

Monitoring du lynx dans le canton de Fribourg

—
Hiver 2023-2024



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Service des forêts et de la nature SFN
Amt für Wald und Natur WNA

Impressum

Direction des institutions, de l'agriculture et des forêts DIAF

Novembre 2024

Editeur

Service des forêts et de la nature **SFN**

Rte du Mont Carmel 5

Case postale 155

1762 Givisiez

Auteurs

Elias Pesenti, responsable du domaine faune terrestre et inspecteur cantonal de la chasse, **SFN**

Julien Bulliard, collaborateur technique, **SFN**

Jelk Martin, garde-faune, **SFN**

Jérémy Clerc, garde-faune, **SFN**

José Genoud, garde-faune, **SFN**

Simon Jaffrédou, garde-faune, **SFN**

Pierre Jordan, garde-faune, **SFN**

Fabrice Maradan, garde-faune, **SFN**

Pascal Riedo, garde-faune, **SFN**

Patrick Romanens, garde-faune, **SFN**

Valérie Zobot, secrétaire, **SFN**

Andreas Binz, chef de section faune, chasse et pêche, chef de service adjoint, **SFN**

Photo de couverture

B1028, site FR_15-02

Citation proposée

Pesenti, E., Bulliard, J., Martin, J., Clerc, J., Genoud, J., Jaffrédou, S., Jordan, P., Maradan, M., Riedo, P., Romanens, P., Zobot, V. & Binz, A. (2024). Monitoring du lynx dans le canton de Fribourg - Hiver 2023-2024. Direction des institutions, de l'agriculture et des forêts. Service des forêts et de la nature. Fribourg. 44 p.

Remerciements

Nous remercions vivement tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont aidés et soutenus lors de la session de monitoring.

Nous remercions en particulier:

- les «naturalistes» de la Gruyère pour les contrôles effectués;
 - Ursula Sterrer (KORA) pour le soutien professionnel.
-

Copyright

Service des forêts et de la nature **SFN**

Sommaire

1	Résumé	4
2	Introduction	5
	Grands carnivores	5
	Capture-recapture photographique	5
	Piégeage photographique	6
	Dérangements du piégeage photographique	8
	But du rapport	8
3	Matériel et méthodes	10
	Aire d'étude	10
	Autres espèces	10
	Plan d'échantillonnage	12
	Piégeage photographique	13
	Capture-recapture	14
	Analyses non spatiales	14
	Analyses spatiales	14
	Turnover	15
4	Résultats	16
	Piégeage photographique	16
	Turnover	20
	Analyses non spatiales	20
	Analyses spatiales	21
	Comparaison des densités	21
5	Discussion	24
	Piégeage photographique	24
	Turnover	24
	Abondance	25
	Estimation de la densité	25
	Comparaison des densités	25
	Conclusions	26
6	Bibliographie	27

ANNEXES

Annexe 1: Détection d'autres mammifères	32
1.1 Lynx (<i>Lynx lynx</i>)	32
1.2 Cerf (<i>Cervus elaphus</i>)	33
1.3 Chevreuil (<i>Capreolus capreolus</i>)	34
1.4 Chamois (<i>Rupicapra rupicapra</i>)	35
1.5 Sanglier (<i>Sus scrofa</i>)	36
1.6 Lièvre brun (<i>Lepus europaeus</i>)	37
1.7 Lièvre variable (<i>Lepus timidus</i>)	38
1.8 Blaireau (<i>Meles meles</i>)	39
1.9 Fouine (<i>Martes foina</i>)	40
1.10 Martre (<i>Martes martes</i>)	41
1.11 Renard (<i>Vulpes vulpes</i>)	42
1.12 Chat domestique (<i>Felis catus</i>)	43

1. Résumé

Résumé

Afin de mieux connaître la situation du Lynx Eurasien (*Lynx lynx*) dans l'ensemble des Préalpes fribourgeoises, un suivi cantonal utilisant la méthode de capture-recapture photographique a été organisé pour la quatrième fois au sein de cette région (premier monitoring en 2015-2016, deuxième en 2017-2018, troisième en 2020-2021). Ce suivi, qui ne peut pas être utilisé pour des mesures de gestion de lynx (tir de régulation), donne des informations très importantes sur l'évolution, la répartition et l'utilisation spatiale de la population de lynx sur le territoire fribourgeois. Au total, 32 sites (64 pièges photographiques) ont été échantillonnés durant 60 nuits, soit du 25 novembre 2023 au 23 janvier 2024 (effort d'échantillonnage de 1920 nuits). Les pièges photographiques ont fonctionné pendant 1912 des 1920 nuits potentielles (99.58 %). Au total, 171 photos de lynx correspondant à 19 individus (9 mâles, 7 femelles et 3 de sexe inconnu) ont été détectées sur 24 sites. L'estimation de l'abondance (intervalle de confiance de 95 %) sous le modèle M_{th} (analyses non spatiales) était de 20 (19 – 26) lynx indépendants, ce qui correspond à une densité de 2.33 (1.95 – 2.71) lynx indépendants pour 100 km² et de 2.79 (2.35 – 3.23) pour 100 km² d'habitat favorable. Les modèles spatiaux sous le modèle M_0 ont estimé les densités (intervalle de confiance 95 %) à 1.98 (1.19 – 3.17) lynx indépendants pour 100 km² et à 2.64 (1.33 – 3.91) pour 100 km² d'habitat favorable. En comparant les résultats de ce suivi avec ceux calculés durant les trois derniers monitorings, il s'avère qu'au niveau statistique, les densités calculées en 2024 ne diffèrent pas significativement, dans tous les cas de figure, de celles calculées dans les autres monitorings.

Zusammenfassung

Um die Situation des Eurasischen Luchses (*Lynx lynx*) im gesamten Freiburger Voralpengebiet besser zu kennen, wurde zum dritten Mal innerhalb dieser Region ein Monitoring mithilfe der fotografischen Fang-Wiederfang-Methode durchgeführt (erstes Monitoring 2015-2016, zweites 2017-2018, drittes 2020-2021). Dieses Monitoring wird nicht zum Luchsmanagement (Regulationsjagd) verwendet, sondern liefert wichtige Informationen zur Entwicklung, Verbreitung und räumlichen Nutzung des Luchsbestandes auf Freiburger Gebiet. Insgesamt wurden an 32 Standorten (64 Fotofallen) während 60 Nächten Untersuchungen durchgeführt, d. h. vom 25. November 2023 bis am 23. Januar 2024 (Untersuchungsaufwand von 1920 Nächten). Die Fotofallen funktionierten in 1912 von 1920 theoretisch möglichen Fangnächten (99.58 %). Insgesamt wurden 171 Fotos von 19 verschiedenen Individuen (9 Männchen, 7 Weibchen und 3 Tiere unbekanntes Geschlechts) an 24 Standorten erfasst. Die Schätzung der Abundanz (95 % Vertrauensintervall) gemäss dem Modell M_0 (nicht räumliche Analysen) ergab 20 (19 – 26) unabhängige Luchse, was einer Dichte von 2.33 (1.95 – 2.71) selbständigen Luchsen pro 100 km² resp. von 2.79 (2.35 – 3.23) pro 100 km² geeigneten Habitats entspricht. Die räumlichen Modelle nach dem Modell M_0 haben geschätzte Dichten (95 % Vertrauensintervall) von 1.98 (1.19 – 3.17) selbständigen Luchsen pro 100 km² und von 2.64 (1.33 – 3.91) pro 100 km² geeigneten Habitats ergeben. Vergleicht man die Ergebnisse dieses Monitorings mit denjenigen der letzten beiden, so zeigt sich, dass sich die 2024 berechneten Dichten statistisch gesehen nicht signifikant von den bei diesen drei früheren Monitorings berechneten unterscheiden.

2. Introduction

Grands carnivores

L'importance de la présence des grands prédateurs terrestres dans tous les écosystèmes du monde n'est plus à démontrer (Estes et al, 2011 ; Ripple et al, 2014, Hoeks et al. 2020). Ces derniers n'ont pas uniquement une influence directe sur leurs proies de prédilection mais peuvent avoir une influence indirecte sur leurs habitats et d'autres espèces (faune et flore), grâce à des effets dits « en cascade » (Ritchie et al, 2012). Ce phénomène est communément désigné sous le terme de cascade trophique (Svenning et al. 2016, Wolf et Ripple, 2018, Hoeks et al. 2020). La présence, la conservation et, dans certains cas, le suivi des populations de grands prédateurs sont très souvent conflictuels, surtout dans les régions occupées par l'homme (Meriggi et Lovari, 1996 ; Polisar, 2000 ; Karanth et Maduhsudan, 2002 ; Eeden et al, 2018 ; Pesenti, E. 2023). Une régulation systématique des grands prédateurs fondée uniquement sur les croyances et non pas les connaissances scientifiques pourrait entraîner des répercussions dramatiques sur un écosystème entier et n'est donc pas souhaitable (Bagchi et Mishra, 2006).

Plusieurs études ont démontré que la coexistence entre les grands prédateurs et les humains est tout à fait possible (Chapron et al, 2014 ; Athreya et al, 2013 ; Glikman et al. 2023). Pour appliquer une gestion appropriée des populations de grands prédateurs, tout comme pour le reste de la faune sauvage, il est crucial de disposer d'un maximum d'informations concernant la taille de la population, la répartition spatiale des individus ainsi que leur évolution au cours du temps (Karanth et al, 1999). Si ces informations sont récoltées de manière précise et standardisée, elles peuvent être utilisées pour améliorer la conservation des espèces et définir des mesures plus efficaces pour atteindre les objectifs de gestion (OFEV, 2010, Pesenti et al, 2018a). Plusieurs variables sont à prendre en considération pour une gestion de la faune adaptée et durable. Même si ce n'est pas la seule, une des variables fondamentales lorsque l'on parle de gestion de la faune sauvage, est celle de connaître la taille et la tendance d'une population donnée (Williams et al, 2002).

Capture-recapture photographique

Sachant que le recensement de l'ensemble d'une population (valeur absolue), notamment des espèces forestières, n'est pas possible (Cederlund et al, 1998), il est primordial d'utiliser des méthodes qui permettent d'en estimer la valeur (MacKenzie et al, 2006). Nombreuses sont les méthodes qui permettent d'estimer la probabilité de capture ainsi que les effectifs d'une population, surtout si cette dernière est composée d'espèces identifiables par des marques naturelles ou artificielles. L'une de ces méthodes, dite méthode de capture-recapture photographique, peut être utilisée chez le Lynx Eurasien (*Lynx lynx*). Ce procédé, considéré comme non invasif (pas de capture physique de l'animal), ne nécessite pas une présence continue dans le terrain. Ainsi, elle réduit non seulement le temps consacré sur le terrain par les collaborateurs du Service des forêts et de la nature (SFN), mais il limite considérablement les dérangements de la faune sauvage (Henschel & Ray, 2003 ; Meek et al, 2014 ; Silveira et al, 2003) respectant ainsi les dispositions légales en vigueur (art. 7 OProt, RSF 922.13).

L'un des principaux objectifs de la méthode de capture-recapture photographique est de photographier le plus grand nombre possible d'individus et d'obtenir un maximum de clichés de chacun d'entre eux (Karanth & Nichols, 2002, O'Connell et al, 2011).

Piégeage photographique

Dans le monde entier, le piégeage photographique est une méthode scientifique utilisée notamment dans le cadre d'études concernant le comportement, l'écologie et la conservation des espèces (O'Connell et al, 2011 Hervias et al, 2012 ; Oppel et al, 2014 ; Coates et al. 2010). De manière générale, cette technique est principalement employée pour les mammifères de moyenne-grande taille, tels que l'éléphant de forêt *Loxodonta cyclotis* (Head et al, 2013), le coyote *Canis latrans* (Larrucea et al, 2007), le renard *Vulpes vulpes* (Sarmiento et al, 2009) ainsi que le loup *Canis lupus* (Mattioli et al, 2018).

L'utilisation du piégeage photographique pour des félins est également courante dans le monde entier, par exemple chez le tigre *Panthera tigris* (Karanth et al, 2006), le jaguar *Panthera onca* (Silver et al, 2004), le puma *Puma concolor* (Kelly et al, 2008) et chez le léopard des neiges *Panthera uncia* (Kojima et al, 2020). En Suisse le piégeage photographique est utilisé dans différents domaines et, depuis plusieurs années, cette méthode est employée surtout pour le suivi des populations de lynx (p. ex. Laass, 2002 ; Ryser et al, 2005 ; Zimmermann et al, 2007). Ces suivis sont effectués dans des zones délimitées, selon les compartiments et sous-compartiments de gestion des grands prédateurs (Plan Lynx, 2016).

Le territoire du canton de Fribourg est inclus dans le compartiment I (sous-compartiment Ia) et le compartiment IV (sous-compartiments IVa et IVc). En ce qui concerne le suivi du lynx, les zones retenues (aires de référence, figure 1) pour ces deux sous-compartiments ne couvrent qu'une partie du canton de Fribourg (Plan Lynx, 2016). Par conséquent, une estimation de la densité dans cette zone ne peut pas être représentative de l'ensemble du canton, car elle est limitée à une petite portion des Préalpes fribourgeoises. Pour pallier ce manque et obtenir un maximum d'informations, le SFN a mis en place un suivi cantonal, mené simultanément avec le suivi national, couvrant l'ensemble des Préalpes fribourgeoises par la création d'une nouvelle zone (extension fribourgeoise EFR, fig. 1). La plus grande partie des indices de présence de lynx récoltés annuellement par le SFN, grâce à un monitoring occasionnel, se situent dans cette surface. Le premier suivi cantonal du lynx, à l'aide de la méthode de capture-recapture photographique, a été mené durant l'hiver 2015-2016 (Pesenti et al, 2017). Deux ans plus tard, pendant l'hiver 2017-2018, un deuxième suivi a été effectué en utilisant la même méthode d'échantillonnage et d'analyse (Pesenti et al., 2018b), suivi d'un troisième pendant l'hiver 2020-2021 (Pesenti et al., 2021).

