

Abondance et densité du lynx dans le Sud du Jura suisse: Estimation par capture-recapture photographique dans le C-I durant l'hiver 2008/09



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 Nr. 47

Abondance et densité du lynx dans le Sud du Jura suisse: estimation par capture-recapture photographique dans le C-I durant l'hiver 2008/09

Autoren
Auteurs
Authors

Fridolin Zimmermann, Christian Hebeisen, Anna Eichholzer, Mario Theus, Christine Breitenmoser-Würsten, & Urs Breitenmoser

Bearbeitung
Adaptation
Editorial

Fridolin Zimmermann (mise en page)

Bezugsquelle
Source
Source

KORA, Thunstrasse 31, CH-3074 Muri
T +41 31 951 70 40 / F +41 31 951 90 40
info@kora.ch
pdf document: www.kora.ch

Titelbild
Photo de la page de titre
Front cover picture

B132, 12 janvier 2009, *La Vallée de Joux*
photo © KORA

Anzahl Seiten/Pages: 17

ISSN 1422-5123

© KORA Août 2009

**Abondance et densité du lynx dans le Sud du Jura suisse:
estimation par capture-recapture photographique dans le C-I
durant l'hiver 2008/09**

**Fridolin Zimmermann, Christian Hebeisen, Anna Eichholzer,
Mario Theus, Christine Breitenmoser-Würsten,
& Urs Breitenmoser**

Structure du Rapport

Le présent rapport comprend deux parties : la première, le rapport proprement dit, résume brièvement et le plus simplement possible les principaux résultats de la session intensive avec les pièges-photographiques. La seconde «méthodes détaillées» livre les détails méthodiques et statistiques nécessaires à la bonne compréhension du rapport.

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-photographiques dans le Sud du Jura. Nous remercions en particulier :

- tous les surveillants de la faune, surveillants auxiliaires de la faune, chasseurs et naturalistes qui nous ont aidé lors du choix des sites ainsi que lors de la mise en place des pièges-photographiques, des contrôles et du démontage, en particulier : Alexandre Allenspach, Pascal Aquilar, Jacques Berlie, Antonio Biancaniello, Robert Carciofo, Pascal Criblez, Michel Cuhat, Patrick Deleury, Michel Guessaz, Alexandre Di Santolo, Philippe Duperrex, Jean-Pierre Flück, Jean Fournier, Daniel Gétaz, Luc Jacquemettaz, Mario Laffely, Dominique Morel, Gérard Morel, Patrick Porchet, Jacques Renaud, Olivier Rey, Alain Seletto, Philippe Tavel, André Vietti et Christian Zbinden;
- tous les responsables des institutions cantonales et fédérales notamment Arthur Fiechter, Sébastien Sachot, Thomas Briner et Reinhard Schnidrig pour leur soutien professionnel;
- Simon Caviezel, Matthias Blanc et Martin Scholl pour leur soutien technique.

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 dans le Sud du Jura suisse: Estimation par capture-recapture photographique dans le C-I durant l'hiver 2008/09

Table des matières

1. Introduction	7
2. Zone de référence	7
3. Matériel et méthode	8
4. Résultats et discussion	8
4.1 Nombre minimum de lynx.....	9
4.2. Estimation de l'abondance dans l'aire de référence.....	10
4.3. Estimation de la densité dans l'aire de référence.....	10
5. Références	11
Annexe technique : description détaillée des méthodes	13
Aire échantillonnée.....	13
Piégeage-photographique intensif.....	14
Nombre minimum de lynx.....	14
Estimation de l'abondance et de la densité par capture-recapture.....	14
Estimation du nombre d'individus.....	15
Estimation de la densité avec la zone tampon.....	16
Références.....	17

Résumé - Le piégeage-photographique du lynx (*Lynx lynx*) a été effectué durant 60 nuits, du 28 novembre 2008 au 26 janvier 2009, dans le Sud du Jura suisse. Cinquante-trois sites ont été surveillés à l'aide de paires de pièges-photographiques afin de photographier au moins une fois les deux flancs des lynx pour permettre une identification individuelle de manière certaine. Neuf à dix lynx différents ont été détectés sur des passages dans l'ensemble de la zone d'étude au cours des deux mois d'échantillonnage : trois à quatre lynx indépendants dans l'extension vaudoise de la zone d'étude auxquels viennent s'ajouter six lynx indépendants dans la zone de référence. De plus un individu supplémentaire a été détecté sur une proie dans la zone de référence. L'estimation de l'abondance dans la zone de référence par le modèle de capture-recapture M_h était de $7,0 \pm 1,4$ lynx indépendants ce qui correspond à une densité de $0,96 \pm 0,20$ lynx indépendants pour 100 km^2 . L'estimation de la densité était similaire à la valeur estimée dans le Nord et le Centre du Jura suisse. Cette valeur est aussi semblable aux valeurs de 0,84-0,99 lynx indépendants pour 100 km^2 calculées pour le Sud du Jura suisse lors d'études télémétriques dans les années nonantes.

Zusammenfassung - Das Fotofallen-Monitoring des Luchses (*Lynx lynx*) im südlichen Schweizer Jura wurde während 60 Nächten vom 28. November 2008 bis 26. Januar 2009 durchgeführt. Es wurden an dreißig Standorten Stichproben anhand von jeweils zwei zueinander ausgerichteten Fotofallen erhoben, um mindestens einmal beide Flanken der Luchse für die individuelle Bestimmung zu erhalten. Neun bis zehn verschiedene selbständige Luchse wurden auf Wechsellern während der zweimonatigen Untersuchungsperiode im ganzen Untersuchungsgebiet nachgewiesen: drei bis vier in der Erweiterung dazu kommen noch sechs weitere die im Referenzgebiet erfasst worden sind. Ein weiterer Luchs wurde an einem Riss innerhalb des Referenzgebietes fotografiert. Die Fang-Wiederfang Schätzung der Abundanz im Referenzgebiet nach dem Modell M_h ergab $7,0 \pm 1,4$ selbständige Luchse was einer Dichte von $0,96 \pm 0,20$ selbständigen Luchsen pro 100 km^2 entspricht. Im Referenzgebiet war die Dichteschätzung vergleichbar mit jenen die für den nördlichen und zentralen Jura mittels Fotofallen geschätzt worden sind. Sie entsprach auch der Schätzung von 0,84-0,99 selbständige Luchse pro 100 km^2 , die mittels Radiotelemetrie in den 90iger Jahren im südlichen Teil des Schweizer Jura gemessen wurde.

