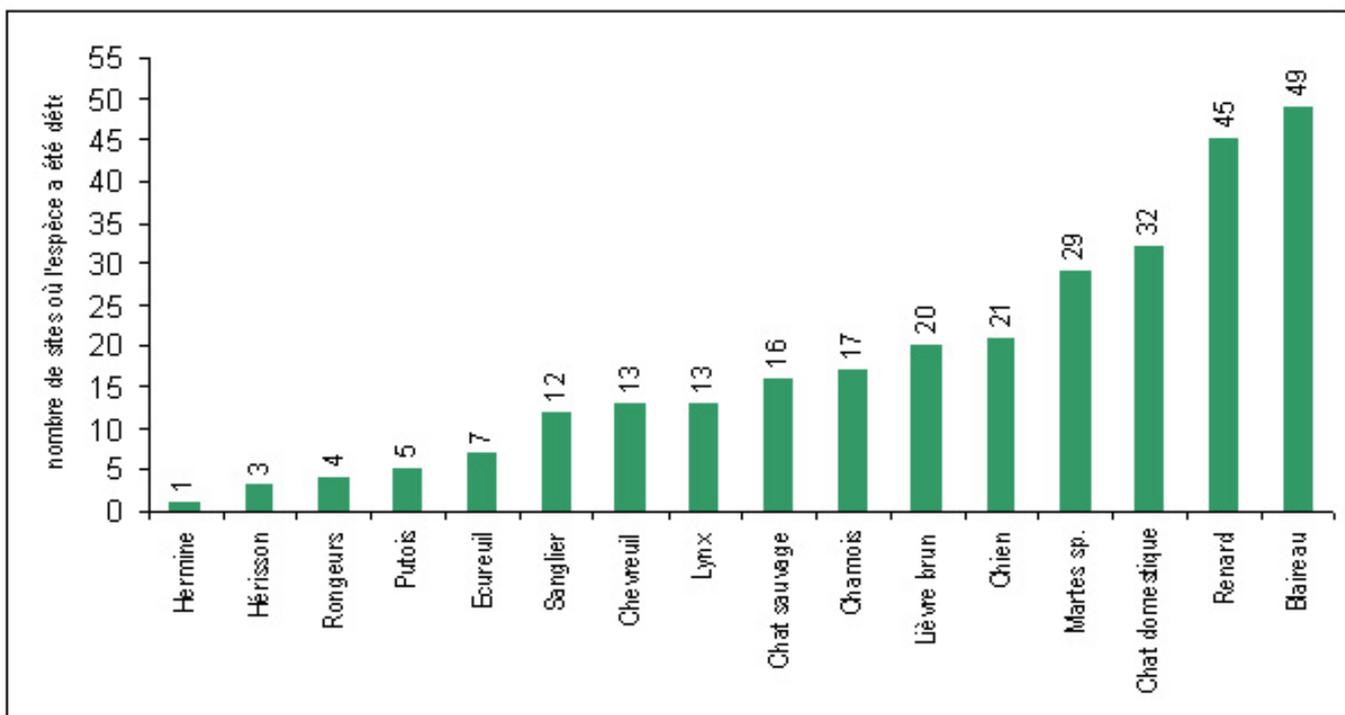


Fig. 5 Nombre de sites où chaque espèce de mammifères a été détectée au moins une fois (maximum possible n=54).

Tab. 1 Individus détectés dans la zone d'étude par le monitoring extensif en 2006 et début 2007, et lors des 2 mois d'échantillonnage intensif.

Individus détectés dans la zone étudiée	Identification ^a			Détections			Distance maximale (km) ^a			Présence dans la zone (mai 2007)
	Tel	Ext	Int	Lors du monitoring extensif 06-07	Lors du monitoring intensif 2007	dans le(s) canton(s), y.c. télémétrie	Tel	Ext	Int	
B91^b		LR		1		SO				Improbable
B93		LR	R	3 ^c	1	SO		9,6		Certaine
B23 (L13)^d		LR		4		JU, SO		4,8		Probable
B122		LR	LR	3	4	JU, BE, SO		6,9	7,4	Certaine
B119		LR		1		BE				Probable
B116		LR	LR	3	1	JU, BE, SO		9,9		Certaine
ZENO (B118)	LR	LR	LR	3 + capture ^e	2	SO, BL	29	8,3	6,5	Certaine
WERO (L83)	LR	L	LR	3 + capture ^f	4	SO, JU			12,3	Transloqué
B126			LR		6	SO			10,4	Certaine
L84^g			L		1	SO				Certaine
LOMA	LR		R	capture ^h	1	SO, BE	18			Certaine
R88			R		2	BE			11,6	Certaine

^a Tel : télémétrie ; Ext : monitoring extensif ; Int : monitoring intensif ; L : flanc gauche ; R : flanc droit

^b B91 a été détecté au début de l'année 2006 et a probablement été remplacé depuis par ZENO

^c B93 a été filmé avec une caméra infrarouge (IRTIS) lors d'une tentative de capture le 2 mars 2007.

^d L13 a récemment été identifié comme étant B23.

^e ZENO a été capturé et relâché sur place le 28 janvier 2007.

^f WERO a été transloqué en Suisse orientale (capturé le 9 avril 2007).

^g L84 est un jeune de la femelle LOMA, né en 2006. Photographié fin février, soit au début de la période de séparation (Zimmermann 2004, Zimmermann *et al.* 2005), il a été considéré comme un individu indépendant.

^h LOMA a été capturée et relâchée sur place le 6 avril 2007.