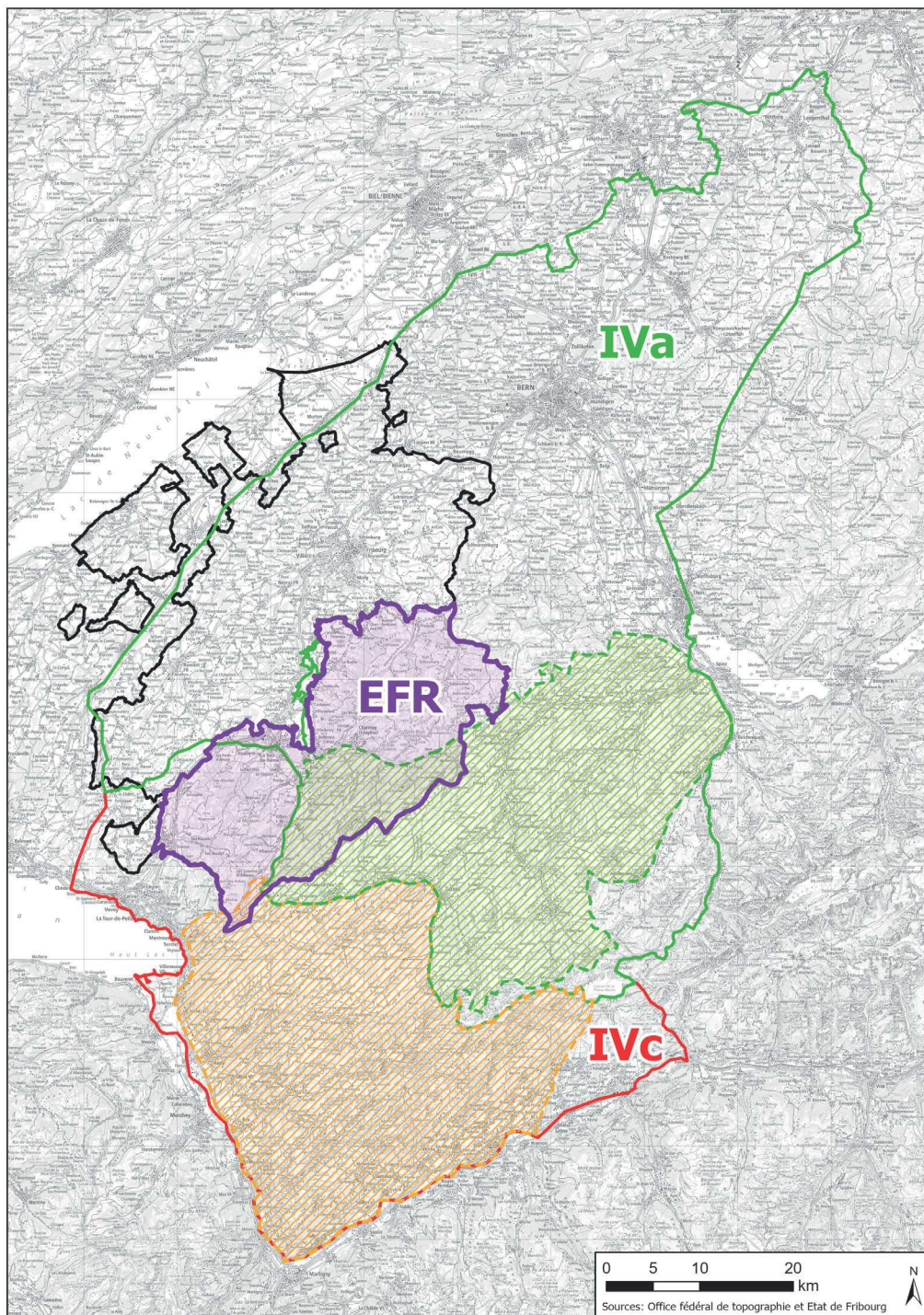


Figure 1

Périmètres des sous-compartiments IVa et IVc (en vert et en rouge) ainsi que les surfaces des deux aires d'études utilisées dans les suivis nationaux (en hachuré). En violet, la surface de l'extension fribourgeoise (EFR).

Dérangements du piégeage photographique

L'utilisation de pièges photographiques, bien qu'elle soit moins intrusive que la capture physique des animaux, peut néanmoins représenter une source de perturbation pour la faune sauvage. Il est donc essentiel de minimiser autant que possible le dérangement occasionné et de bien connaître le cadre légal qui régit cette pratique.

Conformément à l'article 7 al. 4 de la loi fédérale sur la chasse et la protection des mammifères et oiseaux sauvages (LChP, RS 922.1), les cantons ont l'obligation d'assurer une protection suffisante des mammifères et des oiseaux sauvages contre les dérangements. Cette obligation a été mise en œuvre par le canton aux articles 9 et suivants de la loi du 14 novembre 1996 sur la chasse et la protection des mammifères, des oiseaux sauvages et de leurs biotopes (LCha, RSF 922.1), ainsi que par l'ordonnance concernant la protection des mammifères, des oiseaux sauvages et de leurs biotopes (OProt, RSF 922.13). L'article 9 LCha instaure un devoir de protection stipulant que dans l'exercice de leurs activités, l'Etat, les communes et les autres corporations de droit public ainsi que les particuliers doivent veiller à ne pas porter atteinte aux animaux sauvages et à leurs biotopes. L'article 7 OProt stipule qu'il est interdit de déranger les animaux sauvages volontairement et de quelque manière que ce soit (al 1).

Il est important de souligner que l'utilisation de pièges-photographique est un réel dérangement pour la faune sauvage même durant la journée (p. ex. Meek et al. 2014). Pour cette raison il faut en limiter leur utilisation à des projets, surtout scientifiques (comme dans le cas de cette étude) et éducatifs, qui peuvent amener des réponses précises à des questions claires, surtout en termes de gestion durable de la faune (art. 8 al. 3 OProt).

But du rapport

Dans le canton de Fribourg, le SFN s'occupe, entre autres, de la gestion de la faune sauvage. Cette dernière, discipline complexe du domaine environnemental, inclut de nombreux autres domaines : la conservation des espèces, la sylviculture, la chasse, la protection des habitats, l'agriculture, la biologie de la faune, l'écologie des espèces, la médecine vétérinaire, etc. et se situe à l'intersection entre l'homme, l'habitat et la faune. Afin de trouver un bon équilibre entre ces trois aspects, la gestion de la faune effectuée par le SFN vise deux buts principaux :

1. **durabilité écologique** : préserver et promouvoir la durabilité et la biodiversité de la faune sauvage indigène ;
2. **durabilité économique** : limiter les conflits (p. ex. forêt-faune, agriculture-faune, etc.).

Afin de pouvoir réfléchir en termes de « durabilité », plusieurs données indispensables concernant les populations animales doivent être analysées et prises en considération. Pour la quatrième fois, la présente étude évalue la situation du lynx dans l'ensemble des Préalpes fribourgeoises (densité, répartition spatiale, etc.) grâce à l'utilisation de la méthode dite de capture-recapture photographique (analyses spatiales et non-spatiales). Les données seront comparées aux résultats obtenus lors des trois premiers monitorings du lynx dans l'EFR (Pesenti et al, 2017 ; Pesenti et al, 2018b ; Pesenti et al. 2021).

En application des dispositions légales en vigueur (art. 9 de la Convention de Berne, art. 12 LChP et art. 4 OChP), les résultats de ce rapport ne seront pas, sans analyse complémentaire intercantonale, utilisables pour une éventuelle demande de régulation du lynx dans le canton de Fribourg, car l'aire d'étude diffère de celle mentionnée dans les directives fédérales (Plan Lynx, 2016). De plus, la densité n'est qu'une des nombreuses conditions à respecter pour un éventuel tir de régulation (Pesenti et al, 2018a).

3. Matériel et méthodes

Aire d'étude

L'extension fribourgeoise (EFR) a été créée afin de pouvoir effectuer le suivi du lynx sur la totalité du territoire des Préalpes fribourgeoises (fig. 1). L'EFR a été définie sur la base des périmètres biogéographiques suisses issus d'une analyse statistique de relevés cartographiques de la flore suisse, ainsi que de données faunistiques du Centre national de données et d'informations sur la faune de Suisse. L'EFR est délimitée dans la partie sud et sud-est par les limites cantonales de Berne et de Vaud et dans la partie nord, par les limites biogéographiques de Suisse (« Préalpes »). L'EFR mesure 175.34 km de périmètre et a une surface de 616.2 km². Les 68.9 % de cette dernière se trouvent dans le district de la Gruyère, 14.6 % dans le district de la Singine, 12.5 % dans le district de la Veveyse et 4 % dans le district de la Sarine. L'EFR comprend la *vallée de la Trême*, la *vallée de l'Intyamon*, la *vallée de la Jogne*, le *Burgerwald*, le *Plasselbschlund*, le *Seeschlund* et le *Muscherenschlund* (fig. 2). Le point le plus bas de l'aire d'étude se situe à 599 m (La Sarine, Treyvaux) tandis que le point le plus élevé se situe à 2389 m (Vanil Noir, Grandvillard). La forêt, lors de la période du monitoring, couvrait 37.0 % (228.0 km²) de l'EFR. Elle est composée de 57.7 % d'épicéas, 11.5 % de sapins, 0.5 % de mélèzes, 0.3 % de pins, 0.2 % d'autres résineux, 14.2 % de hêtres, 0.1 % de chênes, 5.4 % d'érables, 3.4 % de frênes et 6.7 % d'autres feuillus.

Autres espèces

Le piégeage photographique au sein de l'EFR pour le lynx permet de collectionner des informations importantes sur la répartition spatiale d'autres espèces (annexe 1), en particulier des moyens-grands mammifères, par exemple pour 2024 :

- Famille des Cervidae : le cerf (*Cervus elaphus*),
le chevreuil (*Capreolus capreolus*) ;
- Famille des Bovidae : le chamois (*Rupicapra rupicapra*) ;
- Famille des Suidae : le sanglier (*Sus scrofa*) ;
- Famille des Leporidae : le lièvre brun (*Lepus europaeus*),
le lièvre variable (*Lepus timidus*) ;
- Famille des Mustelidae : le blaireau (*Meles meles*),
la fouine (*Martes foina*),
le martre (*Martes martes*) ;
- Famille des Sciuridae : l'écureuil roux (*Sciurus vulgaris*) ;
- Famille des Canidae : le loup (*Canis lupus*),
le renard (*Vulpes vulpes*) ;
- Famille des Felidae : le chat domestique (*Felis catus*).

Toutes les informations récoltées concernant ces espèces sont importantes pour une bonne conservation et gestion des espèces. Toutefois, il faut garder à l'esprit que la méthode d'échantillonnage a été ajustée à l'espèce cible, en l'occurrence le lynx (*Lynx lynx*), et par conséquent, les résultats peuvent être biaisés pour les autres espèces.

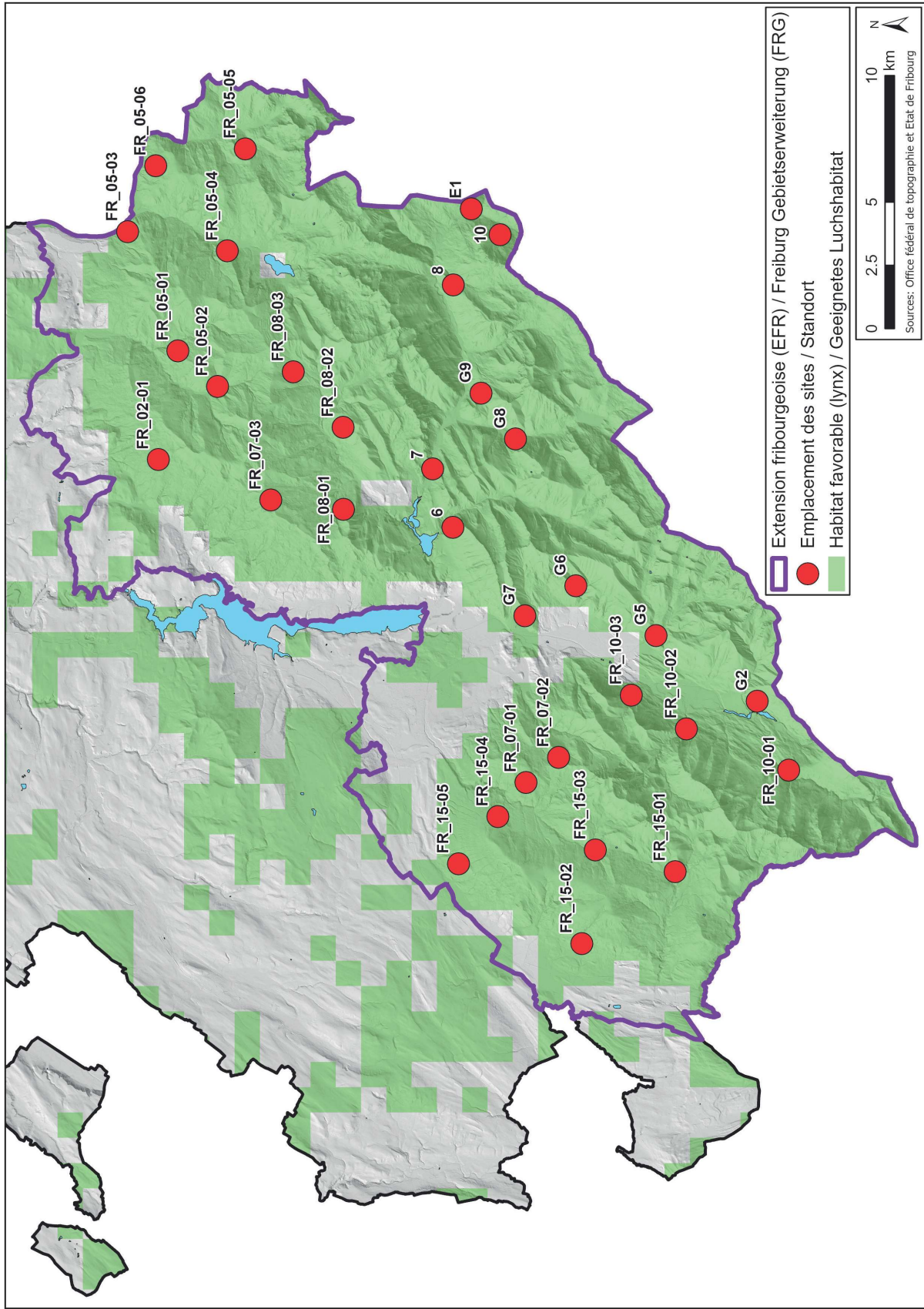


Figure 2
 Carte du périmètre de l'EFR (en violet, 616.2 km²), l'emplacement spatial des sites (points rouges) ainsi que la surface d'habitat favorable (en vert) selon Zimmermann (2004).

Plan d'échantillonnage

Afin de pouvoir comparer les résultats avec les suivis cantonaux précédents (Pesenti et al, 2017 ; Pesenti et al, 2018b, Pesenti et al. 2021), la même méthode d'échantillonnage standardisée a été appliquée pour le suivi de l'hiver 2023-2024. La surface de l'EFR a été divisée, suivant la méthode décrite par Laass en 1999, en cellules de 2.7 km x 2.7 km. Sachant que les lynx préfèrent se déplacer, surtout en hiver, au-dessous de la limite des arbres (Breitenmoser-Würsten et al, 2001), toutes les surfaces à plus de 1800 m d'altitude ont été mises en évidence, grâce à des modèles d'altitude dans l'environnement ESRI en utilisant la version ArcGIS Pro 3.1.2 (ESRI 2023). Si une cellule contenait plus des 2/3 de sa surface au-dessus de 1800 m d'altitude, cette dernière était éliminée de la zone d'échantillonnage (probabilité trop faible de détecter un lynx).

Les sites ont été ensuite choisis, de manière alternée, dans les cellules restantes. Au total, 32 sites ont été équipés et échantillonnés durant 60 nuits, soit du 25 novembre 2023 au 23 janvier 2024, ce qui correspond à un effort potentiel d'échantillonnage total de 1920 nuits. Grâce aux compétences et aux expériences des gardes-faune et des biologistes du SFN et afin d'augmenter la probabilité de capture, les pièges photographiques ont été installés sur des routes forestières, des chemins pédestres et des passages forcés souvent utilisés par le lynx. De légères adaptations ont été effectuées par rapport à quelques emplacements de sites, afin d'augmenter encore la probabilité de capture. Ces améliorations ont été possibles grâce au suivi extensif cantonal, où plus de 350 indices de présence sont récoltés annuellement.



Figure 3

Piège photographique de type Cuddeback modèle C123, muni de son toit de protectoin, utilisé pour le monitoring du lynx.

Piégeage photographique

Étant donné que les deux côtés du lynx ne sont pas symétriques, et pour maximiser les informations nécessaires à la création du calendrier de captures utilisé pour les analyses, chaque site a été équipé de deux pièges photographiques, installés de part et d'autre du chemin (Zimmermann et al, 2004). Les appareils utilisés étaient de deux types ; sur les 64 pièges photographiques utilisés pour le monitoring 44 étaient des caméras digitales de type Cuddeback modèle C123 ou double G, pourvues de flash Xenon blanc (fig. 3). Les 20 autres étaient des caméras digitales de type Cuddeback, modèle Ambush, pourvues également de flash Xenon blanc (Cuddeback, Green Bay, Wisconsin). Pour éviter que les pièges ne soient submergés par les chutes de neige, les gardes-faune fribourgeois ont conçu un toit de protection qui résout ce problème (fig. 3).