Abstract - Camera-trapping of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) was carried out for 60 nights, from the 28th November 2008 to the 26th January 2009 in the southern Swiss Jura Mountains. Fifty-three sites were sampled using pairs of camera traps, in order to picture at least once both flanks of the lynx allowing individual identification. Nine to ten independent lynx were pictured along trails during the two months sampling period in the whole study area: three to four in the extension and another six in the reference area. One additional lynx was pictured by a camera trap set at a kill in the reference area. The capture-recapture estimate of abundance under M_h in the reference area was 7.0 ± 1.4 independent lynx, which corresponds to a density of 0.96 ± 0.20 independent lynx per 100 km^2 . In the reference area, the density estimate is similar to the value estimated by means of camera traps in the Northern and Central part of the Swiss Jura Mountains. This value is also similar to the range of 0.84-0.99 independent lynx per 100 km^2 assessed in the southern part of the Swiss Jura in the nineties using radio-telemetry.

1. Introduction

Le piégeage-photographique fait partie aujourd'hui des méthodes de monitoring standard pour le suivi des espèces aux moeurs secrètes. En particulier chez les félins tachetés comme le lynx (*Lynx lynx*), qui peuvent être identifiés individuellement, cette méthode non invasive permet d'estimer de manière fiable les effectifs dans une région donnée. En Suisse le piégeage-photographique a été testé en 1998 parallèlement à la radio-télémétrie (Laass 1999) et constitue depuis 2001 une part importante du monitoring. Le dénombrement absolu de l'ensemble des individus d'une population notamment d'espèces forestières n'est pas possible (par ex. Cederlund *et al.* 1998). La méthode de capture-recapture permet d'estimer l'abondance et la densité du lynx dans des zones dites de référence. Si chaque individu peut être reconnu grâce à des marques distinctes naturelles ou artificielles, on peut estimer la probabilité de capture et par la même le nombre d'individus présents dans la population (y compris ceux qui n'ont jamais été photographiés) au moyen de la méthode dite de capture-recapture (dans notre cas photographies répétées; Jennelle *et al.* 2002, Karanth 1995).

Un avantage essentiel de la méthode est qu'elle permet de quantifier la précision des estimations au moyen de l'erreur statistique (écart type). Le piégeage-photographique au sein des compartiments de gestion des grands carnivores poursuit plusieurs buts : il permet 1) d'estimer le nombre de lynx présents dans la zone de référence qui soit la plus représentative possible de l'ensemble du compartiment, 2) de mesurer l'évolution des effectifs de la population au cours du temps et 3) de comparer le statut des populations (densité) entre différents compartiments ou zones de référence. L'augmentation des observations fortuites de lynx ces dernières années dans l'ensemble du Jura suisse (Zimmermann *et al.* 2008) a motivé la présente étude. Le but était d'estimer les effectifs et la densité du lynx dans la zone de référence située à cheval sur le Jura vaudois et neuchâtelois au moyen de la méthode de capture-recapture

photographique. Auparavant, deux sessions menées durant les hivers 2006/07 (Zimmermann *et al.* 2007) et 2007/08 (Fattebert *et al.* 2008) dans le Nord et le Centre du Jura suisse respectivement, avaient montré que cette méthode initialement appliquée et validée dans les Alpes (Laass 1999) donnait aussi des résultats fiables pour le Jura.

2. Zone de référence

La zone de référence de 728 km² a préalablement été présentée et discutée avec les cantons de Vaud et de Neuchâtel. Elle est délimitée par les lacs de Neuchâtel et Léman et le Plateau au Sud-Est, le Val de Travers, la frontière franco-suisse et la Vallée de Joux au Nord-Ouest, la Montagne de Boudry au Nord-Est et le Col de la Givrine au Sud-Ouest (Fig. 1). A la demande du Service de la faune du canton de Vaud, quatre sites supplémentaires ont été ajoutés pour cette session hors de l'aire de référence : deux dans le Risoux et deux à la Dôle (Fig. 1).