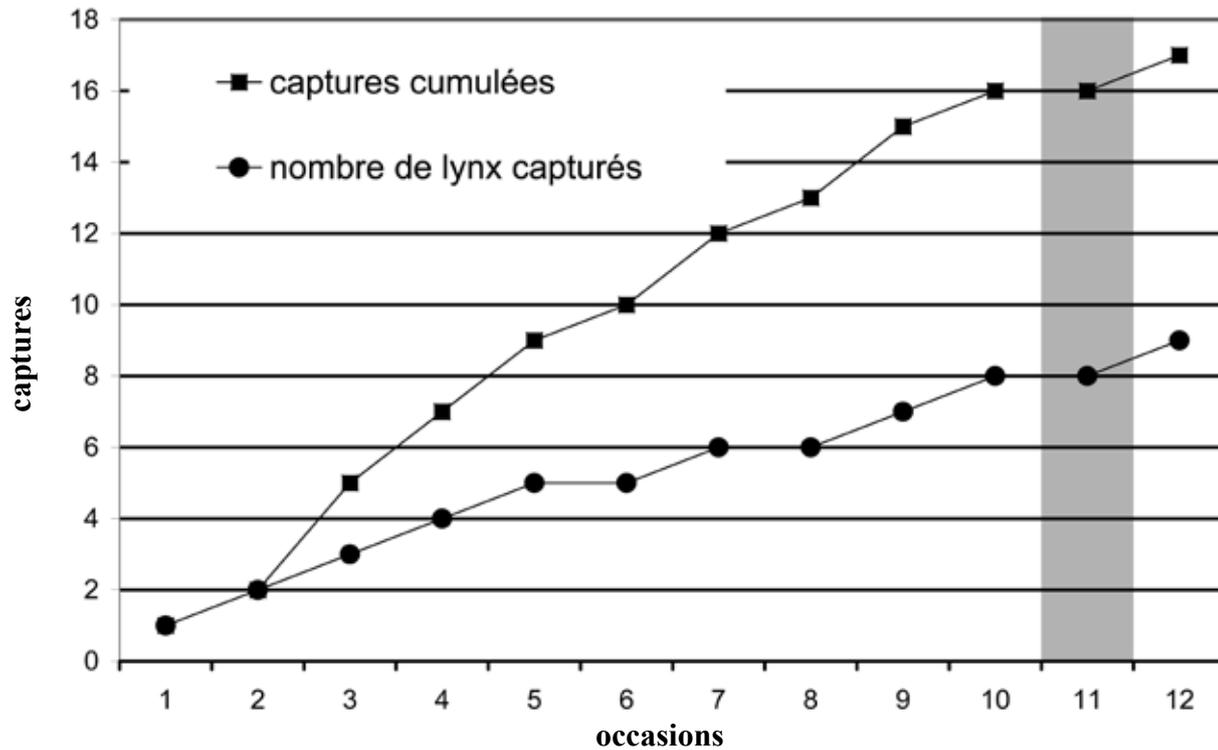


Fig. 7 Nombre de détections de lynx cumulées et nombre total d'individus différents détectés au cours des 12 occasions de capture. Un individu a été capturé (WERO) et un autre est entré dans la zone d'étude (LEON) lors de la 11ème pentade (grisé).

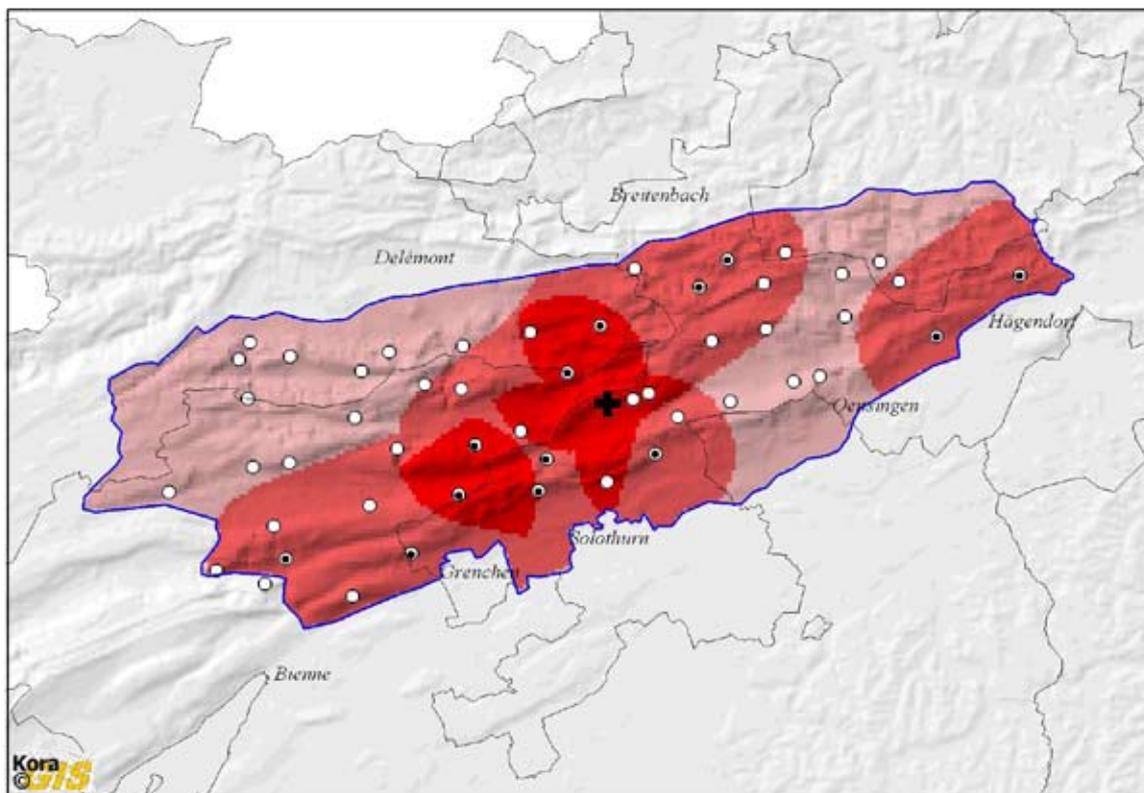


Fig. 6 Degrés de superposition (rose = faible, 0 lynx détecté ; rose foncé = moyenne, 1-2 lynx détectés ; rouge = forte, 3-6 lynx détectés) des aires de présence probable des lynx dans l'aire de référence (ligne bleue) calculée sur la base des images. Les cercles représentent de sites avec (⊙) et sans (○) images de lynx. L'emplacement de la capture de M43 « Wero » déplacé en Suisse orientale est marqué d'une croix.

capture en vue de translocations dans le Nord-Est des Alpes pour l'autre (F64 « LOMA » ; Tab. 1). Les deux derniers individus (L84 et R88) dont un seul flanc était connu ont été discriminés sur la base du type général des taches de leur pelage.

Degrés de superposition des aires de présence probable des lynx photographiés

Nous distinguons trois degrés de superposition : faible, moyen et fort (Fig. 6). La zone de superposition moyenne dans l'aire de référence comprend deux parties. La plus grande commence au sud-ouest sur la première chaîne du Jura et se poursuit le long de la frontière entre les cantons de Soleure, Berne et du Jura. La plus petite se situe sur la première chaîne au nord-est d'Oensingen. La zone de superposition forte comprend deux parties presque contiguës qui se situent entre Court, Grenchen, Soleure, Herbetswil et Mervelier. Elles se trouvent au sein de la plus grande zone de superposition moyenne, à cheval sur la frontière cantonale (SO, BE et JU). Le lynx M43 « Wero », transloqué en Suisse orientale, a été capturé (croix noire ; Fig. 6) dans cette zone.