Sur chaque site, des affiches et des autocollants informaient les passants de l'objectif de l'installation des pièges photographiques, tout en précisant qu'il s'agissait d'un projet scientifique officiel soutenu par l'État de Fribourg. Afin de disposer de photos de bonne qualité (limitation de l'effet de distorsion et de déformation), les pièges photographiques ont été posés à la hauteur du lynx, soit à une hauteur comprise entre 70-80 cm (Sunquist & Sunquist, 2002). De manière générale, les contrôles étaient effectués tous les 7 à 10 jours, afin de s'assurer du bon fonctionnement des pièges photographiques et d'éventuels vols de matériel, de pouvoir remplacer les accus, changer les cartes SD contenant les photos, remplacer les appareils défectueux et, si nécessaire, de dégager la zone de capture des divers obstacles survenus après le dernier contrôle (cumul de neige, branches d'arbres, etc.). Toutes les images ont été systématiquement visionnées par au moins deux collaborateurs du SFN, les photos avec des personnes et des véhicules ont été effacées afin de respecter la sphère privée, les images contenant du lynx ont été méthodiquement enregistrées en gardant plusieurs informations directement dans le nom de sauvegarde (fig. 4). L'identification des individus a été possible grâce à la comparaison des photos stockées dans la base de données suisse de la fondation KORA.

B876_2023_12_04_0442_li_FR_08-01



B876 | 2023_12_04 | 0442 | li | FR_08-01

Figure 4

Exemple du nom d'une photo. Identité du lynx (rouge), date de capture (vert), heure de capture (bleu), flanc du lynx (re: droite, li: gauche, jaune) et nom du site (violet).

Capture-recapture

Une histoire de captures a été créée pour chaque individu, en spécifiant le sexe de l'individu (visible sur la photo ou information disponible grâce aux observations des années précédentes), l'heure de capture ainsi que l'identité de leur mère, si connue. En raison du fort taux de disparition (mortalité et dispersion), les lynx juvéniles qui, d'après leur âge, devraient encore accompagner leur mère, ont bien été identifiés mais comptés comme capture de la femelle résidente (leur mère) dans le calendrier de captures. L'estimation de la taille de la population correspond donc au nombre de lynx indépendants (lynx de plus d'un an). L'histoire de captures, en système de numérotation binaire, ne peut prendre que deux valeurs notées par convention 0 et 1. La valeur 0 désigne l'absence de capture dans une période donnée, tandis que le 1 désigne la capture de l'individu. Si un individu a été capturé plusieurs fois dans la même période donnée, le résultat reste toujours 1.

Analyses non spatiales

Comme cela a été fait lors des trois derniers suivis cantonaux (Pesenti et al., 2017 ; Pesenti et al., 2018b ; Pesenti et al., 2021) et dans d'autres études sur le lynx (par exemple, Pesenti & Zimmermann, 2013), les 60 nuits de monitoring ont été divisées en 12 périodes de 5 jours consécutifs (pentades). Les histoires de captures individuelles ont été combinées pour former une matrice où chaque ligne représente un individu capturé et chaque colonne correspond à une pentade. Cette matrice résume l'historique des captures, en utilisant un système de numérotation binaire pour l'ensemble des individus capturés pendant le monitoring. Après avoir vérifié la fermeture de la population avec le programme CloseTest 3.0 (Stanley et Burnham, 1999), la matrice a été intégrée et utilisée dans le module CAPTURE du programme informatique MARK (White et Burnham, 1999) pour estimer les effectifs des populations fermées. Le module CAPTURE sélectionne le meilleur modèle parmi 8 modèles possibles.

Pour comparer les résultats entre différentes zones d'étude, il est essentiel de convertir l'estimation de l'abondance en densité. Pour ce faire, il suffit de diviser l'estimation de l'abondance (N) par la surface de l'aire d'étude (A).

$$D = N/A$$

Une estimation de la densité tenant compte de l'habitat favorable du lynx (Zimmermann et al, 2004) a également été effectuée.

Analyses spatiales

Dans ce rapport, comme pour les trois précédents, les analyses spatiales ont été effectuées en utilisant des estimateurs basés sur des fonctions de vraisemblance dans le « package secr » (Spatially explicit capture-recapture model, Efford 2016) dans l'environnement statistique R (R 4.3.3, Core Team 2024). Contrairement aux modèles de capture-recapture non-spatiale, les modèles de capture-recapture spatiale estiment la densité sur la base des histoires de captures, en tenant compte de la localisation spatiale des captures. L'aire délimitée par les centres d'activités potentiels doit être choisie suffisamment grande, afin qu'elle n'influence pas l'estimation de la densité.

Les modèles de capture-recapture spatiale, en plus d'être plus robustes aux effets de bords (domaines vitaux qui ne chevauchent que partiellement la zone échantillonnée par le piégeage photographique), ne nécessitent pas de délimiter l'aire d'échantillonnage de façon arbitraire, comme dans le cas des modèles de capture-recapture non-spatiale (Zimmermann et al, 2007). Trois sources d'informations sont nécessaires afin de pouvoir utiliser les modèles de capture-recapture spatiale (Efford, 2008 ; Royle et al, 2009) :

- histoire de captures pour chaque individu (identité, localisation et occasion pour laquelle l'individu a été capturé) ;
- déploiement des sites (localisation des pièges photographiques y compris l'information sur leur fonctionnement) ;
- centres d'activités des lynx (maillage 100 m x 100 m de centres d'activités potentiels localisés dans l'habitat favorable du lynx et comprenant la valeur de 1 lorsque le centre d'activités potentiel est localisé dans l'habitat favorable et 0 pour le cas contraire).

Comme tous les modèles de capture-recapture spatialement explicites, « secr » ajuste une fonction de détection qui relie la probabilité de détection d'un individu ou le nombre de détections attendues à la distance du détecteur, dans notre cas, le site équipé de pièges photographiques, au point considéré comme son centre d'activité ou le centre de son domaine vital. Nous avons utilisé la fonction par défaut qui est la loi de la demi-normale. Le « package secr » permet d'ajuster une série de modèles prédéfinis équivalents aux modèles non-spatiaux de capture-recapture (voir analyses non-spatiales) mais aussi des modèles plus complexes qui permettent d'investiguer, par exemple, l'effet du sexe sur les paramètres de détection (g_0 et σ). Le choix du meilleur modèle a été fait en suivant l'approche décrite dans Zimmermann et Foresti (2016). Comme suggéré par Royle et al, 2014, les modèles ont été comparés à l'aide du ΔAIC . Seuls les modèles avec un $\Delta AIC < 2$ ont été retenus (Burnham et Anderson, 2002).

Turnover

Depuis plusieurs années, un important turnover est observé au sein de la population de lynx étudiée. En 2013, lors d'une séance de la Commission intercantonale, le SFN avait déjà mis en lumière ce phénomène en présentant de simples comparaisons, qui révélaient un turnover conséquent au sein de l'aire de référence fixe des Préalpes. Il avait également suggéré d'intégrer cette étude, avec des analyses plus approfondies, directement dans le cadre du monitoring national du lynx.

Après plusieurs tentatives infructueuses du SFN auprès de la Commission intercantonale, sans parvenir à obtenir des résultats concrets (l'intégration de l'analyse du turnover dans le monitoring national n'ayant pas encore été réalisée), le SFN a une nouvelle fois choisi de mettre en avant cet important phénomène dans le cadre de son propre monitoring cantonal.

4. Résultats

Piégeage photographique

En tout, 64 pièges-photographiques ont été installés sur 32 sites différents durant 60 nuits de suivi, ce qui correspond à un effort potentiel d'échantillonnage de 1920 nuits, ce qui représente le plus grand effort jamais réalisé dans le canton de Fribourg. En raison des abondantes chutes de neige qui ont frappé le canton de Fribourg durant la période du suivi, l'effort d'échantillonnage effectif a été ramené à 1912, soit 99.58 % du total (fig. 5). Ce résultat correspond au meilleur résultat jamais observé pour le canton de Fribourg (2015/2016 : 97.64 % ; 2017/2018 : 98.06 % ; 2020/2021 : 98.66%) et se situe à la limite supérieure des valeurs observées dans d'autres études (84.2 % dans le suivi du lynx mené dans le Jura, Zimmermann et al, 2007; 99.9 % dans le suivi du lynx mené dans l'aire de référence du nord-est de la Suisse, Kunz et al, 2021).

En prenant en compte toutes les photos déclenchées par les 64 pièges photographiques, un total de 1917 photos d'animaux sauvages a été répertorié (fig. 6), soit une augmentation par rapport au dernier monitoring de 1.9 % ($N=1881$). La répartition spatiale des différentes espèces n'est pas homogène (annexe 1). L'espèce la plus photographiée est le chamois (27.86 %, $N=534$, 7 sites positifs), suivie par le renard (24.10 %, $N=462$, 29 sites positifs), le cerf (12.83 %, $N=246$, 18 sites positifs), le chevreuil (8.87 %, $N=170$, 10 sites positifs), le lièvre brun (7.36 %, $N=141$, 18 sites positifs), le blaireau (3.70 %, $N=71$, 13 sites positifs), le chat domestique (2.09 %, $N=40$, 6 sites positifs), le sanglier (1.88 %, $N=36$, 9 sites positifs), la martre (0.47 %, $N=9$, 2 sites positifs), la fouine (0.21 %, $N=5$, 3 sites positifs) et le lièvre variable (0.05 %, $N=1$, 1 site positif). Les 1.67 % de toutes les photos ($N=32$) correspondent à des photos d'autres espèces, par exemple : l'écureuil, le merle, le cassenoix, des petits rongeurs, etc.

Concernant le lynx, 171 photos de lynx (8.92 %, 24 sites positifs) correspondant à 19 individus (9 mâles, 7 femelles et 3 de sexe inconnu) ont été prises durant la période du monitoring (fig. 7, 8 et 9), soit 27 photos de moins mais le même nombre d'individus qu'en 2020/2021.

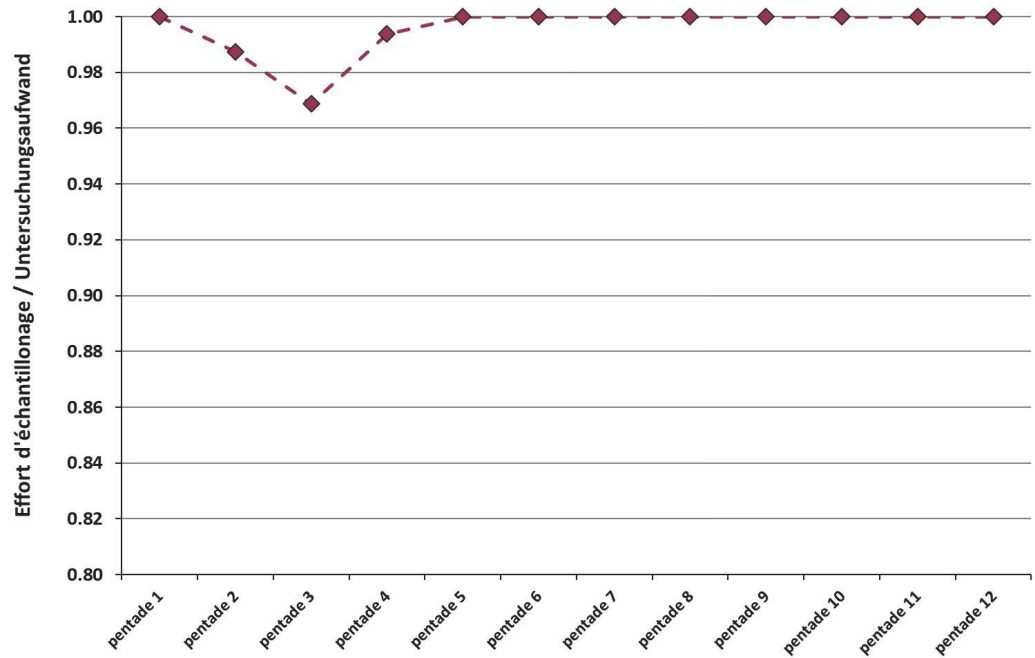


Figure 5

Courbe représentant l'effort d'échantillonnage par pentade (en pourcentage). En raison des abondantes chutes de neige, la pentade 3 se situe en-dessous du 98% d'effort.

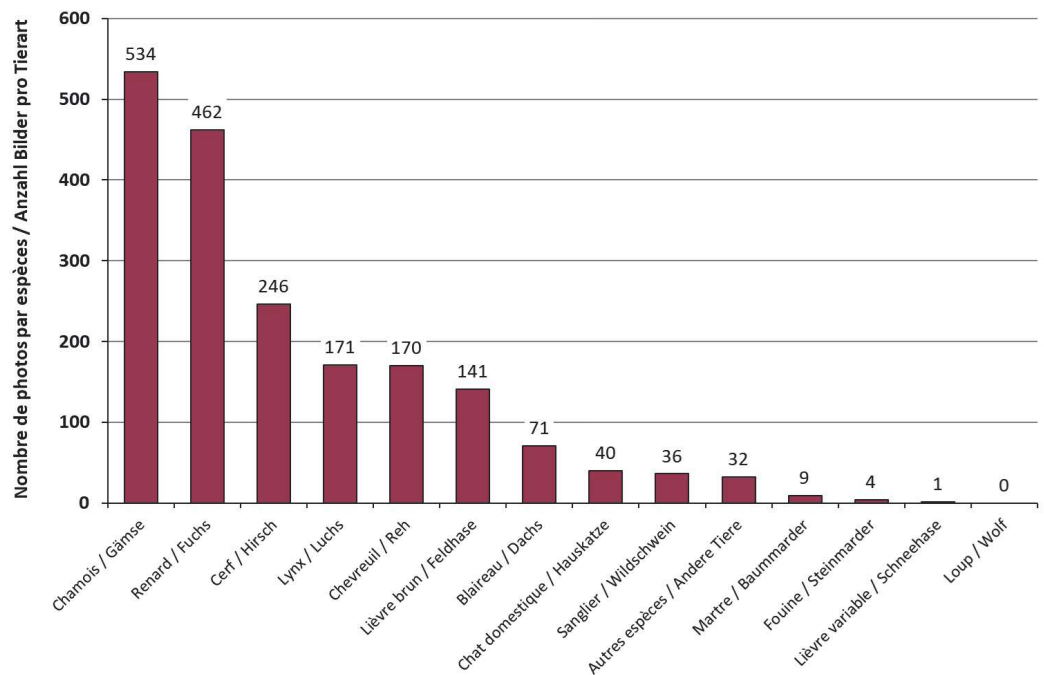


Figure 6

Nombre de photos par espèce (tous sites confondus) durant la période d'étude au sein de l'EFR.