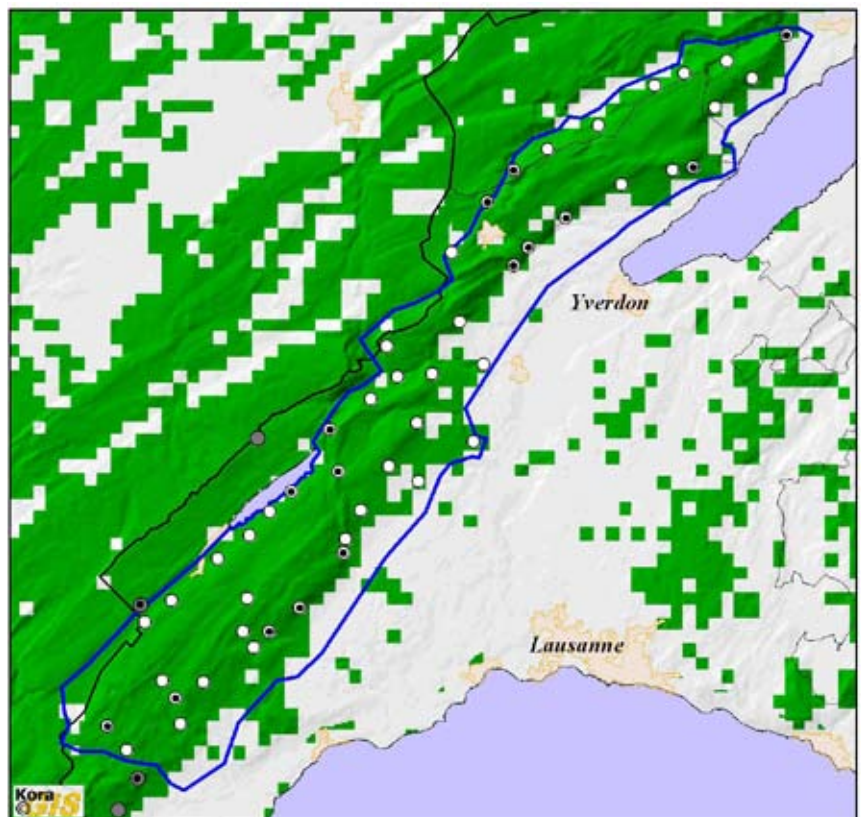


Fig. 1. Emplacement de la zone de référence de 728 km² (polygone bleu) dans le Sud du Jura. Les cercles indiquent les sites avec au moins une image (⊙) et sans (○) image de lynx. En gris les quatre sites rajoutés en dehors de la zone de référence à la demande du canton de Vaud. En vert l'habitat favorable pour le lynx défini par un modèle d'habitat.

3. Matériel et méthode

Cinquante-trois sites choisis avec les surveillants de la faune (VD 44, NE 9) ont été échantillonnés durant 60 nuits – de la nuit du 28-29 novembre 2008 à celle du 26-27 janvier 2009 – à l'aide de pièges-photographiques. Deux appareils photographiques ont été placés vis-à-vis, de chaque côté d'un chemin ou d'une route forestière (Fig. 2), de sorte à photographier au moins une fois les deux flancs de chaque lynx.



Fig. 2. Site de *Mondion* dans le Jura vaudois muni de deux pièges-photographiques placés l'un en face de l'autre afin de photographier simultanément les deux flancs des lynx. B156 et L102 y ont été photographiés durant la session.

Comme les lynx peuvent être identifiés individuellement sur de bonnes images d'après les marques uniques de leur pelage (Fig. 3), on peut estimer leur probabilité de capture, l'abondance (y compris les

individus qui n'ont pas été détectés) et la précision de l'estimation avec la méthode de capture-recapture. Les lynx juvéniles qui d'après leur âge devraient encore accompagner leur mère sont bien identifiés mais comptés comme capture de la femelle résidente (leur mère) dans le calendrier de capture. L'estimation de la taille de la population correspond donc au nombre de lynx indépendants, c'est à dire les lynx résidents et subadultes en dispersion (lynx à la recherche de leur propre territoire).

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 deux aires d'échantillonnage : (i) la zone de référence et (ii) la superficie de l'habitat favorable définie à l'aide de modèles d'habitat (Zimmermann 2004; Zimmermann et Breitenmoser 2007), au sein de la zone de référence. Le calcul de la densité par unité d'habitat favorable est nécessaire pour pouvoir comparer les effectifs de lynx entre différentes zones de références ou compartiments vu que la part des surfaces non utilisées par le lynx tels que les fonds de vallées densément peuplés et les zones de haute montagne varient d'une région à l'autre.

4. Résultats et discussion

Malgré des affichettes placées sur chaque site d'échantillonnage informant des buts de l'étude, du matériel a été volé sur un site lors de cette étude (#45 NE). En plus de cet acte de sabotage, des



Fig. 3. Les lynx peuvent être identifiés individuellement grâce à la disposition des taches sur leur pelage. Pour une identification certaine, il est indispensable de photographier simultanément au moins une fois chacun des deux flancs, puisque leurs taches diffèrent chez un même individu. Les deux photos prises à quelques fractions de secondes l'une de l'autre, montrent B155 photographié sur le site de la *Vraconnaz*.

raisons techniques et des erreurs de programmation ont ramené l'effort d'échantillonnage potentiel de 3180 à 2986 nuits-pièges effectives, soit 93,9 % du potentiel. Cette valeur se trouve dans les limites observées dans d'autres études avec les pièges-photos où nous avons des valeurs comprises entre 84,2% (Jura Nord, hiver 2006/07) et 96% (Nord-Ouest des Alpes, hiver 2007/08).

4.1 Nombre minimum de lynx

Des lynx ont été détectés à 17 sites sur 53 soit 32% des sites (Fig. 1). Les sites les plus hauts n'ont pas été évités malgré un hiver relativement rude, comme le montre la distribution altitudinale des images de lynx (Fig. 4).

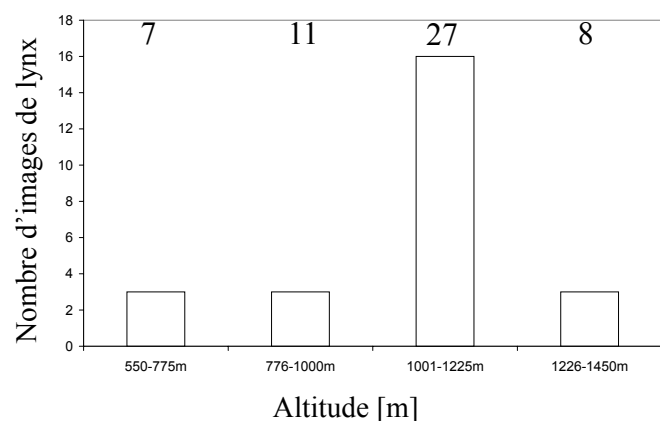


Fig. 4. Distribution altitudinale des images de lynx part rapport aux sites équipés de pièges-photos de l'ensemble de la zone d'étude (nombres indiqués au-dessus des histogrammes).