Estimation de l'abondance par capture-recapture

Un individu (M43 « WERO ») a été capturé lors de la 11^{ème} occasion dans le cadre du programme LUNO (Ryser *et al.* 2004) de translocation vers la Suisse orientale. De plus, un autre individu (M42 « LEON »), relâché dans le Jura vaudois au mois de mars dans le cadre de translocations intra-cantonales vaudoises et suivi par télémétrie, a pénétré la zone d'étude lors de la 11^{ème} pentade (Fig. 7). Le calendrier de capture n'a été analysé que pour les 10 premières occasions, afin d'éviter de violer l'assomption des estimateurs pour population fermée.

Le programme CAPTURE a sélectionné le modèle M_0 comme étant le meilleur modèle. Le modèle M_h se situe à la seconde place. L'estimation de l'abondance basée sur le modèle M_0 est de $9 \pm 1,4$ individus indépendants dans la zone d'étude contre $10 \pm 3,44$ pour M_h (Tab. 2). Pour chacun des modèles, la probabilité de capture moyenne individuelle par pentade est de 0,19 (M_0), respectivement 0,16 (M_h).

Tab. 2. Estimation de l'abondance et de la densité de lynx indépendants d'après M_0 et M_h , dans l'aire de référence, le polygone plus la zone tampon et l'habitat favorable du lynx au sein du polygone plus la zone tampon. Les estimations sont basées sur l'analyse par capture-recapture des données du piégeage photographique.

Modèle	Probabilité de capture	N_{\min}	$N \pm SE(N)$	Estimation de la densité $D \pm SE(D)$ (ind. / 100 km ²)		
				Aire de référence	Polygone + tampon	Habitat favorable
M_0	0,19	9	$9,0 \pm 1,4$	$1,02 \pm 0,16$	$0,72 \pm 0,13$	$1,02 \pm 0,19$
M_h	0,16	9	$10,0 \pm 3,4$	$1,13 \pm 0,39$	$0,80 \pm 0,28$	$1,13 \pm 0,41$

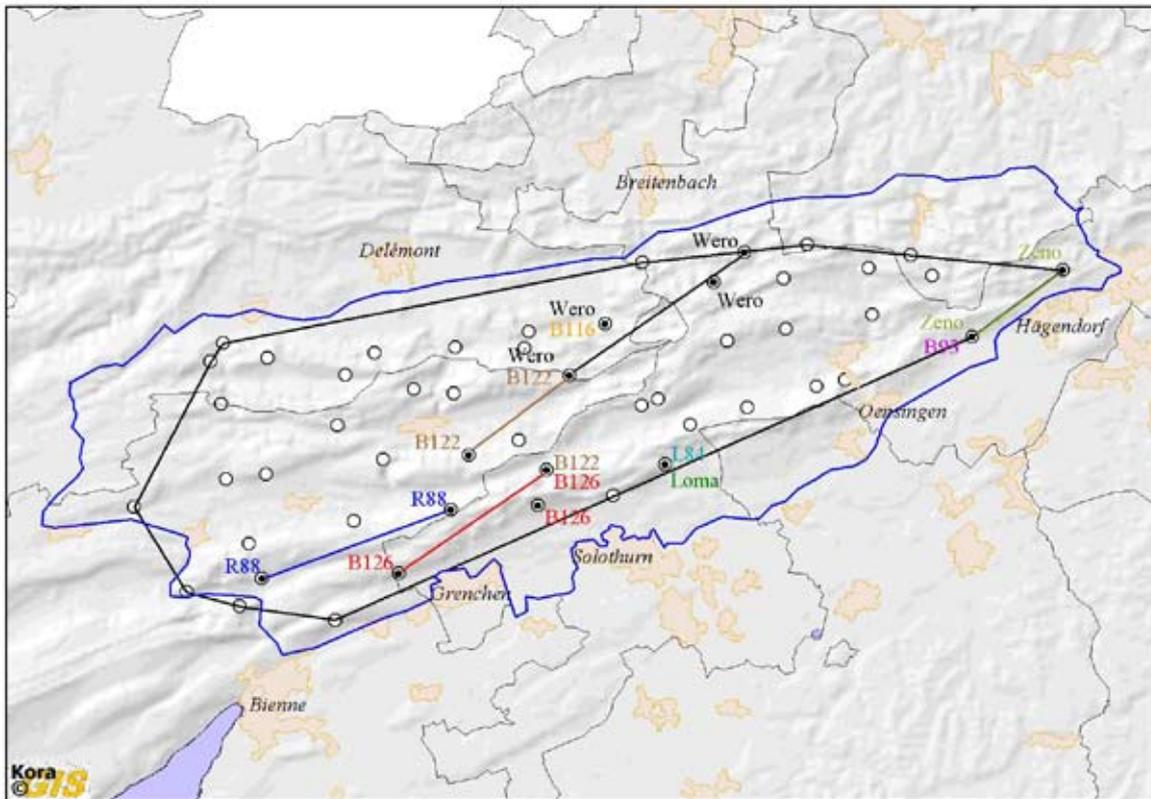


Fig. 8 Emplacements des pièges-photographiques avec les dénominations des lynx qui ont été photographiés lors de la session intensive. Aire de référence = ligne bleue ; polygone convexe = ligne noire. Les cercles représentent de sites avec (⊙) et sans (○) images de lynx. Les lignes en couleur correspondent aux distances maximales entre les sites de piégeage pour les individus photographiés sur au moins deux sites différents.