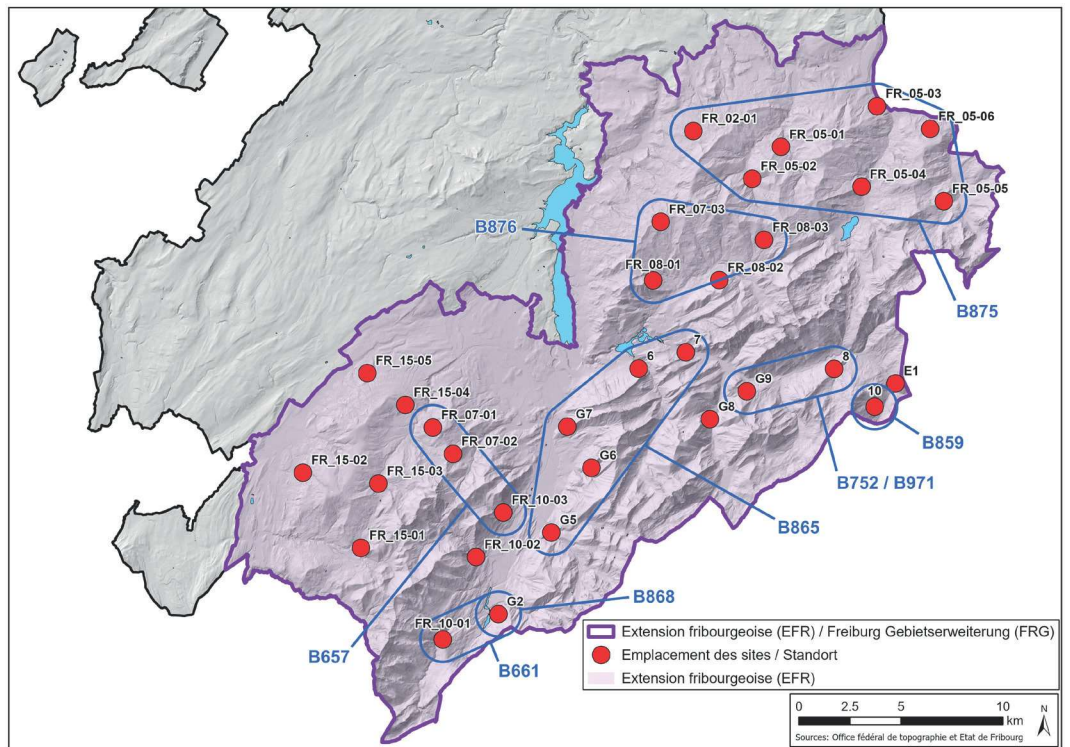


Figure 8

EFR (en violet) avec la répartition spatiale des lynx indépendants mâles (Minimum Convex Polygon + buffer de 1.1 km). Chaque surface englobe le ou les sites où un même individu a été photographié.

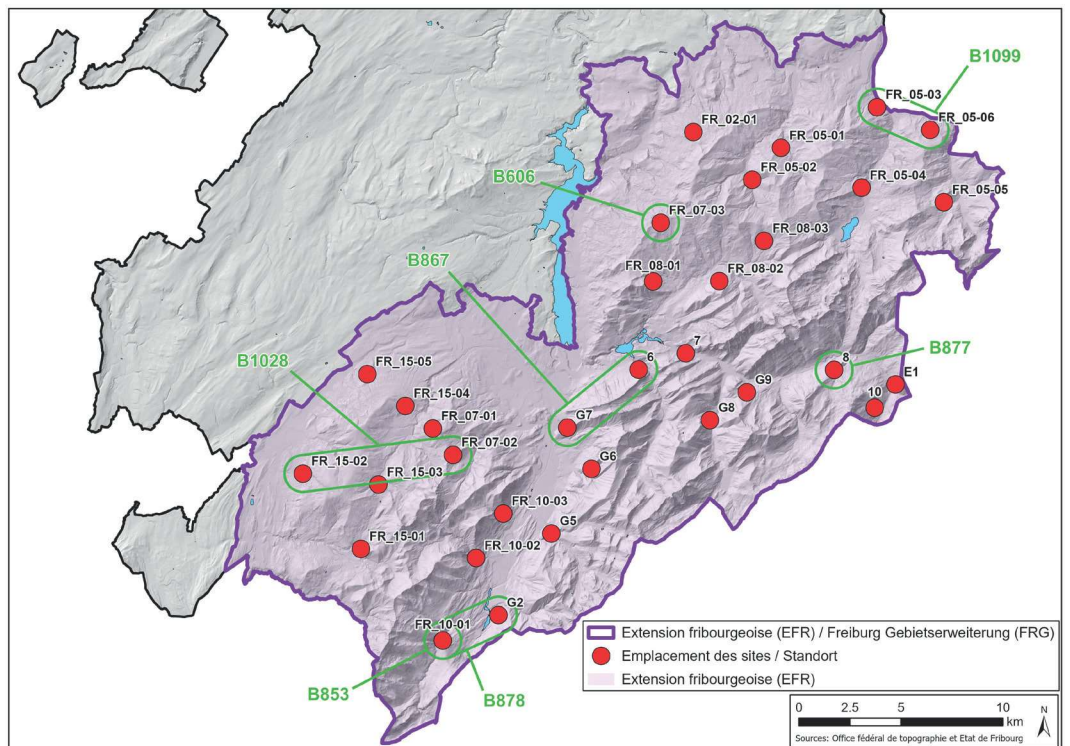


Figure 9


EFR (en violet) avec la répartition spatiale des lynx indépendants femelles (Minimum Convex Polygon + buffer de 0.9 km). Chaque surface englobe le ou les sites où un même individu a été photographié.

Turnover

Comme constaté lors des années précédentes, un turnover élevé est observé dans la population étudiée (tableau 2). Comparativement au premier suivi de 2015/2016, où 11 individus avaient été détectés, aucun de ces individus (0 %) n'a été détecté à nouveau lors du suivi 2023/2024. Seul un individu identifié durant le suivi de 2017/2018 a été redétecté en 2023/2024, correspondant à un taux de 5.5 %. Par ailleurs, en comparaison avec le suivi de 2020/2021, 7 des 18 individus initialement détectés ont été photographiés de nouveau en 2023/2024, soit un taux de réobservation de 38.8 %. Le taux des nouveaux individus indépendants observés augmente de manière importante entre chaque session de monitorings, avec un renouvellement presque complet de la population (97,7 %) en l'espace de 6 ans (voir tableau 1).

Tableau 1

Taux et nombre des nouveaux individus en comparaison des suivis précédents.

	2015/2016	2017/2018	2020/2021	2023/2024
2015/2016	0.0% (N=0)	NA	NA	NA
2017/2018	72.2% (N=13)	0.0% (N=0)	NA	NA
2020/2021	77.7% (N=13)	55.5% (N=8)	100 % (N=18)	NA
2023/2024	100 % (N=19)	97.7% (N=18)	63.2 % (N=18)	100 % (N=19)

Analyses non-spatiales

Sur les 32 sites, 24 sites ont détecté des lynx durant la période du suivi, ce qui correspond à 75 % des sites, une diminution de 8.87 % par rapport au dernier monitoring cantonal. Le nombre de captures cumulées (si un individu est capturé à plusieurs reprises durant la même pentade, celui-ci est considéré comme étant une seule capture) augmente de manière presque linéaire avec le nombre de pentades (12 périodes de 5 jours consécutifs, fig. 10). L'estimation de l'abondance (intervalle de confiance de 95 %) sous le modèle M_{th} était de 20 (19 - 26) lynx indépendants. L'estimation de la densité (intervalle de confiance de 95 %) dans l'EFR est de 2.33 (1.95 - 2.71) lynx indépendants pour 100 km². L'estimation de la densité (intervalle de confiance de 95 %), en ne prenant en considération que l'habitat favorable de l'EFR, est de 2.79 (2.35 - 3.23) pour 100 km² d'habitat favorable.

Tableau 2

Identité des lynx indépendants capturés durant les quatre sessions du monitoring au sein de l'EFR et mise en évidence du turnover important observé entre les différentes années de suivi.

2015 / 2016	2017 / 2018	2020 / 2021	2020 / 2021
B189	B189	B189	NA
B201	NA	NA	NA
B202	B202	B202	NA
B240	NA	NA	NA
B335	NA	NA	NA
B358	B358	B358	NA
B381	B381	NA	NA
B383	B383	B383	NA
B560	NA	NA	NA
PIRO	NA	NA	NA
NA	B333	NA	NA
NA	B589	NA	NA
NA	NA	B606	B606
NA	B608	B608	NA
NA	B616	B616	NA
NA	B657	NA	B657
NA	B658	NA	NA
NA	B671	B671	NA
NA	CATO	CATO	NA
NA	B669	NA	NA
NA	B785	NA	NA
NA	FR001	NA	NA
NA	FR002	NA	NA
NA	FR003	NA	NA
NA	NA	B294	NA
NA	NA	B865	B865
NA	NA	B853	B853
NA	NA	B875	B875
NA	NA	B867	B867
NA	NA	B866	NA
NA	NA	B868	B868
NA	NA	R379	NA
NA	NA	B1099	B1099
NA	NA	NA	B661
NA	NA	NA	B752
NA	NA	NA	B859
NA	NA	NA	B876
NA	NA	NA	B877
NA	NA	NA	B878
NA	NA	NA	B945
NA	NA	NA	B971
NA	NA	NA	B1028
NA	NA	NA	B1050
NA	NA	NA	B1097

NA: No Data

Analyses spatiales

Comme déjà testé (sous le modèle M_0) lors du monitoring en 2017 (Pesenti et al. 2017), une largeur de zone tampon équivalente à 13 km a été rajoutée à l'EFR pour délimiter l'aire des centres d'activités potentiels. Cette zone tampon permet une stabilisation dans le calcul de l'estimation de la densité. Cette même distance avait été appliquée également dans l'étude menée par Zimmermann et Foresti (2016) concernant l'estimation de la densité du lynx dans l'aire de référence du nord-ouest des Alpes (Suisse). Comme le dernier monitoring (Pesenti et al. 2021) selon le ΔAIC , le modèle qui explique le mieux notre jeu de données est le M_B qui correspond à une densité (intervalle de confiance 95 %) de 1.98 (1.19 – 3.17) lynx indépendant pour 100 km² ou de 2.64 (1.33 – 3.91) pour 100 km² d'habitat favorable.

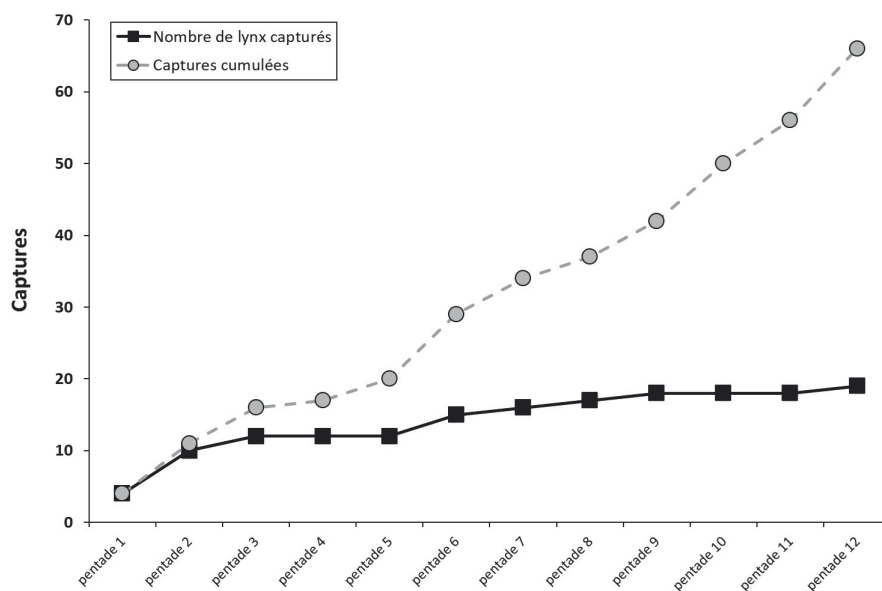


Figure 10

Nombre de lynx indépendants capturés pendant la période du suivi (en noir) ainsi que le nombre cumulé des captures (en gris).

Comparaison des densités

En comparant les résultats de ce suivi avec ceux calculés durant les trois derniers monitorings, il s'avère qu'au niveau statistique, les densités calculées en 2024 ne diffèrent pas significativement, dans tous les cas de figure, de celles calculées dans les autres monitorings, démontrant ainsi une situation plutôt stable concernant le lynx au sein de la EFR (fig. 11). Une tendance à la baisse, non significative, semble cependant se manifester.

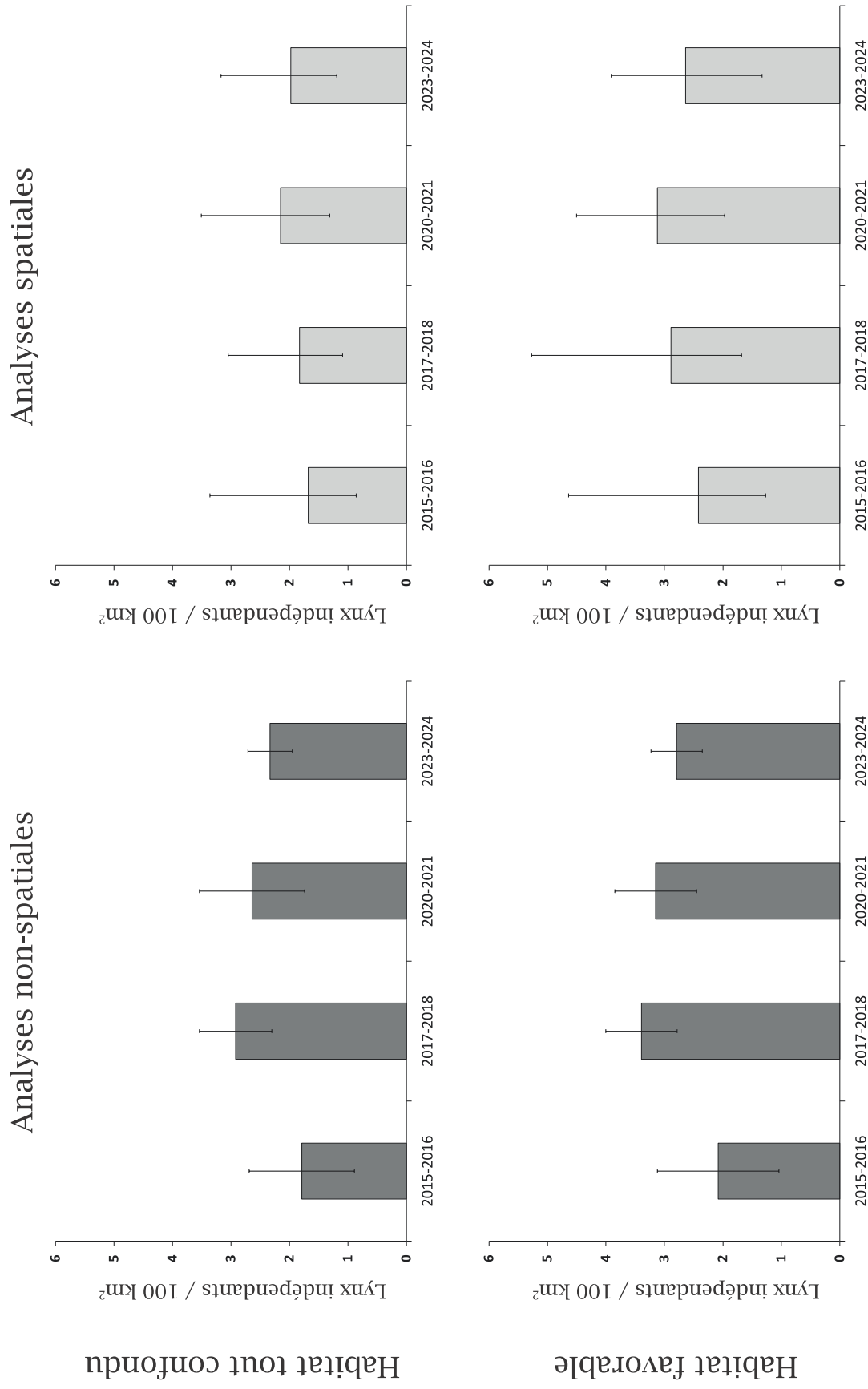


Figure 11 Comparaison des estimations des densités de lynx (2015-2016, 2017-2018, 2020-2021 et 2023-2024) sur la base de modèles (spatial ou non-spatial) et en tenant compte de l'habitat (habitat tout confondu ou uniquement habitat favorable).

5. Discussion

Piégeage photographique

Pour la quatrième fois, la présente étude a évalué la situation du lynx dans l'ensemble des Préalpes fribourgeoises, à l'aide de l'utilisation de la méthode dite de capture-recapture photographique. Grâce notamment au travail conséquent des gardes-faune impliqués (interventions fréquentes et rapides après des chutes de neige importantes) ainsi qu'à l'utilisation d'un matériel toujours plus performant (pièges-photographiques, piles au lithium, etc.), l'effort d'échantillonnage n'a jamais été aussi élevé. Au total, dans 9 pentades sur 12, on a observé le 100 % d'effort d'échantillonnage. Un site n'a pas été fonctionnel durant toute une pentade, à cause de la neige, diminuant l'effort d'échantillonnage pour la 3^{ème} pentade à 97%. Dans l'ensemble, les résultats sont plus que satisfaisants avec un record jamais observé dans l'EFR, soit 99.58 %. Celui-ci permet d'effectuer des analyses encore plus fiables.