Dans l'ensemble de la zone d'étude (zone de référence plus extension), 27 détections de lynx ont été réalisées sur des passages et/ou auprès de proies au cours des deux mois d'échantillonnage correspondant à 10-11 lynx indépendants et deux juvéniles (Tab. 1). Pour deux détections, l'identification de l'individu n'était pas possible car seule une petite partie du lynx était visible sur la photographie. Trois à quatre individus indépendants (L103, L104, L105 et R97; Tab. 1; Fig. 5) ont été photographiés sur des passages dans l'extension. Sept lynx indépendants ont été détectés en tout dans la zone de référence : cinq individus sur des passages (B123, B156, B159, B157 et L102), un individu à la fois sur des passages et une proie (B155) ainsi qu'une femelle (B153) et son petit sur une proie uniquement.

Trois individus (B123, B155 et B153) étaient connus de sessions antérieures. B123 et B155 avaient été photographiés pour la première fois à la *Combe de de la Verrière* et au *Mont Aubert* respectivement, en Novembre 2006 lors de la session semi-intensive dans le canton de Vaud (Fattebert & Zimmermann 2007). B155 avait ensuite été photographié à plusieurs reprises sur des proies et des passages notamment au *Val de Ruz* lors de la session intensive dans le Centre du Jura durant l'hiver 2007/08 (Fattebert *et al.* 2008).

Tab. 1. Lynx détectés sur des passages et sur des proies dans la zone de référence et l'extension vaudoise de la zone d'étude pendant les deux mois d'échantillonnage, nombre de détections et présence dans les deux cantons.

Lynx	Nombre de détections sur passages	Nombre de détections sur une proie	Connu depuis/canton
Détectés dans l'aire de référence			
B123 (+ 1 juv) ^{a)}	5 (VD)		2006/VD
B156	5 (VD)		
B155	3 (VD/NE)	1 (NE)	2006/VD ^{c)}
B159	2 (VD)		
B157	2 (VD/NE)		
L102	2 (VD)		
B153 (+ 1 juv)		1 (NE)	2008/NE
Détecté dans l'extension VD			
L103	1 (VD)		
L104	1 (VD)		
L105 ^{b)}	1 (VD)		
R97	1 (VD)		

(a) les juvéniles ne sont pas pris en compte dans les estimations d'effectifs et de densité (Zimmermann *et al.* 2007a, b), à cause de leur forte mortalité ; (b) L105 et R97 correspondent probablement au même individu. On ne peut pas le dire avec certitude vu que les deux flancs n'ont pas été photographiés simultanément (c) B155 était alors connu sous les noms de R86 et L93, car les flancs droite et gauche n'avaient pas été photographiés simultanément jusque-là. Ce lynx avait été photographié dans le *Val de Ruz* lors de la session du Jura Centre (Fattebert *et al.* 2008).

25 km séparent les sites les plus distants où B155 a été photographié. La femelle B153 et son jeune quant à eux avaient été photographiés sur une proie dans la commune de Noiraigue située dans le *Val de Travers* une vingtaine de jours avant le début de cette session.

Les données des six lynx indépendants (B123 à L102; Tab. 1) détectés 19 fois sur les passages dans la zone de référence (polygone bleu Fig. 1) ont été utilisées pour l'estimation de l'abondance et de la densité par capture-recapture dans cette zone. Le nombre de captures a été ramené à 14 par le groupement des détections par pentades (période de cinq nuits consécutives; Fig. 6).

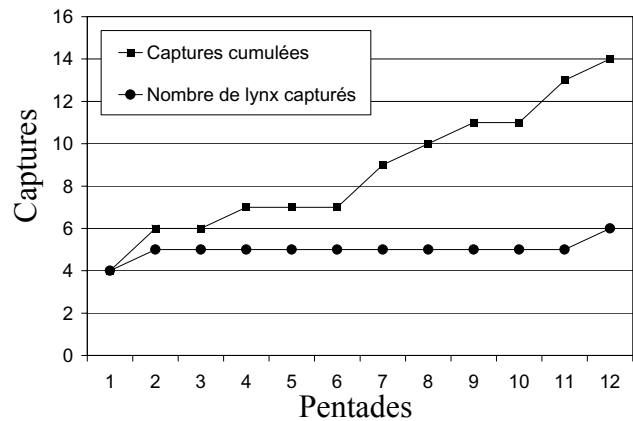


Fig. 6. Nombre de détections de lynx cumulées et nombre total d'individus différents détectés au cours des 12 pentades de capture dans la zone de référence.