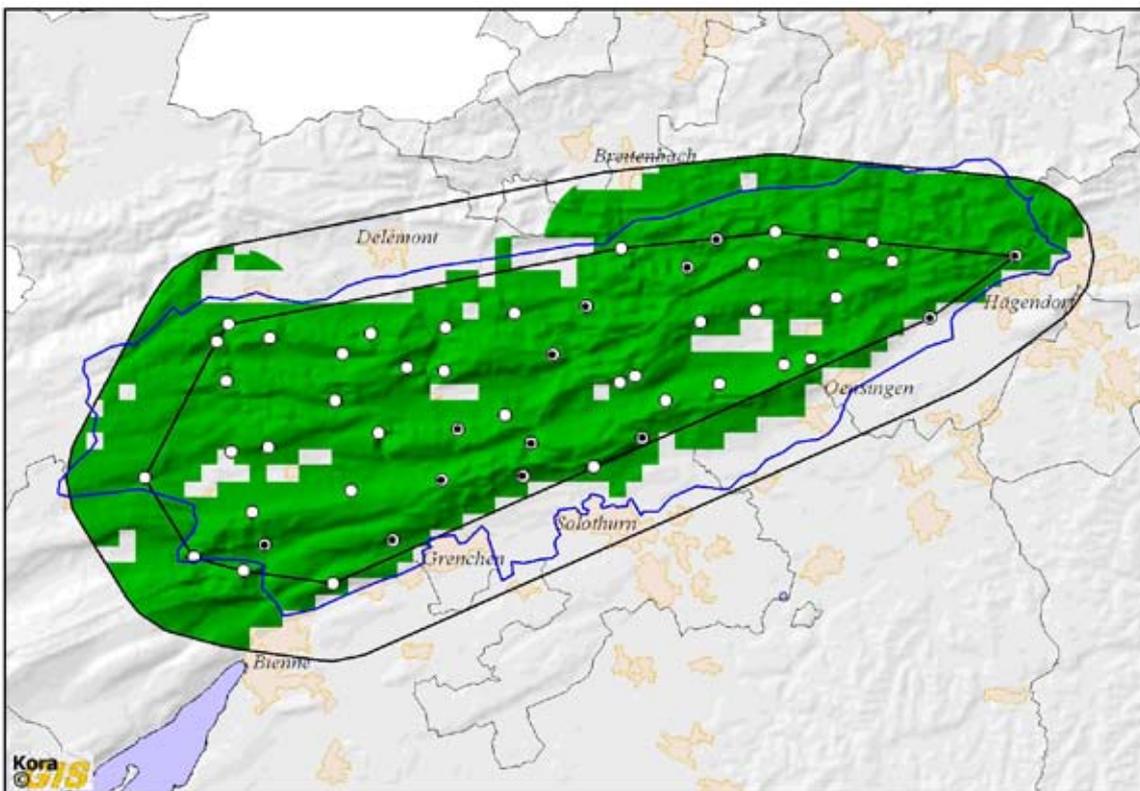


Fig. 9 Sites d'échantillonnage sans (○) et avec au moins une (⊙) détection de lynx, aire de piégeage (polygone interne), aire tampon (polygone externe). La surface verte correspond à l'habitat favorable du lynx définie d'après un modèle d'habitat. La ligne bleue délimite l'aire de référence.

Estimation de la densité

L'aire de référence a une superficie de 882 km² (ligne bleue, Fig. 3). La densité y était de $1,02 \pm 0,16$ lynx indépendants pour 100 km² (M_0), respectivement de $1,13 \pm 0,39$ (M_h).

La largeur de la zone tampon a été calculée sur la base des déplacements maximaux des 5 lynx qui ont été photographiés sur au moins deux sites différents (Tab. 1 ; Fig. 8). L'aire du polygone convexe (593 km²) plus la zone tampon (Fig. 9) était de 1243 km² et la densité était de $0,72 \pm 0,13$ lynx indépendants pour 100 km² (M_0), respectivement $0,80 \pm 0,28$ (M_h).

En tenant compte de l'habitat favorable au lynx (Fig. 9), la zone effectivement échantillonnée était de 881 km² et la densité de $1,02 \pm 0,19$ lynx indépendants pour 100 km² d'habitat favorable (M_0) respectivement $1,13 \pm 0,41$ (M_h ; Tab. 2).

Discussion

Effort d'échantillonnage

L'effort d'échantillonnage effectif global a représenté 84,2% du potentiel (54 sites). Le taux d'échantillonnage effectif dans les Préalpes en 2003-2004 était de 89,3% (32 sites). Le contrôle des sites avait lieu tous les 5 jours, ce qui réduisait le temps pendant le quel un site pouvait être inactif entre deux contrôles en cas de panne. Contrairement aux Préalpes, le froid, réduisant la durée de fonctionnement des batteries, n'a pas été en cause dans le Jura cette année. Par contre, plusieurs sites peu exposés aux passages humains (princ. promeneurs) étaient fonctionnels 24 heures sur 24. La journée, des courants thermiques depuis le sol chauffé par le soleil ont pu dans certains cas déclencher les appareils, en particulier sur les sites exposés au sud. Les films étaient parfois entièrement terminés avant le contrôle suivant. Un grand nombre de volontaires ont participé au contrôle des appareils. Cette participation est souhaitable car elle permet de mener à bien un travail conséquent et d'intégrer différents groupes d'intérêt, mais augmente les risques d'erreurs de manipulation. Ceci a également été constaté dans le cadre d'autres études utilisant le piégeage photographique, par exemple en Inde du Sud (A. Pittet comm. pers.). Finalement, le faible

enneigement (une semaine seulement) lors de cette session a facilité l'accès aux sites d'échantillonnage par tout un chacun. Ceci a probablement contribué au nombre élevé de cas de sabotage, diminuant par là l'effort d'échantillonnage avant que le matériel ait été remplacé.

Degrés de superposition des aires de présence probable des lynx photographiés

La zone de référence a été définie à l'avance et suffisamment grande de sorte à ce qu'elle soit représentative pour la population de lynx dans le nord du Jura. Les images des lynx ne sont pas réparties de manière homogène dans la zone de référence. La zone de superposition moyenne à forte calculée sur la base des images comprend deux parties : la première et la plus grande se situe le long de la frontière entre les cantons de Berne, Soleure et du Jura à la jonction de plusieurs chaînes, la seconde au nord-est d'Oensingen sur la première chaîne du Jura. La zone de superposition forte comprend la région située au nord de la Hasenmatt, aux alentours de la croupe située entre Günsbrunnen (SO) et Court (BE). Cette région n'est pas seulement un habitat favorable pour le lynx mais aussi une liaison stratégique entre la première et la deuxième chaîne du Jura. Elle pourrait jouer un rôle important en particulier lors du rut, car les individus peuvent s'y trouver et se rencontrer plus facilement. L'analyse part du principe que les lynx sont photographiés dans les zones d'utilisation intensive de leur domaine vital. Cependant, le calcul des domaines vitaux au moyen des données télémétriques de deux individus suivis sur une courte période montre que cela n'est pas toujours le cas (voir Loma ; Fig. 10). La session intensive a eu lieu durant la période du rut et s'étend sur un laps de temps réduit (2 mois) durant lequel les individus sont photographiés au hasard de leurs déplacements sur un à cinq sites différents. Ceci ne représente pas forcément l'utilisation spatiale annuelle de la zone d'étude par les lynx.