Contrairement aux années précédentes, l'espèce la plus photographiée n'est plus le renard, mais le chamois. Ce résultat s'explique par le fait que, durant plusieurs jours, des chamois sont restés devant le piège photographique du site G5, augmentant ainsi le nombre total de photos prises. Cependant, la répartition spatiale (voir annexes) montre que, comme les années précédentes, le renard demeure l'espèce la plus répandue, avec des observations positives sur 29 sites des 32 au total.

Avec un total de 171 photos, le lynx devient ainsi la quatrième espèce la plus photographiée, derrière le chamois, le renard et le cerf. Ce résultat montre que, grâce à plusieurs ajustements mineurs des sites, effectués à partir des expériences des trois premiers suivis et des observations des gardes-faune ces deux dernières années (monitoring extensif), les emplacements des sites restent bien adaptés.

Turnover

Depuis plusieurs années un important turnover est observé au sein de la population de lynx étudiée. Ce dernier peut être la conséquence d'une multitude de facteurs (maladies, accidents routiers, dispersion, mort non-naturelle, etc.). De manière générale, chaque session de monitoring révèle que plus de la moitié des individus recensés sont des nouveaux individus. Étant donné que la longévité potentielle du lynx dans la nature peut atteindre 18-20 ans, ce phénomène suggère l'influence de facteurs non seulement biologiques mais également « externes ».

En 2013, le Service des forêts et de la nature (SFN) avait déjà souligné, lors d'une séance de la Commission intercantonale, l'importance de cette observation. Il avait présenté, avec des simples comparaisons, le grand turnover au niveau de l'aire de référence fixe des Préalpes et proposait d'intégrer, avec des analyses plus complètes, cette étude directement dans le monitoring national du lynx. Cet aspect a d'ailleurs été souligné à plusieurs reprises par le SFN, dans les séances de la Commission les années suivantes. Des modèles SCR pourraient être utilisés dans différentes régions de Suisse, pour analyser le turnover des populations et ainsi adapter certaines mesures de gestion. Le SFN soumettra une nouvelle demande lors des prochaines séances de la Commission intercantonale et, éventuellement, lors des séances de la Conférence des services de la faune, de la chasse et de la pêche (CSF) afin de mieux comprendre ce phénomène et d'agir en conséquence.

Abondance

Un total de 20 lynx indépendants a été estimé dans la zone d'étude par les modèles non-spatiaux, soit une diminution d'un individu par rapport au dernier monitoring. Il est important de souligner que ce résultat ne correspond pas au nombre de lynx du canton de Fribourg, mais au nombre d'individus indépendants avec une partie ou la totalité de leur territoire dans l'EFR pendant la période du suivi. En effet, plusieurs lynx détectés dans le canton de Fribourg (EFR), comme démontré par le suivi national (Sterreri et al. 2024), ont une partie de leur territoire (domaine vital) qui se trouve en dehors du canton, par exemple le mâle B859 (BE et FR), ou la femelle B878 (VD et FR). Il est donc probable que d'autres individus présents dans le canton de Fribourg partagent également leur territoire avec les cantons voisins, sans avoir été détectés lors du monitoring national intensif. Ce point est crucial pour éviter toute conclusion erronée.

Estimation des densités

Dans les quatre estimations de densité réalisées avec différentes méthodes, aucune différence significative n'a été observée par rapport aux résultats des suivis précédents. Grâce à un taux de recapture relativement élevé, le degré d'imprécision est plus faible que celui des années antérieures. Toutefois, ce degré d'imprécision reste assez élevé, en partie à cause des effets de bord, qui peuvent entraîner des fluctuations de populations et qui sont plus prononcés dans les petites zones d'étude. Il convient de noter que la superficie de l'EFR se situe à la limite inférieure des aires de référence échantillonnées en Suisse.

Comparaison des densités

Les estimations calculées en 2023-2024 en appliquant les mêmes méthodes que celles des deux derniers suivis, ne diffèrent pas de manière significative par rapport aux résultats des suivis précédents. L'utilisation de l'intervalle de confiance (IC – 95%) permet de voir directement sur les graphiques si une différence est significative ou non. Dans l'ensemble, la situation est plutôt stable, bien qu'une tendance à la baisse semble se profiler au sein de l'EFR. Ce phénomène suggère que la capacité de l'habitat pour le lynx au sein de l'EFR est atteinte, entraînant des fluctuations de la population. En dehors de l'EFR, une augmentation de la population est en revanche observée dans de nouvelles régions peu ou pas colonisées par le lynx, surtout dans la région du Plateau (augmentation des indices de présence, dispersion en direction du Plateau). Ce phénomène fait d'ailleurs partie d'une nouvelle étude menée au niveau Suisse, qui a pour but une meilleure compréhension de l'influence de la génétique, de la santé et de la démographie sur l'état de conservation des populations de lynx en Suisse et d'élaborer des recommandations concrètes, en vue d'une gestion génétique à long terme.

Conclusions

Les résultats du suivi et des analyses de ce rapport sont très importants pour le SFN afin de mieux connaître l'évolution de la population de lynx dans la totalité des Préalpes fribourgeoises (population stable). Ce suivi, pratiqué de manière intensive tous les 2-3 ans en même temps que le monitoring national, vient s'ajouter aux nombreuses données récoltées de manière continue (monitoring extensif) durant toute l'année, respectant ainsi les dispositions fédérales en la matière (Plan Lynx Suisse, 2016). Toutes ces données sont prises en considération pour la conservation et la bonne gestion du lynx dans le canton de Fribourg. Cependant, comme l'indiquent les analyses du turnover, plusieurs variables (p. ex. maladies, accidents routiers, dispersion, mort non-naturelle, etc.) influencent fortement la conservation durable de l'espèce. Il est donc essentiel d'approfondir l'étude de ces facteurs, pour mieux répondre aux exigences de conservation du lynx.

Il est important de souligner que l'estimation de la densité n'est pas le seul facteur à prendre en considération pour une éventuelle régulation de la population. Selon les directives fédérales en la matière, trois cas de figure sont possibles, uniquement si toutes les conditions sont remplies. Ces cas de figure ne concernent pas l'EFR mais les sous-compartiments décrits dans l'annexe 2 du Plan Lynx Suisse (2016).

6. Bibliographie

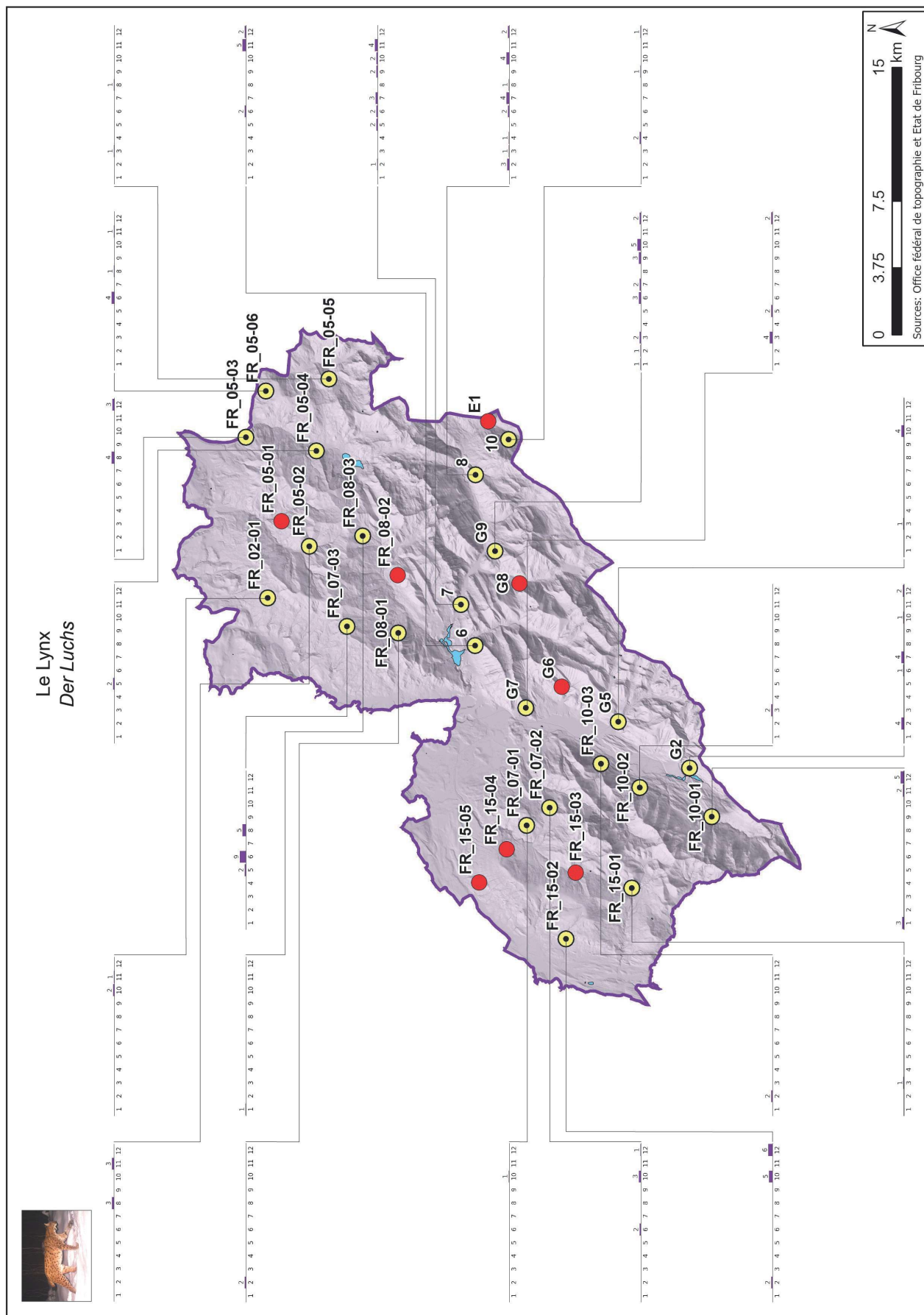
- Athreya, V., Odden, M., Linnell, J.D.C, Krishnaswamy, J. & Karanth, U. (2013). Big cats in our backyards : persistence of large carnivores in a human dominated landscape in India. *Plos One*, 8, 1 – 8.
- Bagchi, S. & Mishra, C. (2006). Living with large carnivores: predation on livestock by the snow leopard (*Uncia uncia*). *Journal of Zoology* 268 (3): 217-224.
- Breitenmoser-Würsten, Ch., Zimmermann, F., Ryser, A., Capt, S., Laass, J., Siegenthaler, A. & Breitenmoser, U. (2001) Untersuchung zur Luchspopulation in der Nordwestalpen der Schweiz 1997-2000. *Kora Bericht*, 9d,1–88.
- Burnham, K.P. & Anderson, D.R. (2002) *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretical Approach*, 2nd edn. Springer-Verlag, New York.
- Cederlund, G., Bergqvist, J., Kjellander, P., Gill, R., Gaillard, J.M., Boisaubert, B., Ballon, P. & Duncan, P. (1998) Managing roe deer and their impact on the environment: maximizing the net benefits to society. *The European Roe Deer: The Biology of Success* (eds R. Anderson, P. Duncan & J.D.C. Linnell), pp. 337-371. Scandinavian University Press, Oslo.
- Chapron, G., et al. (2014). Recovery of large carnivores in Europe's modern human-dominated landscapes. *Sciences*, 346, 1517–1519.
- Coates, R., Delwiche, M., Gorenzel, W.P. & Salmon, T. (2010). Evaluation of damage by vertebrate pests in California vineyards and control of wild turkeys by bioacoustics. *Utah State University* 4 (1): 130 144.
- Eeden L.M., Crowther, M.S., Dickman, C.R., MacDonald, D.W., Ripple, W.J., Ritchie, E.G. & Newsome, T.M. (2018). Managing conflict between large carnivores and livestock. *Conservation Biology*, 32, 26 – 34.
- Efford, M.G., Borchers, D.L. & Byrom, A.E. (2008). Density estimation by spatially explicit capture-recapture: likelihood-based methods. *Modelling demographic processes in marked populations* (eds. D.L. Thomson, E.G. Cooch & M.J. Conroy), pp. 255-269. Springer-Verlag, New-York.
- Efford, M.G. (2016) Spatially explicit capture-recapture in R. Package “secr”. <http://www.cran.r-project.org/>
- ESRI (2017). ArcMap 10.5. Environmental Systems Research Institute. Inc., Redlands, California.
- Estes, J.A., Terborgh, J., Brashares, J.S., Power, M.E., Berger, J., Bond, W.J., Carpenter, S.R., Essington, T.E., Holt, R.D., Jackson, J.B.C, Marquis, R.J., Oksanen, L., Oksanen, T., Paine, R.T., Pikitich, E.K., Ripple, W.J., Sandin, .A., Scheffer, M., Schoener, T.W., Shurin, J.B., Sinclair, A.R.E., Soulé, M.E., Virtanen, R. & Wardle D.A. (2011). Trophic downgrading of planet Earth. *Science* 333, 301–306.
- Laass, J. (1999) Evaluation von Photofallen für ein quantitatives Monitoring einer Luchspopulation in den Schweizer Alpen. Diplomarbeit, Universität Wien.
- Laass J. (2002) Fotofallen-Monitoring im westlichen Berner Oberland 2001. Fotofallen-Extensiv-Einsatz 2001. Fotofallen-Intensiv-Einsatz Winter 2001/2002. KORA Bericht Nr. 14 d, 28 pp.
- Larrucea, E.S., Brussard, P.F., Jaeger, M.M. & Barrett, R.H. (2007). Cameras, coyotes, and the assumption of equal detectability. *Journal of Wildlife Management*, 71, 1682–9.