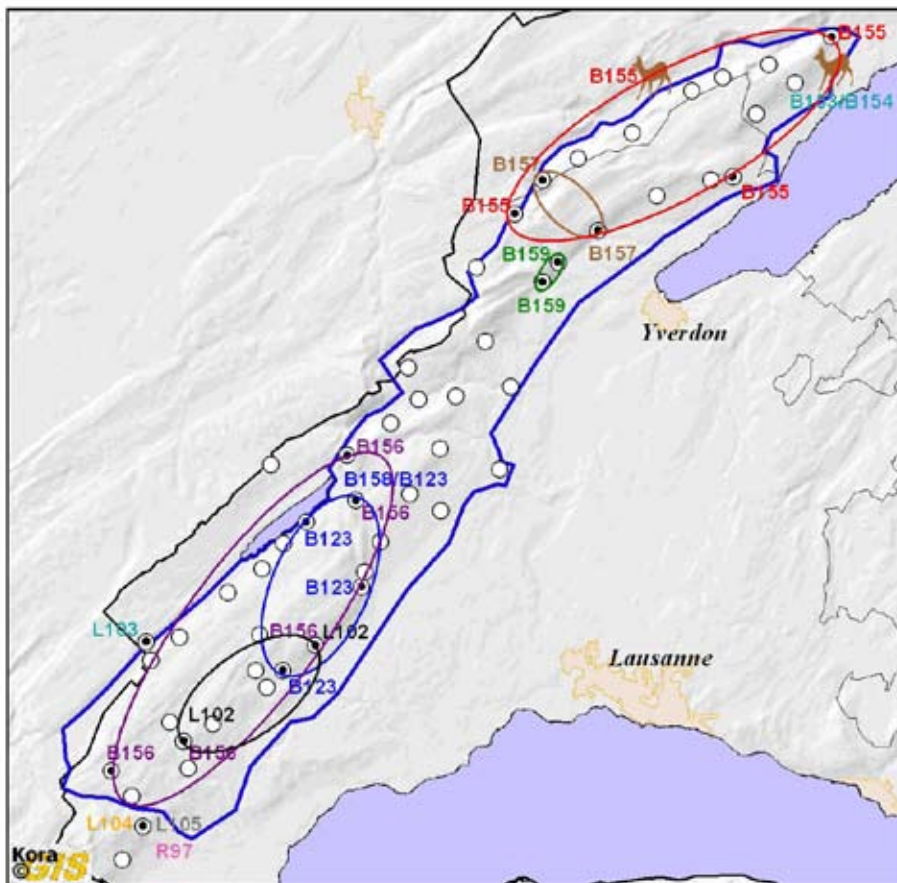


Fig. 5. Sites d'échantillonnage avec les dénominations des lynx qui ont été photographiés lors de la session intensive. Les points noirs désignent les sites avec au moins une détection de lynx. Zone de référence = ligne bleue. Chaque ellipse en couleur englobe les sites où un même individu a été photographié. Les images prises sur des proies lors de la session sont symbolisées par des chevreuils.

Si un lynx est photographié à plusieurs reprises par pentade il compte comme une seule capture. Le nombre de lynx capturés se stabilise à 5 individus après 2 pentades. Un individu supplémentaire est détecté lors de la dernière pentade (Fig. 6). Le nombre de captures cumulées augmente avec le nombre de pentades.

4.2. Estimation de l'abondance dans l'aire de référence

Sous le modèle M_h , qui permet des probabilités de capture individuelles hétérogènes, l'estimation de l'abondance par capture-recapture était de $7,0 \pm 1,4$ lynx indépendants dans la zone de référence de 728 km^2 . La présence de la femelle B153 dans la zone de référence est prise en compte par l'estimation et l'erreur statistique.

4.3. Estimation de la densité dans l'aire de référence

Dans la zone de référence, la densité était de $0,96 \pm 0,20$ lynx indépendants pour 100 km^2 . La densité dans l'habitat favorable (582 km^2) au sein de la zone de référence défini par un modèle d'habitat (Zimmermann 2004; Zimmermann & Breitenmoser 2007) était de $1,2 \pm 0,25$ lynx

indépendants pour 100 km^2 d'habitat favorable (Fig. 1).

L'estimation de la densité dans la zone de référence est similaire aux valeurs estimées par capture-recapture photographique dans le Nord ($1,13 \pm 0,39$) et le Centre du Jura suisse ($1,02 \pm 0,29$) aux printemps 2007 et 2008 respectivement, et sem-

blable aux valeurs de 0,84-0,99 lynx indépendants pour 100 km² calculées pour le Sud du Jura suisse lors d'études télémétriques dans les années nonante (Fig. 7; Breitenmoser *et al.* 1993, Breitenmoser-Würsten *et al.* 2007). La densité de lynx par habitat favorable au sein de la zone de référence du Sud du Jura ($1,2 \pm 0,25$) est similaire à celle observée dans le Centre du Jura suisse ($1,27 \pm 0,36$) durant l'hiver 2007/08. La densité mesurée dans ces deux régions est cependant plus petite celle de $1,59 \pm 0,55$ observé dans le Nord du Jura suisse durant l'hiver 2006/07. La différence n'est cependant pas significative vu la grande imprécision ($\pm 0,55$) de la mesure dans le Nord du Jura.

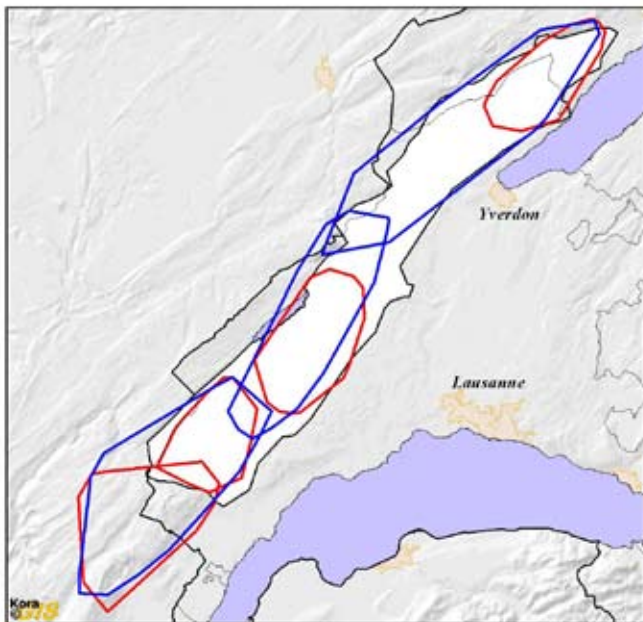


Fig. 7. Domaines vitaux des lynx résidents suivis au moyen de la radio-télémétrie sur la première chaîne du Jura suisse pour la période 1992-94 d'après Breitenmoser-Würsten *et al.* (2007). En rouge les domaines vitaux des femelles en bleu ceux des mâles. La zone de référence est délimitée par la surface blanche.