Abondance estimée

Les résultats sont influencés par le choix du modèle statistique. Pour les espèces solitaires de félins, les modèles M_0 (tous les individus ont une probabilité de capture identique) et M_h (la probabilité de capture varie d'un individu à l'autre) sont les plus

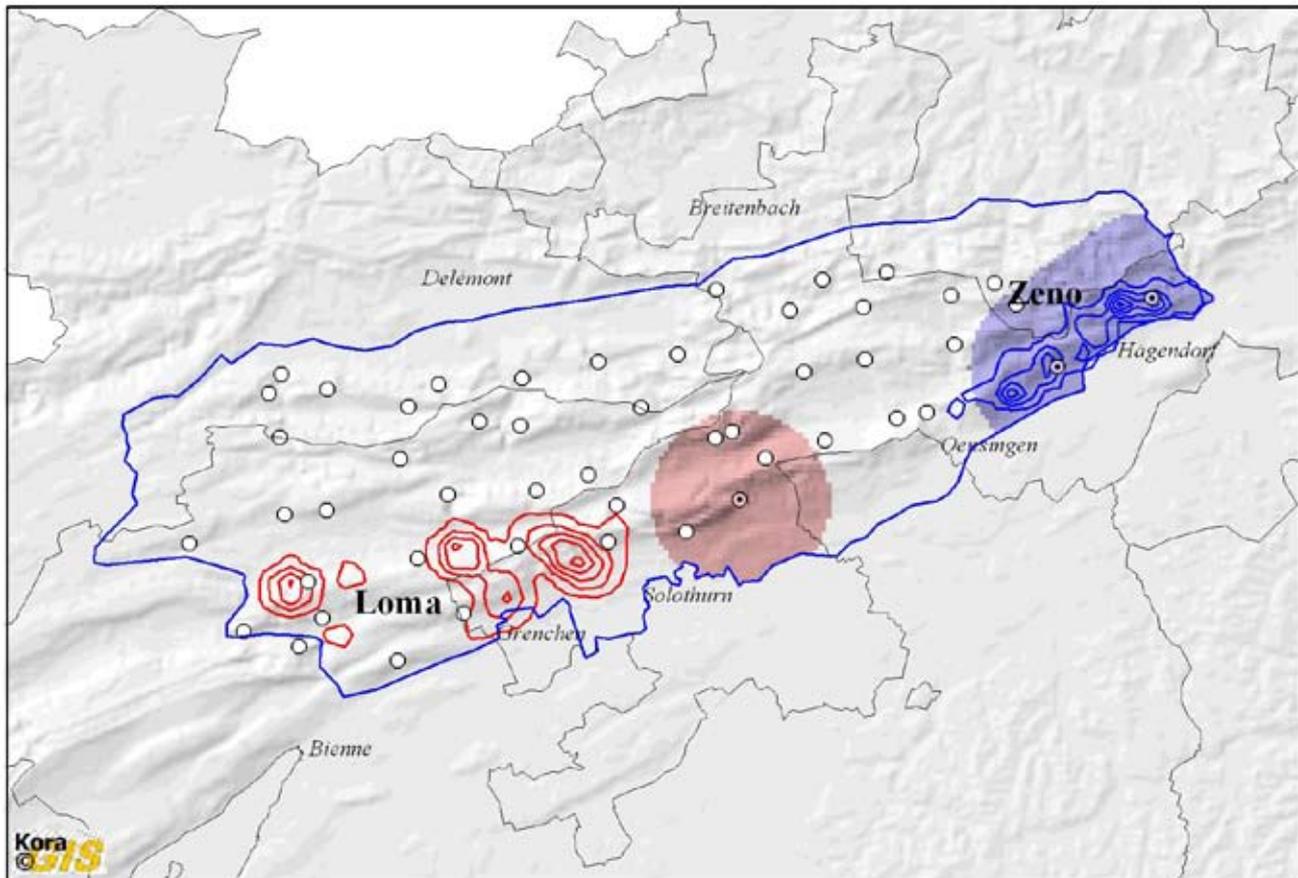


Fig. 10 Comparaison entre l'aire de présence probable des lynx calculée sur la base des images et les domaines vitaux estimés au moyen de localisations par satellite pour LOMA (6.04.-15.05.2007) et ZENO (27.01.-31.07.2007) munis d'un collier GPS/GSM. Les (●) désignent les emplacements des pièges-photographiques. En rose la zone tampon de 5 km placée au tour du site (●) où Loma a été photographiée, en bleu clair la zone de 5 km placée au tour des deux sites (●) où ZENO a été photographié. Les lignes rouges et bleues désignent les domaines vitaux des deux lynx calculés sur la base des localisations disponibles jusqu'à présent (Kernel 10-90%). Alors que ZENO a été photographié à deux reprises dans son domaine vital Loma, quant à elle, a apparemment été photographiée lors d'une excursion en dehors de son domaine vital. La ligne bleue délimite l'aire de référence.

communément appliqués. Dans cette étude, M_0 a été sélectionné dans MARK comme le modèle le plus approprié à notre jeu de données. Cependant, dans le cas d'une espèce comme le lynx où les mâles ont de plus grands domaines vitaux et effectuent plus fréquemment de plus grands déplacements que les femelles, on s'attend à ce que M_h , qui tient compte de l'hétérogénéité des probabilités de capture, soit plus réaliste d'un point de vue biologique. En effet, dans les sessions de piégeage photographique pour lesquelles nous avons des informations sur le sexe d'un grand nombre d'individus par la télémétrie, nous avons observé que les mâles étaient photographiés plus fréquemment que les femelles. De plus, M_h est plus résistant aux violations des hypothèses que M_0 (Karanth & Nichols 1998 ; Otis *et al.* 1978). Sous M_h on obtient généralement une erreur

statistique (écart type) plus large, et de ce fait il y a plus de chance que l'abondance réelle se situe dans ses limites. Deux individus (B23, B119) identifiés dans la zone d'étude lors du monitoring extensif de 2006, n'ont pas été photographiés lors de la session intensive. Nous ne pouvons pas dire s'ils se trouvent toujours dans le Nord du Jura. Ils sont pris en compte dans l'erreur statistique de l'estimation de l'abondance dans les deux modèles.