-
- MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Royle, J.A., Pollock, K.H., Bailey, L.L., & Hines, J.E. (2006). *Occupancy Estimation and Modeling. Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence*. Elsevier Academic Press publications. San Diego, California.
- Mattioli, L., Canu, A., Passilongo, D., Scandura, M. & Apollonio, M. (2018). Estimation of pack density in grey wolf (*Canis lupus*) by applying spatially explicit capture-recapture models to camera trap data supported by genetic monitoring. *Frontiers in Zoology*, 15, 1-38.
- Meek, P.D., Ballard, G.A., Fleming, P.J.S., Schaefer, M., Williams, W. & Falzon, G. (2014). Camera Traps can be heard and seen by animals. *Plos One* 9(10): e110832.
- Meriggi, A. & Lovari, S. (1996) A review of wolf predation in southern Europe: does the wolf prefer wild prey to livestock? *Journal of Applied Ecology*, 33, 1561-1571.
- Glikman, J.A., Frank, B., D'Amico, D., Boitani, L. & Ciucci, P. (2023). Sharing land with bears: Insights toward effective coexistence. *Journal for Nature Conservation* 74: 1-8.
- Head, J.S., Boesch, C., Robbins, M.M., Rabanal, L.I., Makaga, L., Köhl, H.S. (2013). Effective sociodemographic population assessment of elusive species in ecology and conservation management. *Ecology and Evolution*, 3, 2903–2916.
- Henschel, P. & Ray, J. (2003) *Leopards in African Rainforests: Survey and Monitoring Techniques*. Wildlife Conservation Society, New York.
- Hervias, S., Henriques, A., Oliveira, N., Pipa, T., Cowen, H., Ramos, J.A., Nogales, M., Geraldés, P., Silva, C., de Ybáñez, R.R. & Opper, S. (2012). Studying the effects of multiple invasive mammals on Cory's shearwater nest survival. *Biological Invasions* 15 (1): 143-155
- Hoeks, S., Huijbregts, M.A.J., Busana, M., Harfoot, M.B. J., Svenning, J.-C. & Santini, L. (2020). Mechanistic insights into the role of large carnivores for ecosystem structure and functioning. *Ecography* 43: 1752 – 1763.
- Karanth, K.U., Sunquist, M.E. & Chinnappa, K.M. (1999) Long-term monitoring of tigers: lessons from Nagarhole. *Riding the tiger: tiger conservation in human-dominated landscapes* (eds J. Seidensticker, S. Christie & P. Jackson), pp. 114-122. Cambridge University Press, Cambridge.
- Karanth, K.U. & Madhusudan, M.D. (2002) Mitigating human-wildlife conflicts in southern Asia. *Marking parks work: identifying key factors to implementing parks in the tropics* (eds J. Terborgh, C.P. Van Schaik, M. Rao & L.C. Davenport), 250-264 p. Island Press, Covelo.
- Karanth, K.U. & Nichols, J.D. (2002) *Monitoring tigers and their prey: a manual for researchers, managers and conservationists in tropical Asia*. Bangalore, Karnataka, India: Center for Wildlife Studies.
- Karanth, K.U., Nichols, J.D., Kumar, N.S. & Hines, J.E. (2006) Assessing tiger population dynamics using photographic capture-recapture sampling. *Ecology*, 87, 2925–2937.
- Kelly, M.J, Noss, A.J., DiBitetti, M.S., Maffei, L., Arispe, R., Paviolo, A., De Angelo, C.D. & DiBlanco, Y.E. (2008) Estimating puma densities from camera trapping across three study sites: Bolivia, Argentina, Belize. *Journal of Mammalogy*, 89, 408–415.
- Koju, N.P., Bashyal, B., Pandey, B.P., Shah, S.N., Thami & Bleisch, W.V. (2020). First camera-trap record of the snow leopard *Panthera uncia* in Gaurishankar Conservation Area, Nepal. *Oryx*. 4 pp.

-
- Kunz, F., Le Grand, L., Ziegler, E., Bürki, R. & Zimmermann, F. (2021). Estimation par capture-recapture photographique de l'abondance et densité du lynx dans le compartiment Simme Saane IVa durant l'hiver 2020/2021. KORA Bericht 103 FR, 16 pp.
- O'Connell, A., Nichols, J. & Karanth, K.U. (2011). Camera traps in animal ecology: Methods and analyses. Springer Science & Business Media, 271 pp.
- Office fédéral de l'environnement OFEV (2010) Forêt et gibier - Notions de base pratiques. Bases scientifiques et méthodologiques de la gestion intégrée du chevreuil, du chamois, du cerf élaphe et de leur habitat. Connaissance de l'environnement 1013, 232 p.
- Oppel, S., Burns, F., Vickery, J., George, K., Ellick, G., Leo, D. & Hillman, J. (2014). Habitat-specific effectiveness of feral cat control for the conservation of an endemic ground-nesting bird species. *Journal of Applied Ecology* 51 (5): 1246-1254.
- Pesenti, E. & Zimmermann, F. (2013). Density estimation of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the Swiss Alps. *Journal of Mammalogy*, 94, 73 – 81.
- Pesenti, E., Genoud, J., Jordan, P., Maradan, F., Mauron, M., Peissard, E., Pharisa, M., Riedo, P. & Romanens, P. (2017). Monitoring du lynx dans le canton de Fribourg – Hiver 2015-2016. Direction des institutions, de l'agriculture et des forêts (DIAF), Service des forêts et de la faune (SFF), 27 pp.
- Pesenti, E., Schaller, D., Heeb, C., Blatter, N., Najla, N., Zimmermann, U., Zimmermann, F., Pewsner, M. & Schnidrig, R. (2018a). Régulation des populations de lynx. Commission intercantonale IV du 3 septembre 2018. 38 pp.
- Pesenti, E., Aebischer, A., Genoud, J., Hässig, R., Jaffrédou, S., Jordan, P., Maradan, F., Mauron, M., Peissard, E., Riedo, P. & Romanens, P. (2018b). Monitoring du lynx dans le canton de Fribourg – Hiver 2017-2018. Direction des institutions, de l'agriculture et des forêts (DIAF), Service des forêts et de la faune (SFF), 30 pp.
- Pesenti, E., Schneider, D., Genoud, J., Jaffrédou, J., Jordan, P., Maradan, F., Mauron, M., Riedo, P., Romanens, P., Zaugg, D., Schnider, M.-N. & Binz, A. (2021). Monitoring du lynx dans le canton de Fribourg – Hiver 2020-2021. Direction des institutions, de l'agriculture et des forêts (DIAF), Service des forêts et de la nature (SFN), 40 pp.
- Pesenti, E. (2023). Histoire et gestion du loup – Une espèce qui divise toujours et encore. *Alpages un heritage en mouvement*. Cahiers du Musée gruérien ISSN 1422-2175 : 93 – 100.
- Plan Lynx (2016). Aide à l'exécution de l'OFEV relative à la gestion du lynx en Suisse. Office fédéral de l'environnement OFEV, 23 pp.
- Polisar, J. (2000) Jaguars, pumas, their prey base, and cattle ranching: ecological perspectives of management issue. Ph.D. thesis, University of Florida.
- R Development Core Team (2024) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>.
- Ripple, W.J., Estes, J.A., Beschta, R.L., Wilmers, C.C., Ritchie, E.G., Hebblewhite, M., Berger, J., Elmhagen, B., Letnic, M., Nelson, M.P., Schmitz, O.J., Smith, D.W., Wallach, A.D. & Wirsing, A.J. (2014). Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science* 343, 1241484-1 – 1241484-11
- Ritchie, E.G., Elmhagen, B., Glen, A.S., Letnic, M., Ludwig, G. & McDonald, R.A. (2012). Ecosystem restoration with teeth: what role for predators? *Trends in Ecology & Evolution*, 27, 265–271.

-
- Royle, J.A., Karanth, K.U., Gopalaswamy, A.M. & Kumar, N.S. (2009). Bayesian inference in camera trapping studies for a class of spatial capture-recapture models. *Ecology*, 90, 3233-3244.
- Royle, J.A., Chandler, R.B., Sollmann, R. & Garner, B. (2014). *Spatial Capture-Recapture*. Waltham, MA: Academic Press.
- Ryser, A., von Wattenwyl, K., Willisch, C., Leathwood, I., Zimmermann, F. & Breitenmoser, U. (2005) 1. Monitoringbericht LUNO2 - Statusbericht Luchs Nordostschweiz Winter 2004/2005. KORA Bericht Nr. 31, 32 pp.
- Sarmiento, P., Cruz, J., Eira, C. & Fonseca, C. (2009). Evaluation of camera trapping for estimating red fox abundance. *Journal of Wildlife Management*, 73, 1207-12.
- Silveira, L., Jacomo, A.T.A. & Diniz-Filho, J.A.F. (2003) Camera trap, line transect census and track surveys: a comparative evaluation. *Biological Conservation*, 114, 351-355.
- Silver, S.C., Ostro, L.E.T., Marsh, L.K., Maffei, L., Noss, A.J., Kelly, M.J., Wallace, R.B., Gomez, H. & Ayala, G. (2004) The use of camera traps for estimating jaguar *Panthera onca* abundance and density using capture/recapture analysis. *Oryx*, 38, 148-154.
- Stanley, T.R. & Burnham, K.P. (1999). A closure test for time-specific capture-recapture data. *Environmental and Ecological Statistics*, 6, 197-209.
- Sterrer, U., Le Grand, L., Bräm, R., Kohler, S. & Zimmermann, F. (2024). Estimation par capture-recapture photographique de l'abondance et densité du lynx dans l'aire de référence Simme-Saane IVa durant l'hiver 2023/2024. KORA-Bericht 122, 17 pp.
- Sunquist, M. & Sunquist, F. (2002). *Wild cats of the World*. The University of Chicago Press. Chicago and London. 452 p.
- Svenning, J.-C., Pedersen, P.B., Donlan, C.J., Ejrnaes, R., Faurby, S., Galetti, M., Hansen, D.M., Sandel, B., Sandom, C.J., Terborgh, J.W. & Vera, F.W.M. (2016). Science for a wilder Anthropocene: synthesis and future directions for trophic rewilding research. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 113: 898-906
- Williams, B.K., Nichols, J.D. & Conroy, M.J. (2002). *Analysis and Management of Animal Populations: Modeling, Estimation and Decision Making*. Academic Press. Springer-Verlag, New-York
- White, G.C. & Burnham, K.P. (1999). Program MARK survival estimation from populations of marked animals. *BirdStudy*, 46, 120-138.
- Wolf, C. and Ripple, W. J. 2018. Rewilding the world's large carnivores. *R. Soc. Open Sci.* 5: 172235.
- Zimmermann, F. (2004) Conservation of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in a fragmented landscape - habitat models, dispersal, and potential distribution. PhD Thesis, Department of Ecology and Evolution, University of Lausanne, Switzerland.
- Zimmermann F., Fattebert J., Breitenmoser-Würsten Ch. & Breitenmoser U. (2007) Abondance et densité du lynx: estimation par capture-recapture photographique dans le Nord du Jura suisse. KORA Bericht Nr. 37 f, 24 pp.

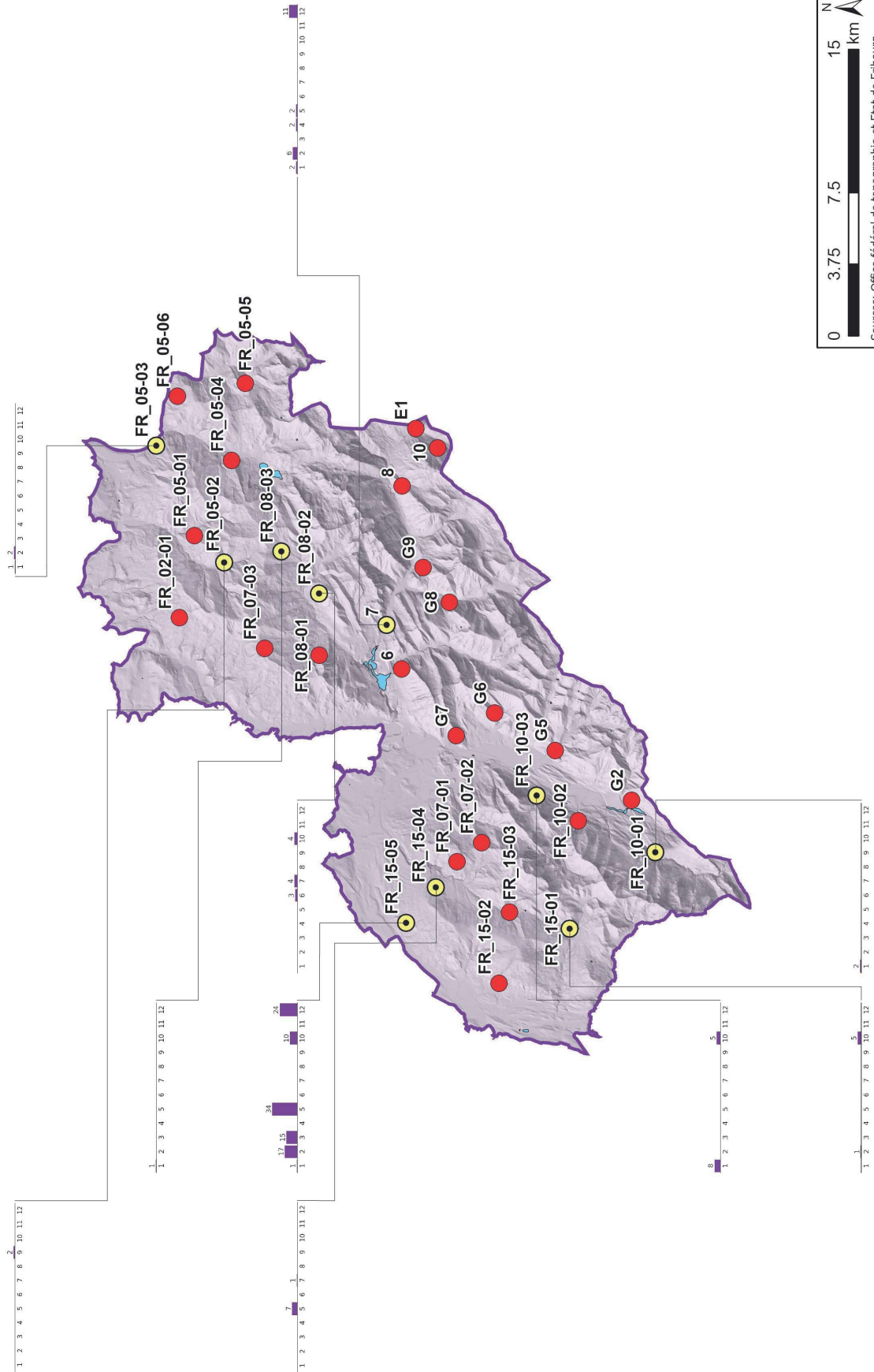
Annexe 1. Détection d'autres mammifères



1.1 Lynx lynx
Répartition et abondance des captures de lynx par site et par pentade durant la période du monitoring (25.11.2023 - 23.01.2024).



Le Chevreuil Der Hirsch

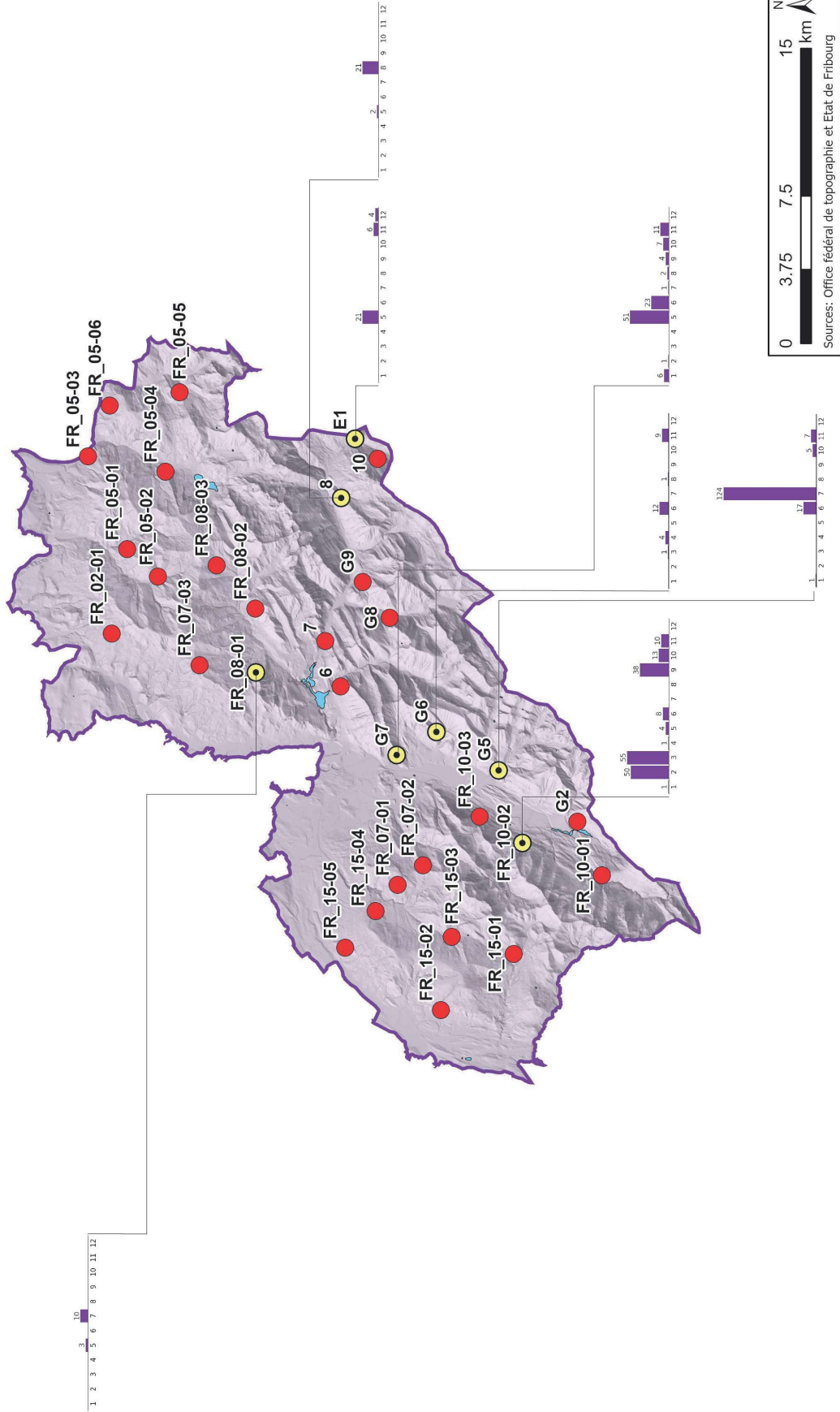


1.3 Capreolus capreolus

Répartition et abondance des chevreuils par site et par pentade durant la période du monitoring (25.11.2023 - 23.01.2024).