5. Références

- Breitenmoser, U., P. Kaczensky, M. Dötterer, Ch. Breitenmoser-Würsten, S. Capt, F. Bernhart, & 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 & U. Breitenmoser. 2007. Spatial and social stability of a Eurasian lynx *Lynx lynx* population: an assessment of 10 years of observation in the Jura Mountains. *Wildlife Biology* **13**: 365-380.
- Cederlund, G., J. Bergqvist, P. Kjellander, R. Gill, J.M. Gailard, B. Boisaubert, P. Ballon & P. Duncan. 1998. Managing roe deer and their impact on the environment: maximising the net benefits to society. Pages 337-371 in R. Anderson, P. Duncan & J.D.C. Linnell, editors. *The European Roe Deer: The Biology of Success*. Scandinavian University Press.
- Fattebert, J. & 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.
- Fattebert, J., S. Caviezel, B. Avgan, Ch. Breitenmoser-Würsten, U. Breitenmoser & F. Zimmermann 2007. Abondance et densité du lynx dans le Centre du Jura suisse: estimation par capture-recapture photographique dans le C-I, février-avril 2008. *KORA -Bericht* **43f**: 1-16.
- Jennelle, C. S., M. R. Runge & D. I. MacKenzie. 2002. The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals: a comment on misleading conclusions. *Animal Conservation* **5**: 199-210.
- 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. & J. D. Nichols. 1998. Estimation of tiger densities in India using photographic captures & recaptures. *Ecology* **79**: 2852-2862.
- Laass, J. 1999. Evaluation von Photofallen für ein quantitatives Monitoring einer Luchspopulation in den Schweizer Alpen. Diplomarbeit, Universität Wien, Wien.
- Zimmermann, F. 2004. Conservation of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in a fragmented landscape — habitat models, dispersal and potential distribution. Pp. 180. Université de Lausanne, Lausanne.
- Zimmermann, F. & U. Breitenmoser. 2007. Potential distribution and population size of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the Jura Mountains and possible corridors to adjacent ranges. *Wildlife Biology* **13**: 406-416.
- Zimmermann, F., J. Fattebert, Ch. Breitenmoser-Würsten &

- U. Breitenmoser. 2007a. Abondance et densité du lynx: estimation par capture-recapture photographique dans le Nord du Jura suisse KORA-Bericht **37f**: 1-24.
- Zimmermann, F., A. Molinari-Jobin, Ch. Breitenmoser-Würsten & U. Breitenmoser. 2007b. Estimation of Lynx (*Lynx lynx*) Densities in the Swiss Alps Using Photographic Capture-Recapture Sampling. P. 58 in Hughes, J. & R. Mercer (compilers). 2007. Programme and Abstracts, Felid Biology and Conservation Conference, 17-20 September 2007, Oxford, UK.
- Zimmermann, F., J.-M. Weber, J. Fattebert, A. Ryser, S. Caviezel, Ch. Hebeisen, Ch. Breitenmoser-Würsten, A. Molinari-Jobin, S. Capt & U. Breitenmoser. 2008. Monitoring der Raubtiere in der Schweiz 2007. KORA Bericht **45**: 1-50.

Annexe technique : description détaillée des méthodes

La détection des espèces discrètes et cryptiques au moyen de pièges-photographiques occupe une place de plus en plus centrale dans le monitoring. Cette méthode non invasive ne permet pas seulement de répertorier les espèces mais également d'estimer la taille de la population au moyen de la méthode de capture-recapture pour les espèces reconnaissables grâce à des marques individuelles. Le piégeage-photographique est en constant développement aussi bien pour les aspects pratiques que théoriques. Pratiquement chaque année, des appareils plus performants ainsi que de nouveaux programmes d'analyse font leur apparition. En outre, la mise en pratique de la théorie, en particulier par rapport aux espèces cibles et au type de milieux, est encore en cours de développement.

Aire échantillonnée

Une question encore ouverte concerne le choix correct de l'aire d'échantillonnage pour le calcul de la densité (nombre d'individus par unité de surface; chez le lynx la plupart du temps 100 km²).

Méthode de la zone tampon. La méthode de la zone tampon décrite dans la littérature scientifique est l'une des plus communément utilisée pour l'estimation de la densité de populations animales territoriales. Cette méthode tient compte du fait que les sites des pièges-photos placés en périphérie de la zone d'étude (ceux situés au bord du polygone convexe, Fig. 1) ne correspondent pas forcément aux limites des territoires des individus de la population vivants au bord de la zone d'étude – une partie du territoire de ces derniers pouvant très bien se trouver en dehors de la zone d'étude. 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). La moyenne de ces distances représente le diamètre moyen d'un territoire individuel et la zone tampon de ce fait au rayon ou, en d'autres termes, à l'extension probable des domaines vitaux des lynx au-delà de la zone échantillonnées.

L'utilisation de la méthode de la zone tampon dans un paysage fortement structuré par de hautes chaînes de montagnes et des vallées densément peuplées est moins appropriée que dans un paysage et un habitat uniforme, car dans notre cas elle inclut très souvent

des régions séparées par des barrières infranchissables. De plus les déplacements des lynx et par là même les distances maximales entre les sites où un même individu a été photographié – spécialement à la fin de l'hiver – ne sont pas seulement fixées par la taille du territoire mais également par le rut durant lequel certains individus effectuent des excursions en dehors de leur territoire. Ceci influence la taille de la zone tampon et peut donner lieu à de fortes variations d'une session à l'autre, d'autant plus que le calcul de la distance maximale repose sur un petit nombre de lynx. La période de rut peut cependant aussi conduire à une surestimation de la densité lorsque des lynx résidents vivants en dehors de la zone d'étude font des excursions dans la zone de référence durant la session.

Zone de référence. Ces dernières années en Suisse nous avons progressivement commencé à délimiter dans chaque compartiment de gestion des grands carnivores une à plusieurs zones de références avec des limites fixes comme aire d'échantillonnage. 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 spatial de l'espèce. Les lynx établissent les limites de leur territoire souvent le long de barrières naturelles et artificielles tels les fonds de vallées densément peuplées ou le long de structures marquantes du relief. La zone de référence dans le Sud du Jura suisse comprend 98 quadrats de 2,7 km de long chacun (Fig. 1). Un site optimal a été choisi dans chaque deuxième quadrat. Si pour une raison ou une autre (accessibilité, passage peu propice) il n'était pas possible de trouver un site favorable, le site était placé à l'endroit le plus favorable dans l'un des quadrats adjacent. L'aire de référence comprend ainsi 49 sites (Fig. 1).