Il est également intéressant de noter que huit individus (dont B91, probablement remplacé par M41 « ZENO ») étaient connus dans cette zone par le monitoring extensif. Comme les deux flancs des lynx n'ont été photographiés que dans 36.4% des cas, il est utile de connaître l'identité du plus grand nombre d'individus avant un échantillonnage

intensif afin d'identifier les lynx dont un seul flanc serait photographié (Tab. 1).

Fermeture de la population

Un individu (M41 « WERO ») a été capturé lors de la 11^{ème} pentade et un autre individu suivi par télémétrie (M42 « LEON ») a séjourné brièvement dans la zone d'étude 11 au 23 avril, toutefois sans être photographié. Afin d'éviter de violer l'assomption des estimateurs pour population fermée, nous n'avons analysé le calendrier de capture que pour les 10 premières occasions.

Estimation de la densité

Quatre sites situés en périphérie avec moins de 55% des nuits de capture potentielle et sans images de lynx n'ont pas été retenus pour le calcul de la densité selon Karanth & Nichols (1998) car ils augmenteraient faussement l'aire de la zone échantillonnée et diminueraient par conséquent la densité.

La densité de $1,13 \pm 0,39$ lynx indépendants pour 100 km² dans l'aire de référence estimée par capture-recapture photographique était légèrement plus grande que celle estimée au moyen de la radio télémétrie au début des années nonante dans le Sud du Jura, qui se situait entre 0,84-0,99 lynx indépendants pour 100 km² (Breitenmoser-Würsten *et al.* in press). Elle était cependant plus petite que celle de $1,53 \pm 0,24$ lynx indépendants pour 100 km², mesurée dans le Nord-Ouest des Alpes durant l'hiver 2005-06 (Zimmermann *et al.* 2006).

Perspectives

Le piégeage photographique est une méthode applicable pour l'échantillonnage du lynx dans le cadre de la capture-recapture, malgré un taux de capture plus faible ($p = 0,16$; M_h) que dans les Préalpes ($0,19 \leq p \leq 0,23$; M_h). L'expérience acquise lors de cette session permettra à l'avenir d'optimiser le choix des sites d'échantillonnage dans le Jura, et ainsi d'augmenter la probabilité de capture des lynx et par-là même de renforcer la précision des estimations (Nichols & Karanth 2002).

Répéter le suivi dans la même zone permettrait d'estimer des paramètres démographiques à l'aide

d'estimateurs pour populations ouverte (Pollock *et al.* 1990) et de suivre l'évolution des effectifs à la suite des translocations. Nous recommandons également des estimations de l'abondance et de la densité dans d'autres parties du Jura, afin de permettre des comparaisons dans l'espace.

Références

- Breitenmoser, U., P. Kaczensky, M. Dötterer, C. Breitenmoser-Würsten, S. Capt, F. Bernhart, and M. Liberek. 1993. Spatial organisation and recruitment of Lynx (*Lynx lynx*) in a re-introduced population in the Swiss Jura Mountains. *Journal of Zoology* **231**:449-464.
- Breitenmoser-Würsten, Ch., F. Zimmermann, Ph. Stahl, J- M. Vandel, A. Molinari-Jobin, P. Molinari, and U. Breitenmoser. In press. Spatial and social stability of an Eurasian lynx (*Lynx lynx*) population – a valuation of 10 years of observation in the Jura Mountains. *Wildlife Biology*.
- Fattebert, J., and F. Zimmermann. 2007. Piégeage photographique du lynx dans le Jura vaudois – Rapport sur la session semi-intensive de l'automne 2006. *KORA-Bericht* **36**:1-25.
- Jackson, R. M., J. D. Roe, R. Wangchuk, and D. O. Hunter. 2006. Estimating snow leopard population abundance using photographic identification and capture-recapture techniques. *Wildlife Society Bulletin* **37**:772-781.
- Jennelle, C. S., M. R. Runge, and M. D. I. 2002. The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals: a comment on misleading conclusions. *Animal Conservation* **5**:199-200.
- Karanth, K. U. 1995. Estimating tiger *Panthera tigris* populations from camera-trap data using capture-recapture models. *Biological Conservation* **71**:333-338.
- Karanth, K. U., R. S. Chundawat, J. D. Nichols, and N. S. Kumar. 2004. Estimation of tiger densities in the tropical dry forest of Panna, Central India, using photographic capture-recapture sampling. *Animal Conservation* **7**:285-290.
- Karanth, K. U., and J. D. Nichols. 1998. Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology* **79**:2852-2862.
- Kawanishi, K., and M. E. Sunquist. 2004. Conservation status of tigers in a primary rainforest of Peninsular Malaysia. *Biological Conservation* **120**:329-344.
- Laass, J. 1999. Evaluation von Photofallen für ein quantitatives Monitoring einer Luchspopulation in den Schweizer Alpen. *Diplomarbeit, Universität Wien, Wien*.
- Lüps, P., B. Hefti-Gautschi, B. Nussberger, and D. Weber. 2006. Dont trust the fur: your «wildcat» could be a domestic cat (provisional results). *Mammalian Biology* **71 (suppl)**:19.