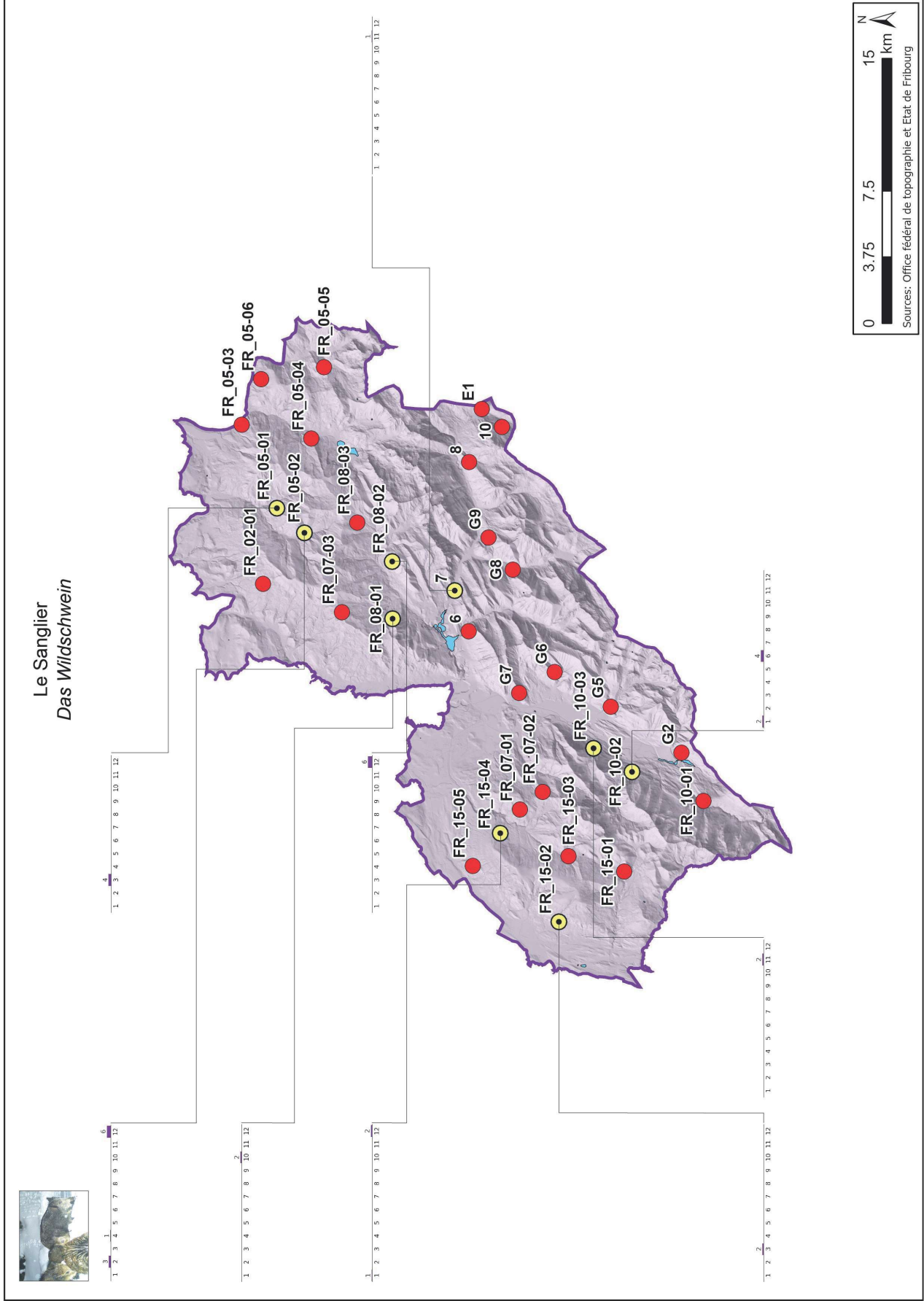


Le Chamois
Die Gämse



1.4 *Rupicapra rupicapra*

Répartition et abondance des captures de chamois par site et par pentade durant la période du monitoring (25.11.2023 - 23.01.2024).

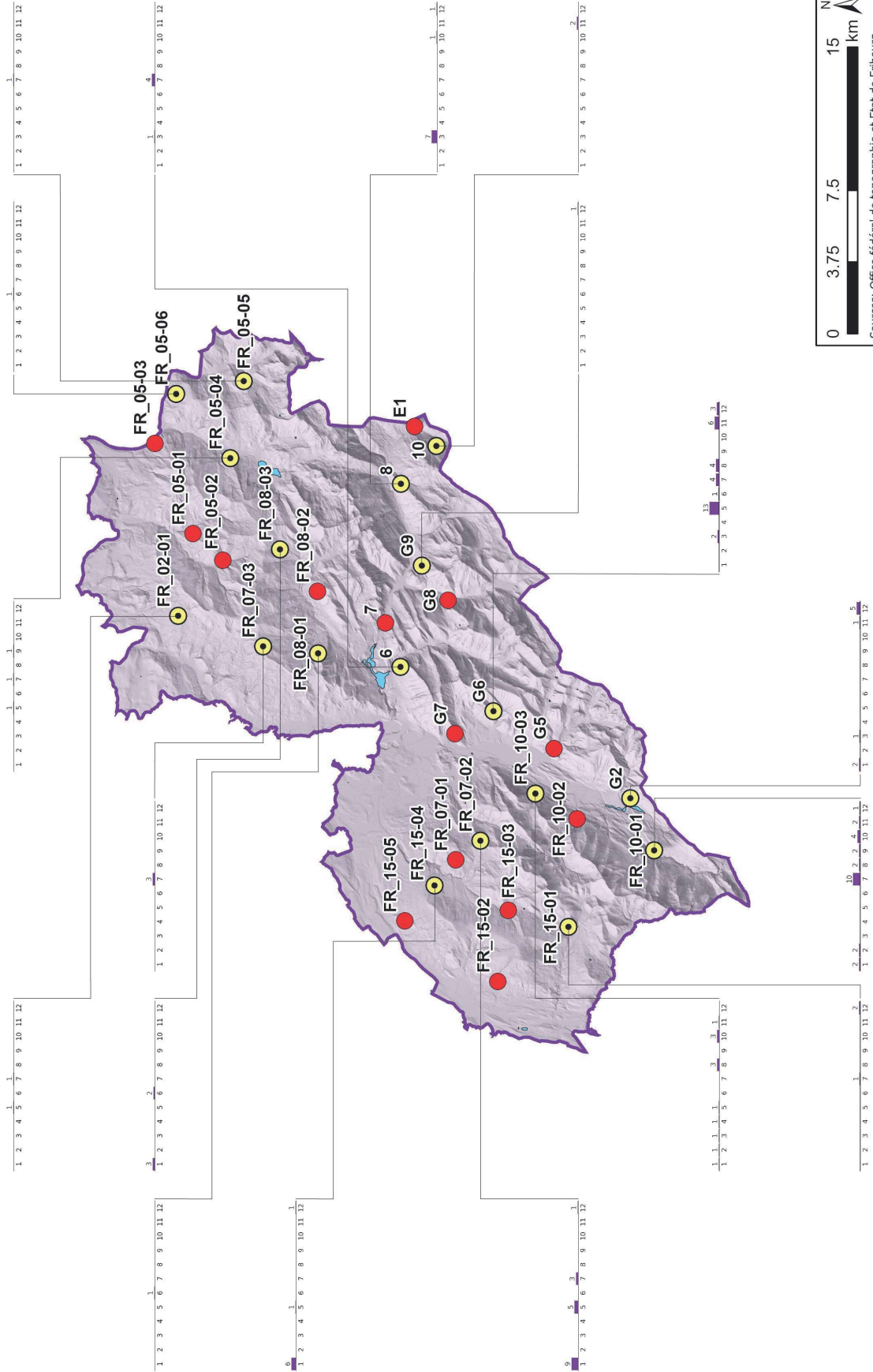


1.5 Sus scrofa

Répartition et abondance des captures de sangliers par site et par pentade durant la période du monitoring (25.11.2023 - 23.01.2024).



Le Lièvre brun Der Feldhase

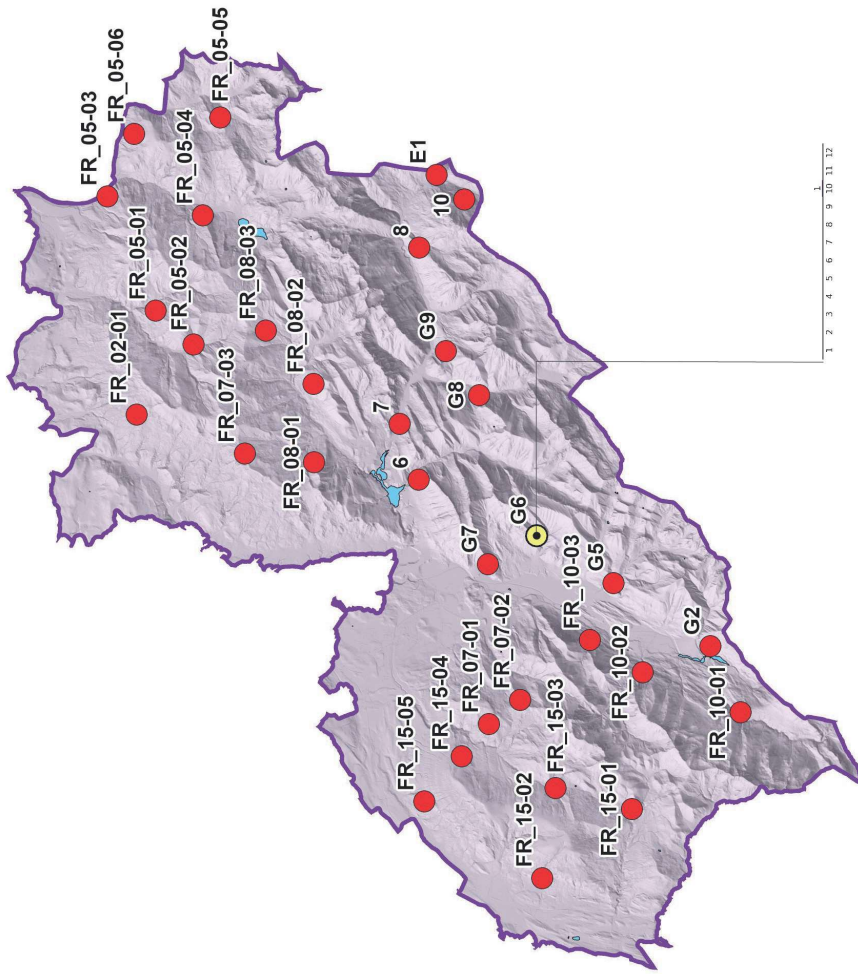


1.6 *Lepus europaeus*

Répartition et abondance des captures de lièvres bruns par site et par pentade durant la période du monitoring (25.11.2023 - 23.01.2024).



Le Lièvre variable
Der Schneehase

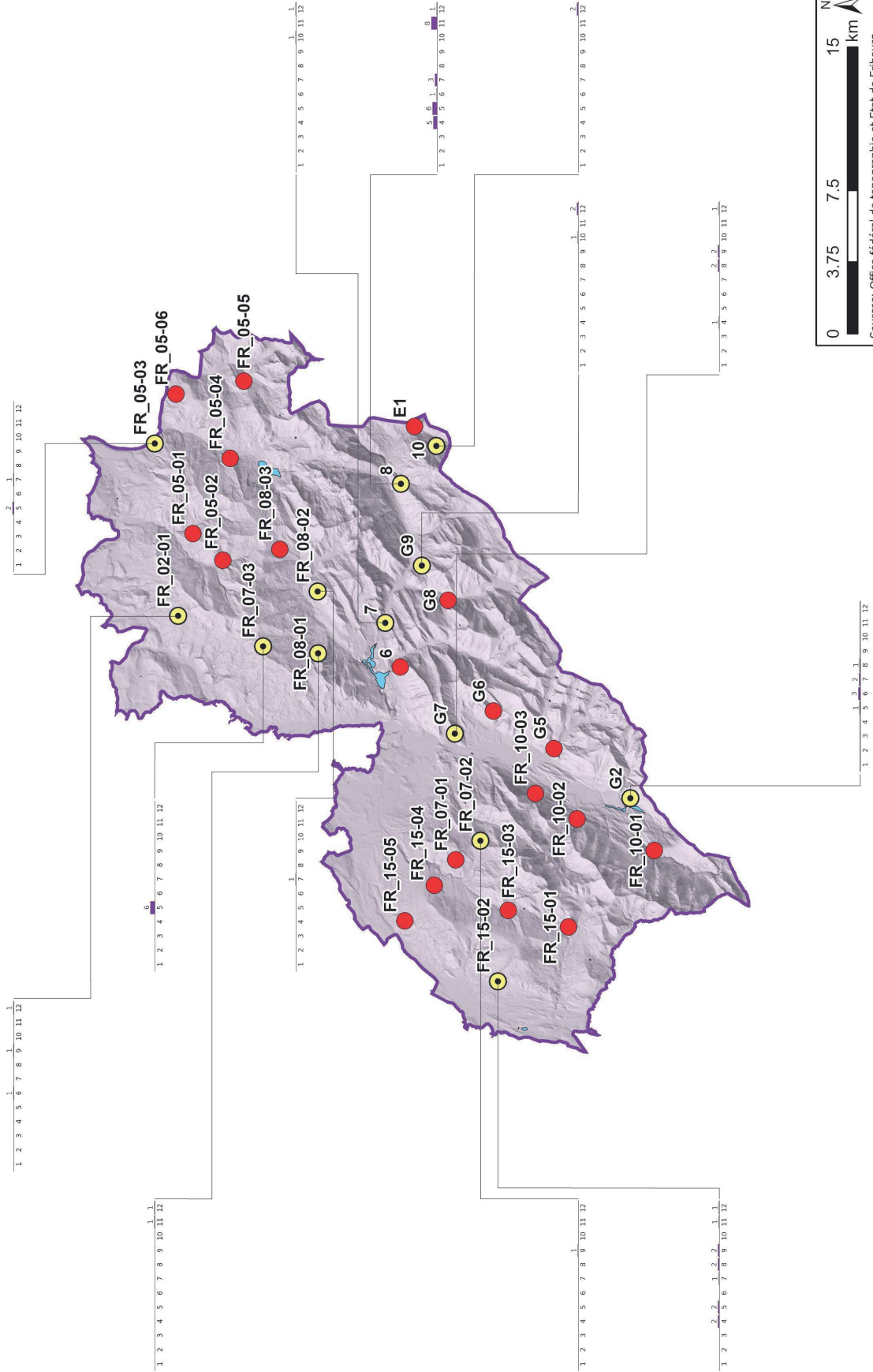


1.7 Lepus timidus

Répartition et abondance des captures de lièvres variables par site et par pentade durant la période du monitoring (25.11.2023 - 23.01.2024).