Habitat favorable. Les zones densément peuplées, les zones d'agriculture intensive, les lacs et les grands cours d'eau ainsi que la zone alpine et nivale ne sont jamais ou rarement visitées par le lynx (Zimmermann 2004; Zimmermann & Breitenmoser 2002). La proportion des superficies non favorable pour le lynx est cependant différente d'un compartiment à l'autre et notamment dans celui du Jura – ou les zones alpines manquent – autre que dans ceux des Alpes. La densité absolue n'est pas idéale si l'on veut comparer la densité entre zones de référence. C'est pourquoi nous avons aussi calculé la

densité par unité d'habitat favorable défini par un modèle d'habitat d'après Zimmermann (2004) pour la Suisse et Zimmermann & Breitenmoser (2007) pour le Jura français. Les modèles d'habitat calibrés avec plus de 1000 localisations issues de la radio-télémetrie montre que le lynx sélectionne avant tout la forêt, la végétation buissonnante mais aussi des zones plus ouvertes (par ex. des prairies et des pâturages) à proximité de la forêt.

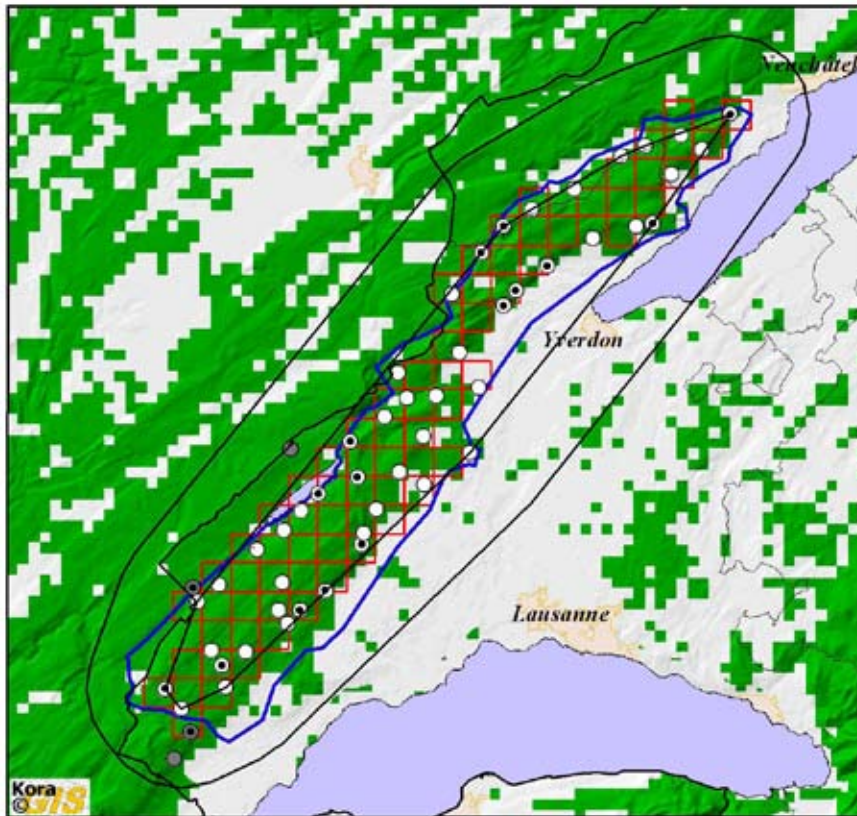


Fig. 1. La ligne bleu délimite la zone de référence. Les quadrats rouge marquent la grille d'échantillonnage de 2,7 x 2,7 km dans la zone de référence. Les cercles indiquent les sites avec au moins une image (⊙) et sans (○) image de lynx. En gris les quatre sites rajoutés en dehors de la zone de référence à la demande du canton de Vaud. En vert l'habitat favorable pour le lynx défini par un modèle d'habitat. L'aire couverte par les pièges-photos est délimitée par le polygone convexe interne. L'aire effectivement échantillonnée est définie pour le polygone externe (polygone convexe interne plus zone tampon de 7,4 km). Les cantons sont délimités par des traits fins noir.

Piégeage-photographique intensif

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 à l'aide de deux pièges-photographiques placés face à face, de manière à photographier simultanément au moins une fois les deux flancs de chaque lynx pour permettre une identification individuelle certaine (Zimmermann *et al.* 2007 a, b). 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 piles, changer les films si nécessaire et remplacer le matériel en cas de panne ou de déprédation.

Nombre minimum de lynx

Le nombre d'individus indépendants différents 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 télémetriques. Puisque 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.* 2007a, b), d'où l'utilisation de pièges-photographiques placés face à face.

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

Le dénombrement de tous les individus d'une population n'est pas possible. Le taux de détection varie d'une espèce à l'autre notamment en fonction du milieu et de ses moeurs. Par exemple chez le chevreuil seul 30-50% de l'effectif présent est détecté lors des comptages (p. ex. Andersen, 1953; Cederlund *et al.* 1998). Les méthodes de capture-recapture ont été développées pour

palier ce problème. 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 (y compris les individus qui n'ont jamais été détectés) 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 nouveaux algorithmes sont basés sur ce principe de base, mais tiennent compte du fait que la probabilité de capture puisse varier individuellement ou temporellement.

La densité minimale de sites d'échantillonnage devrait être d'au moins un site par plus petit domaine vital connu pour l'espèce ciblée afin qu'aucun individu n'ait une probabilité de capture nulle dans la zone échantillonnée (Karanth & Nichols 1998, 2002).

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 en 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 du nombre d'individus

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 (« 1 ») au moins une fois 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 CLOSE-TEST (Stanley & Richards 2004). Le programme MARK sélectionne le modèle qui s'ajuste le mieux au jeu de données 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. M_h : la probabilité de capture varie d'un individu à l'autre mais pas au cours du temps.