- Maffei, L., E. Cuéllar, and A. Noss. 2004. One thousand jaguars (*Panthera onca*) in Bolivia's Chaco? Camera trapping in the Kaa-Iya National Park. *Journal of Zoology* **262**:295-304.
- Nichols, J. D. 1992. Capture-recapture models using marked animals to study population dynamics. *BioScience* **42**:94-102.
- Nichols, J. D., and K. U., Karanth. 2002. Statistical concepts: estimating absolute densities of tigers using capture-recapture sampling. Pages 121-136 in K. U., Karanth, and J. D. Nichols, editors. *Monitoring tigers and their prey: a manual for researchers, managers and conservationists in tropical Asia*. Centre for Wildlife Studies, Bangalore.
- O'Brien, T. G., M. F. Kinnaird, and H. T. Wibisono. 2003. Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tigers and prey population in a tropical landscape. *Animal Conservation* **6**:131-139.
- OFEFP. 2004. Concept Lynx Suisse. Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, Berne.
- Otis, D. L., K. P. Burnham, G. C. White, and D. R. Anderson. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife Monographs* **62**:1-135.
- Pollock, K. H., J. D. Nichols, C. Brownie, and J. E. Hines. 1990. Statistical inference for capture-recapture experiments. *Wildlife Monographs* **107**:1-98.
- Ryser, A., K. von Wattenwyl, M.-P. Ryser-Degiorgis, C. Willisch, F. Zimmermann, and U. Breitenmoser. 2004. Luchsumsiedlung Nordostschweiz 2001 – 2003, Schlussbericht Modul Luchs des Projektes LUNO. KORA Bericht **22**:1-60.
- Silver, S. C., L. E. T. Ostro, L. K. Marsh, L. Maffei, A. J. Noss, M. J. Kelly, R. B. Wallace, H. Gomez, and G. Ayala. 2004. The use of camera traps for estimating jaguar *Panthera onca* abundance and density using capture/recapture analysis. *Oryx* **38**:148-154.
- Soisalo, M. K., and S. 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* **129**:487-496.
- Stanley T. R., and J. D. Richards. 2004. CloseTest version 3.0, a program for testing capture-recapture data for closure. US Geological Survey, Fort Collins Science Center, Colorado, USA.
- Thüler, K. 2002. Spatial and Temporal Distribution of Coat Patterns of Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in two reintroduced Populations in Switzerland. *Kora-Bericht* **13**:1-35.
- Trolle, M., and M. Kéry. 2003. Estimation of ocelot density in the Pantanal using capture-recapture analysis of camera-trapping data. *Journal of Mammalogy* **84**:607-614.
- Wegge, P., C. P. Pokheral, and S. R. Jnawali. 2004. Effects of trapping effort and trap shyness on estimates of tiger abundance from camera trap studies. *Animal Conservation* **7**:251-256.
- White, G. C., and K. P. Burnham. 1999. Program MARK: survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study* **46**:120-138.
- Zimmermann, F. 2004. Conservation of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in a fragmented landscape — habitat models, dispersal and potential distribution. PhD thesis, Université de Lausanne, Lausanne.
- Zimmermann, F., and U. Breitenmoser. 2002. A distribution model for the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the Jura Mountains, Switzerland. Pages 653-660 in J. M. Scott, P. J. Heglund, F. Samson, J. Hauffer, M. Morrison, M. Raphael, and B. Wal, editors. *Predicting species occurrences: Issue of accuracy and scale*. Island Press, Covelo.
- Zimmermann, F., and U. Breitenmoser. 2006. Bericht zum Monitoring des Luchses im Kanton Solothurn. Bericht erstellt im Rahmen des Programms KORA: 4pp.
- Zimmermann, F., Ch. Breitenmoser-Würsten & U. Breitenmoser. 2005. Natal dispersal of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in Switzerland. *Journal of Zoology London* **267**:381-395.
- Zimmermann, F., A. Molinari-Jobin, S. Capt, and U. Mannhart. 2004. Zwei Bilder auf einen Blitz. Pages 10-11 in KORA, editor. *KORA Jahresbericht 2003*. KORA, Bern.
- Zimmermann, F., J.-M. Weber, A. Molinari-Jobin, A. Ryser, K. von Wattenwyl, A. Siegenthaler, P. Molinari, C. Angst, C. Breitenmoser-Würsten, S. Capt, and U. Breitenmoser. 2006. Monitoring der Raubtiere in der Schweiz 2005. *KORA-Bericht* **35**:1-64.

Bisher erschienene KORA Berichte / Rapports KORA parus / Published KORA reports

- KORA Bericht Nr. 36 Fattebert, J. & Zimmermann, F. 2007. Piégeage-photographique du lynx dans le Jura vaudois: rapport sur la session semi-intensive de l'automne 2006.
- KORA Bericht Nr. 35 Zimmermann, F., Weber, J.-M., Molinari-Jobin, A., Ryser, A., von Wattenwyl, K., Siegenthaler, A., Molinari, P., Angst, Ch., Breitenmoser-Würsten, Ch., Capt S. & Breitenmoser, U. 2006. Monitoring der Raubtiere in der Schweiz 2005.
- KORA Bericht Nr. 34 Ryser, A., von Wattenwyl, K., Zimmermann, F. & Breitenmoser, U. 2006. 2. Monitoringbericht LUNO2. Status Luchs Nordostschweiz Winter 2005/2006.
- KORA Bericht Nr. 33e Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, Ch., von Arx, M., Zimmermann, F., Ryser, A., Angst, Ch., Molinari-Jobin, A., Molinari, P., Linnell, J., Siegenthaler, A. & Weber, J.-M. 2006. Guidelines for the Monitoring of Lynx. Workshop on the Conservation and the Monitoring of the Balkan lynx.
- KORA Bericht Nr. 32 Angst, Ch. & J.-M. Weber. 2005. Evaluation de la faisabilité d'une réintroduction de la perdrix grise en Ajoie (JU).
- KORA Bericht Nr. 31 Ryser, A., von Wattenwyl, K., Willisch, Ch., Leathwood, I., Zimmermann, F., Breitenmoser, U. 2005. 1. Monitoringbericht LUNO2 – Statusbericht Luchs Nordostschweiz Winter 2004/2005.
- KORA Bericht Nr. 30 Boutros, D., 2005. Luchs & Co. eine Lernwerkstatt.
- KORA Bericht Nr. 29 f, d Zimmermann, F., Molinari-Jobin, A., Weber J.-M., Capt, S., Ryser, A., Angst, Ch., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Breitenmoser, U. 2005. Monitoring der Raubtiere in der Schweiz 2004.
- KORA Bericht Nr. 28 Zajec, P., Zimmermann, F., Roth, H.U. & Breitenmoser, U. 2005. Die Rückkehr des Bären in die Schweiz – Potentielle Verbreitung, Einwanderungsrouten und mögliche Konflikte.
- KORA Bericht Nr. 28 e Zajec, P., Zimmermann, F., Roth, H.U. & Breitenmoser, U. 2005. The return of the Brown bear to Switzerland – Suitable habitat distribution, corridors and potential conflicts.
- KORA Bericht Nr. 27 f Weber, J.-M., 2004. Monitoring Loup 1999-2003.
- KORA Bericht Nr. 26 Zimmermann, F., Molinari-Jobin, A., Capt, S., Ryser, A., Angst, Ch., von Wattenwyl, K., Burri, A., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Breitenmoser, U. 2004. Monitoring Luchs Schweiz 2003.
- KORA Bericht Nr. 25 f, d Burri, A., Kläy E.-M., Landry, J.-M., Maddalena, T., Oggier, P., Solari, C., Torriani, D., Weber, J.-M. 2004: Rapport final Projet Loup Suisse – Prévention 1999-2003.
- KORA Bericht Nr. 24 d Capt, S., Lüps, P., Nigg, H. & Fivaz, F. 2005: Relikt oder geordneter Rückzug ins Réduit – Fakten zur Ausrottungsgeschichte des Braunbären Ursus arctos in der Schweiz.
- KORA Bericht Nr. 24 f Capt, S., Lüps, P., Nigg, H. & Fivaz, F. 2005: Reliquat ou retrait coordonné dans le réduit suisse - Récit historique de l'éradication de l'ours brun Ursus arctos en Suisse (en préparation).
- KORA Bericht Nr. 23 Ryser, A. et al. in Vorbereitung: Der Luchs und seine Beutetiere in den schweizerischen Nordwestalpen 1997-2000.
- KORA Bericht Nr. 22 Ryser, A., von Wattenwyl, K., Ryser-Degiorgis, M.-P., Willisch, Ch., Zimmermann, F. & Breitenmoser, U. 2004: Luchsumsiedlung Nordostschweiz 2001-2003, Schlussbericht Modul Luchs des Projektes LUNO.
- KORA Bericht Nr. 21 f Doutaz, J. & Koenig A. 2004: Le retour du Loup (Canis lupus L.) en Suisse: Analyse des données disponibles en vue de la réalisation d'un modèle de distribution potentielle.
- KORA Bericht Nr. 20 Boutros, D. & Baumgartner, HJ. 2004: Erfahrungen der Kontaktgruppe Luchs Simmental und Saanenland: Auswertung einer Umfrage unter den Mitgliedern.
- KORA Bericht Nr. 19 e von Arx, M., Breitenmoser-Würsten, Ch., Zimmermann, F. & Breitenmoser, U. 2004. Status and conservation of the Eurasian Lynx (Lynx lynx) in Europe in 2001.
- KORA Bericht Nr. 18 e Weber, J.-M. (ed.), 2003. Wolf monitoring in the Alps.