Le Blaireau Der Dachs

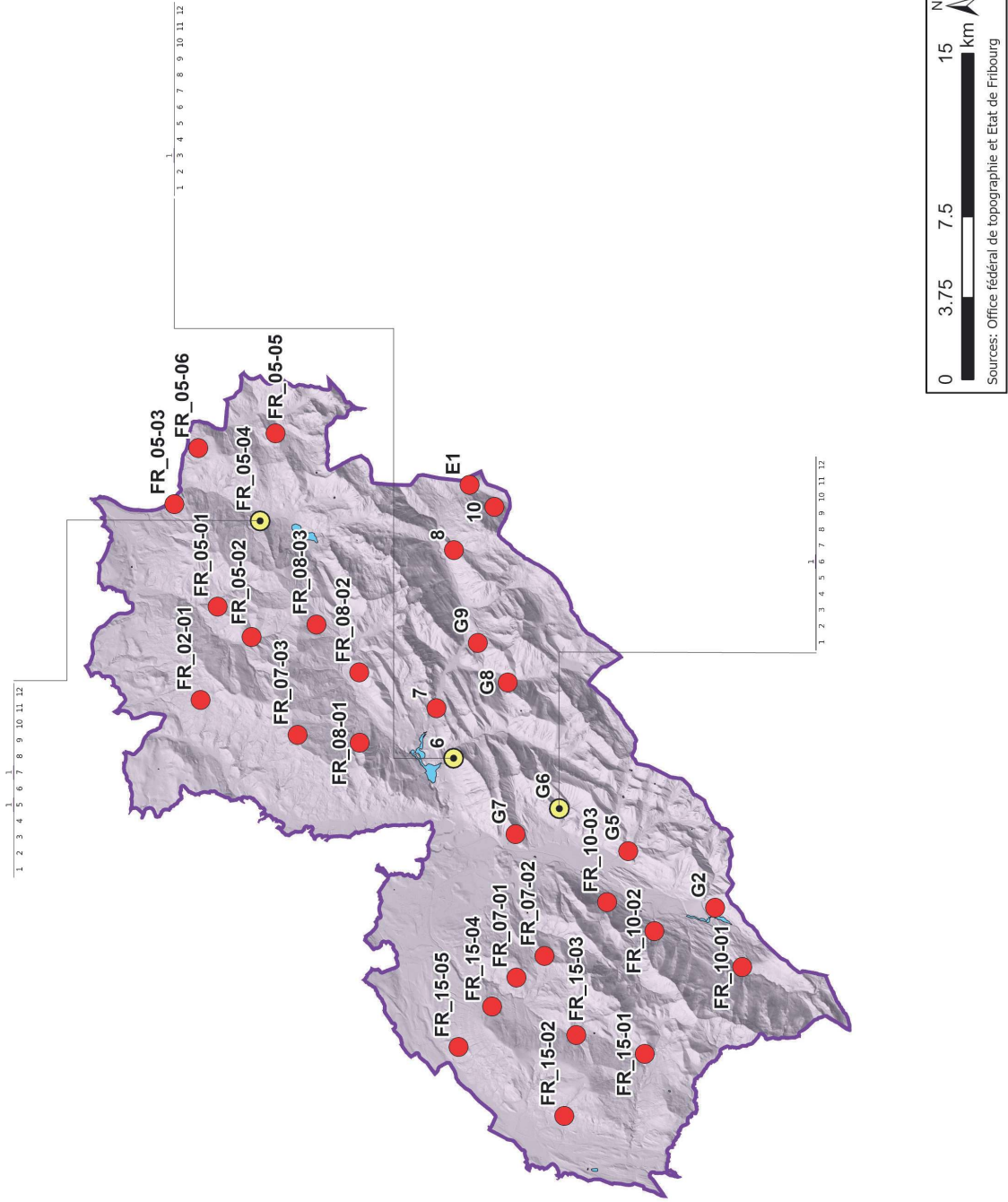


1.8 Meles meles

Répartition et abondance des captures de blaireaux par site et par pentade durant la période de monitoring (25.11.2023 – 23.01.2024).



La Fouine Der Steinmarder

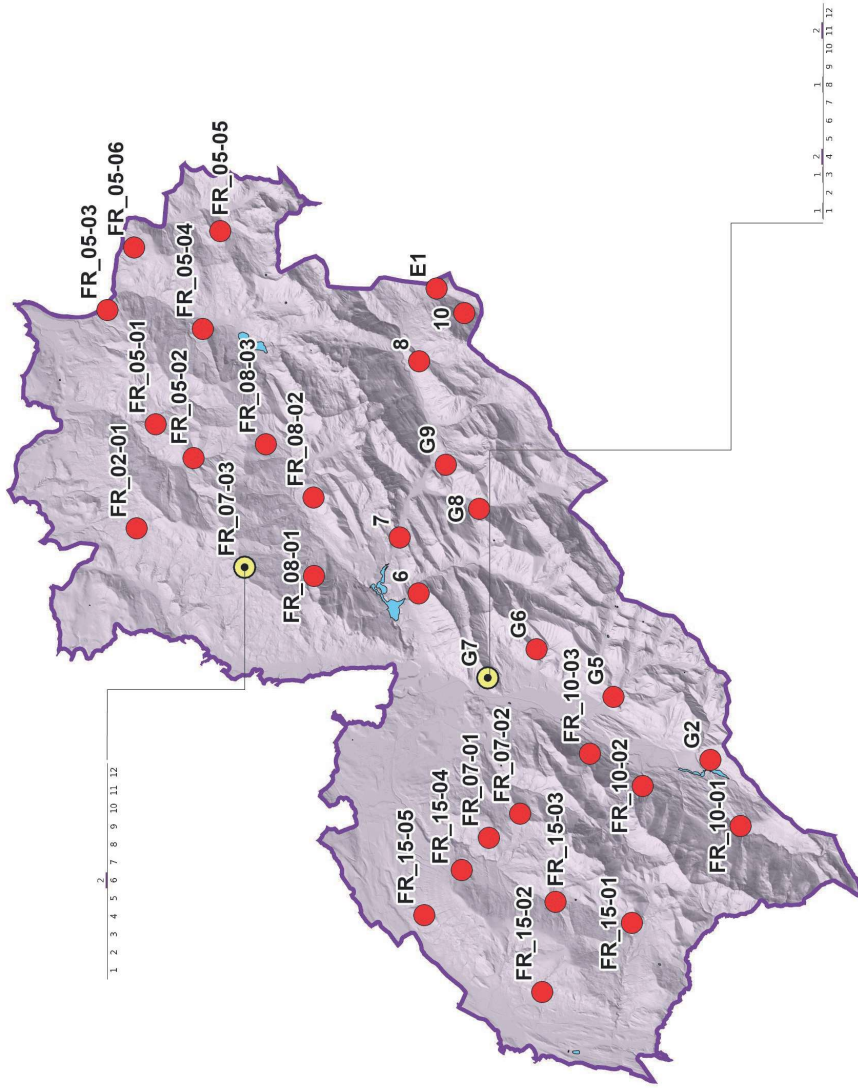


1.9 Martes foina

Répartition et abondance des captures de fouines par site et par pentade durant la période de monitoring (25.11.2023 - 23.01.2024).

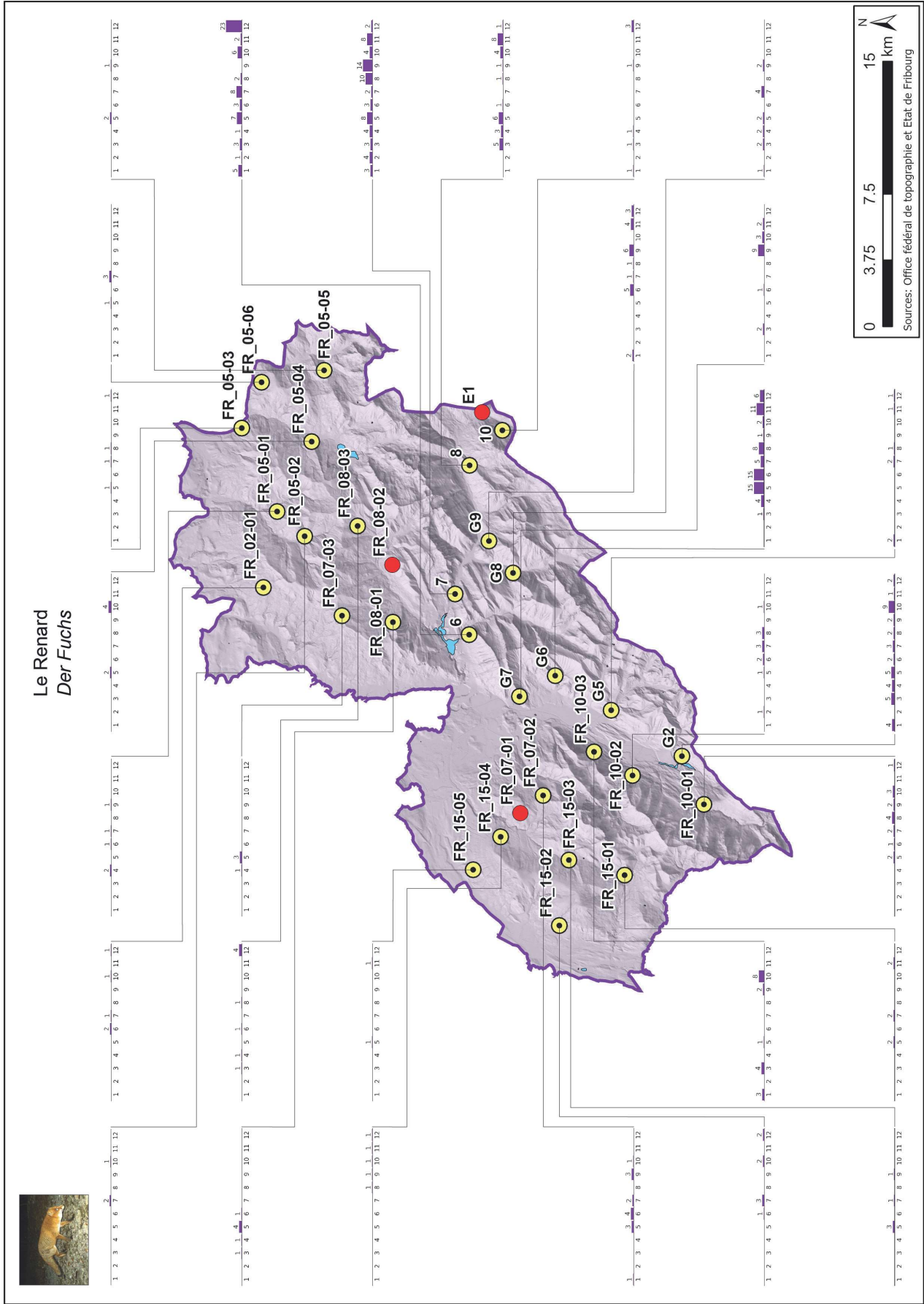


La Martre des pins Der Baumarder



1.10 Martes martes

Répartition et abondance des captures de martres par site et par pentade durant la période du monitoring (25.11.2023 – 23.01.2024).

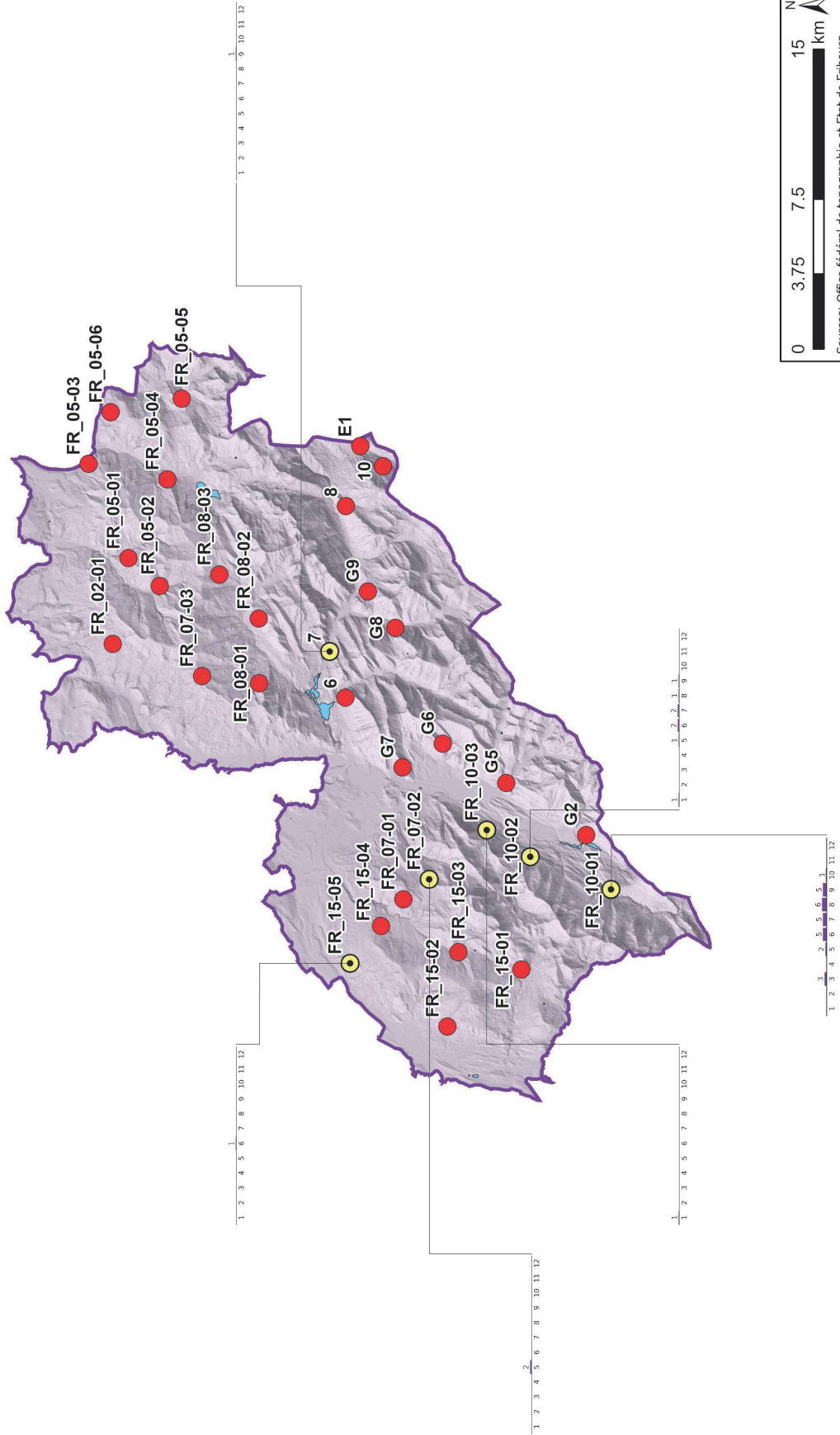


1.11 Vulpes vulpes

Répartition et abondance des captures de renards par site et par pentade durant la période du monitoring (25.11.2023 – 23.01.2024).



Le chat domestique
Die Hauskatze



1.12 *Felis catus*

Répartition et abondance des captures de chats domestiques par site et par pentade durant la période du monitoring (25.11.2023 – 23.01.2024).

Service des forêts et de la nature SFN

Route du Mont Carmel 5, Case postale 155, 1762 Givisiez

www.fr.ch/sfn

Novembre 2024