Dans le cadre du monitoring avec les pièges-photographiques nous estimons le nombre de lynx indépendants dans la zone de référence ou aire d'échantillonnage. Les lynx indépendants comprennent les lynx résidents (individus territoriaux occupant une zone fixe) mâles et femelles adultes, ainsi que les animaux qui n'occupent pas encore de zone fixe bien qu'étant indépendants (généralement il s'agit d'individus subadultes dans leur deuxième année de leur vie qui sont encore en dispersion). En règle générale, il n'est pas possible de distinguer les mâles des femelles ni les adultes des subadultes sur les images. La seule catégorie que l'on peut effectivement différencier sont les lynx juvéniles. Ceux-ci ne sont cependant pas pris en compte dans les estimations d'effectifs et de densité, car seule une faible proportion d'entre eux est photographiée lors d'une session. De plus leur nombre varie à cause de leur forte mortalité durant la première année de leur vie. Une image d'un lynx juvénile est cependant comptée comme une capture de leur mère respective – c'est à dire de la femelle résidente – dans le calendrier de capture, car à ce moment de l'année les lynx juvéniles ne sont jamais très loin de leur mère lorsqu'ils se déplacent en file indienne le long des passages.

La densité des lynx indépendants a été calculée en divisant l'estimation de l'abondance par l'aire échantillonnée (\hat{A}). La probabilité de capture individuelle moyenne par pentade est de 0,19 pour le modèle M_0 et de 0,17 pour M_h . Les modèles qui s'ajustent le mieux à notre jeu de données sont les modèles M_0 et M_h qui sont pratiquement ex equo. Le nombre de lynx estimé est égal à $6 \pm 0,8$ selon M_0 et à $7 \pm 1,4$ selon M_h . Dans le premier cas 100%

des lynx estimés ont réellement été photographiés et 85,7% dans le second. L'estimation de l'abondance sous M_h plus robuste au cas où les assumptions sous M_0 n'étaient pas remplies a été utilisée par la suite pour le calcul de la densité. L'estimation du nombre d'individus dans le Sud du Jura ainsi que la densité dans la zone de référence et dans l'habitat favorable au sein de la zone de référence sont donnés dans la première partie de ce rapport.

Estimation de la densité avec la zone tampon

La distance maximale moyenne est égale à 14,8 km et la zone tampon à 7,4 km. Elles ont été calculées à l'aide des distances maximales entre les sites de piégeage de cinq individus photographiés au moins sur deux sites différents. La surface d'échantillonnage y compris la zone tampon possède une superficie de 1954 km² (Fig. 1). La densité dans le polygone plus la zone tampon était de $0,36 \pm 0,08$ lynx indépendants pour 100 km². La densité au Sud du Jura est comparable à celle observée dans le Centre du Jura durant l'hiver 2006/07 ($0,43 \pm 0,13$) mais beaucoup plus faible que celle mesurée dans le Nord du Jura durant l'hiver 2007/08 ($0,8 \pm 0,28$).

Références

- Andersen, J. 1953. Analysis of the Danish roe deer population based on the extermination of the total stock. *Danish Review of Game Biology* **2**: 127-155.
- Cederlund, G., J. Bergqvist, P. Kjellander, R. Gill, J.M. Gailard, B. Boisaubert, P. Ballon & P. Duncan. 1998. Managing roe deer and their impact on the environment: maximising the net benefits to society. Pages 337-371 in R. Anderson, P. Duncan & J.D.C. Linnell, editors. *The European Roe Deer: The Biology of Success*. Scandinavian University Press.
- Jennelle, C. S., M. R. Runge & D. I. MacKenzie 2002. The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals: a comment on misleading conclusions. *Animal Conservation* **5**: 199-120.
- 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. & J. D. Nichols. 1998. Estimation of tiger densities in India using photographic captures & recaptures. *Ecology* **79**: 2852-2862.
- Karanth, K. U. & J. D. Nichols 2002. *Monitoring tigers and their prey: a manual for researchers, managers and conservationists in tropical Asia*. Centre for Wildlife Studies, Bangalore.
- Laass, J. 1999. Evaluation von Photofallen für ein quantitatives Monitoring einer Luchspopulation in den Schweizer Alpen. Diplomarbeit, Universität Wien, Wien.
- Otis, D. L., K. P. Burnham, G. C. White & D. R. Anderson. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife Monographs* **62**: 1-135.
- Stanley, T. R. & 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
- White, G. C. & 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. Pp. 180. Université de Lausanne, Lausanne.
- Zimmermann, F. & 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. Haufler, M. Morrison, M. Raphael, and B. Wal, editors. *Predicting species occurrences: Issue of accuracy and scale*. Island Press, Covelo.
- Zimmermann, F. & U. Breitenmoser. 2007. Potential distribution and population size of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the Jura Mountains and possible corridors to adjacent ranges. *Wildlife Biology* **13**: 406-416.
- Zimmermann, F., J.-M. Weber, A. Molinari-Jobin, A. Ryser, K. von wattenwyl, A. Siegenthaler, P. Molinari, C. Angst, C. Breitenmoser-Würsten, S. Capt & U. Breitenmoser. 2006. Monitoring der Raubtiere in der Schweiz 2005. KORA-Bericht **35**: 1-64.
- Zimmermann, F., J. Fattebert, Ch. Breitenmoser-Würsten & U. Breitenmoser. 2007a. Abondance et densité du lynx: estimation par capture-recapture photographique dans le Nord du Jura suisse KORA Bericht **37f**: 1-24.
- Zimmermann, F., A. Molinari-Jobin, Ch. Breitenmoser-Würsten & U. Breitenmoser. 2007b. Estimation of Lynx (*Lynx lynx*) Densities in the Swiss Alps Using Photographic Capture-Recapture Sampling. P. 58 in Hughes, J. & R. Mercer (compilers). 2007. Programme and Abstracts, Felid Biology and Conservation Conference, 17-20 September 2007, Oxford, UK.