Bisher erschienene KORA Berichte / Rapports KORA parus / Published KORA reports

- KORA Bericht Nr. 16 f Zimmermann, F., von Wattenwyl, K., Ryser, A., Molinari-Jobin, A., Capt, S., Burri, A., Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Angst, Ch. 2003. Monitoring Lynx Suisse 2002.
- KORA Bericht Nr. 16 Zimmermann, F., von Wattenwyl, K., Ryser, A., Molinari-Jobin, A., Capt, S., Burri, A., Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Angst, Ch. 2003. Monitoring Luchs Schweiz 2002.
- KORA Bericht Nr. 15 f Zimmermann, F., von Wattenwyl, K., Ryser, A., Molinari-Jobin, A., Capt, S., Burri, A., Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Angst, Ch. 2002. Monitoring Lynx Suisse 2001
- KORA Bericht Nr. 15 Zimmermann, F., von Wattenwyl, K., Ryser, A., Molinari-Jobin, A., Capt, S., Burri, A., Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, Ch. & Angst, Ch. 2002. Monitoring Luchs Schweiz 2001.
- KORA Bericht Nr. 14 Laass, J. 2002. Fotofallen-Monitoring im westlichen Berner Oberland 2001. Fotofallen-Extensiv-Einsatz 2001. Fotofallen-Intensiv-Einsatz Winter 2001/2002.
- KORA Bericht Nr. 13 e Thüler, K. 2002. Spatial and Temporal Distribution of Coat Patterns of Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in two reintroduced Populations in Switzerland.
- KORA Bericht Nr. 12 e Boutros, D. 2002. Characterisation and Assessment of Suitability of Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) Den Sites.
- KORA Bericht Nr. 11 f Breitenmoser, U., Capt, S., Breitenmoser-Würsten, Ch., Angst, Ch., Zimmermann, F., & Molinari-Jobin, A. 2002. Le Lynx dans le Jura – Aperçu de l'état actuel des connaissances.
- KORA Bericht Nr. 11 d Breitenmoser, U., Capt, S., Breitenmoser-Würsten, Ch., Angst, Ch., Zimmermann, F. & Molinari-Jobin, A. 2002. Der Luchs im Jura – Eine Übersicht zum aktuellen Kenntnisstand.
- KORA Bericht Nr. 10 d Angst, Ch., Haagen, S. & Breitenmoser, U. 2002. Übergriffe von Luchsen auf Kleinvieh und Gehegetiere in der Schweiz. Teil II: Massnahmen zum Schutz von Nutztieren.
- KORA Bericht Nr. 9 Breitenmoser-Würsten, Ch., Zimmermann, F., Ryser, A., Capt, S., Lass, J. & Breitenmoser, U. 2001. Untersuchungen zur Luchspopulation in den Nordwestalpen der Schweiz 1997-2000.
- KORA Bericht Nr. 8 Ryser-Degiorgis M.-P. 2001. Todesursachen und Krankheiten beim Luchs – eine Übersicht.
- KORA Bericht Nr. 7 e Breitenmoser-Würsten, Ch., Breitenmoser, U. (Eds), 2001. The Balkan Lynx Population – History, Recent Knowledge on its Status and Conservation Needs.
- KORA Bericht Nr. 6 Laass, J. 2001. Zustand der Luchspopulation im westlichen Berner Oberland im Winter 2000. Fotofallen-Einsatz Nov./Dez. 2000.
- KORA Bericht Nr. 5 d Angst, Ch., Olsson, P. & Breitenmoser, U. 2000. Übergriffe von Luchsen auf Kleinvieh und Gehegetiere in der Schweiz. Teil I: Entwicklung und Verteilung der Schäden.
- KORA Bericht Nr. 4 Zimmermann, F. 1998. Dispersion et survie des Lynx (*Lynx lynx*) subadultes d'une population réintroduite dans la chaîne du Jura.
- KORA Bericht Nr. 3 Workshop on Human Dimension in Large Carnivore Conservation. Contributions to the Workshop 26.11.97 at Landshut, Switzerland, with Prof. Dr. Alistair J. Bath. 1998.
- KORA Bericht Nr. 2 e Landry, J.M. 1999. The use of guard dogs in the Swiss Alps: A first analysis.
- KORA Bericht Nr. 2 d Landry, J.-M. 1999. Der Einsatz von Herdenschutzhunden in den Schweizer Alpen: erste Erfahrungen.
- KORA Bericht Nr. 2 Landry, J.-M. 1998. L'utilisation du chien de protection dans les Alpes suisses: une première analyse.
- KORA Bericht Nr. 1 Landry, J.-M. 1997. La bête du Val Ferret.