

Etat de conservation du loup en France

Mise à jour 2025 de la viabilité
démographique de la population sous régime
de tirs dérogatoires

10 sept. 2025

Rapport sur saisine ministérielle du
04.12.2024

Directrices de la publication :



Bénédicte Augeard, Directrice de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Office Français de la Biodiversité (OFB)



Nirmala Séon-Massin, Directrice de l'Expertise, Muséum national d'Histoire naturelle

Auteur(e)s

Christophe Duchamp, Office Français de la Biodiversité - Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Service Gestion et conservation des Espèces à enjeux, Gap - France

Cyril Milleret, CNRS, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Montpellier – France & Faculty of Environmental Sciences and Natural Resource Management, Norwegian University of Life Sciences, Ås, Norway

Olivier Gimenez, CNRS, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Montpellier – France



Avec la contribution du travail collectif assuré par le Réseau Loup/Lynx qui a permis la collecte des données nécessaires à cette étude ainsi que du laboratoire Antagene pour la production des génotypages non-invasifs sous convention de marché public N°3328064



Remerciements

Nous remercions C. Eraud, P-Y. Quenette, B. Augeard, R. Berrebi, N. Jean, N. Seon-Massin, A. Robert, G. Bal, D. Meneghel et L. Rallu ainsi que le comité de pilotage pour leurs relectures et critiques constructives lors de l'élaboration du manuscrit.

Suggestion de de citation :

Duchamp, C. Milleret C., Gimenez, O. 2025. Etat de conservation du loup en France : mise à jour 2025 de la viabilité démographique de la population sous régime de tirs dérogatoires. Rapport de saisine inter-ministérielle du 04.12.2024. OFB/CEFE-CNRS., France. 25 pages. Disponible sur : <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1200>

MOTS-CLEFS : loup, dynamique de population, ADN non invasif, viabilité, taux de croissance, Directive Habitat-Faune Flore, tir légal de loup

KEYWORDS: wolf, population dynamics, population monitoring and non-invasive genetic sampling, Viability analysis, carnivore management, Habitat directive, wolf removal.

SOMMAIRE

SOMMAIRE	3
RESUME	4
1 OBJET DE LA SAISINE	5
2 SUIVI DES POPULATIONS, MARQUAGES ADN NON-INVASIFS ET SERIE TEMPORELLE DES EFFECTIFS.....	6
2.1 Suivi terrain et données sources	6
2.2 Définitions.....	7
3 MODELISATION DU TAUX DE CROISSANCE OBSERVE	8
3.1 Trois modèles mis en concurrence.....	8
3.2 Résultats	10
4 PROJECTIONS DEMOGRAPHIQUES	12
4.1 Modélisation de l'effet des prélèvements dérogatoires.....	12
4.2 Résultats	14
5 DISCUSSION - CONCLUSIONS	17
5.1 Une population au seuil de mortalité supportable.....	17
5.2 Formulation et pouvoir de prédiction des modèles	18
5.3 Recommandations pour la gestion.....	18
5.4 Etudes Prospectives	21

RESUME

1. La population française de loups est suivie depuis près de 30 ans par un réseau multipartenaire de correspondants piloté par l'OFB et déployé sur l'intégralité du territoire national. Des analyses génétiques sont réalisées en continu pour permettre le « marquage » non-invasif individuel d'une fraction de la population. L'application de modèles de capture-recapture permet de mesurer la démographie de la population sur la base d'une estimation annuelle de l'effectif de la population avec son incertitude associée.
2. Le dernier exercice de modélisation démographique estimait la population de loups en France entre 920 et 1125 individus à l'issue de l'hiver 2023-2024. En 2024, les ministères en charge de l'écologie et de l'Agriculture ont souhaité avoir une projection de la population à l'horizon 2035 sous contraintes de tirs dérogatoires en actualisant les travaux de l'évaluation prospective déjà conduits en 2017. Trois modèles bayésiens hiérarchiques sont mis en concurrence pour projeter les trajectoires possibles de la population à partir de l'estimation mise à jour des taux de croissance interannuels et en tenant compte des niveaux de prélèvements dérogatoires fixés à 19% de population depuis 2019.
3. Les données de capture-recapture montrent une tendance démographique de la population à la stabilisation. Le taux de mortalité moyen toutes sources confondues est actualisé à 38% (IC95% : 31-44) pour la période 2019-2024, ce dernier correspondant dans la littérature aux seuils connus auquel on peut attendre une croissance nulle d'une population de loups. Malgré une tendance récente à la stabilisation des effectifs, les résultats du meilleur modèle démographique basé sur la série de 29 années reste celui d'une croissance constante sans rupture significative.
4. L'application du meilleur modèle prédictif permet de simuler l'effet de différents niveaux de tirs dérogatoires sur les effectifs de la population, et estimer un risque associé que la population augmente ou baisse entre l'hiver 2023/24 et 2024/25. Ainsi, le régime actuel de prélèvements dérogatoires donne une probabilité de décroissance de la population estimé à 56%. En parallèle, le modèle estime une probabilité de 26% que la population affiche des taux de croissance >10%.
5. Sous hypothèse du non-changement des règles de gestion actuelle (niveau de prélèvement fixé à 19% de l'effectif estimé), les projections à l'horizon 2035 montrent une large gamme de trajectoires démographiques possibles. Contrairement aux résultats de 2017 (expertise collective), l'actualisation des projections montre aujourd'hui des possibilités de trajectoires de décroissance de la population, pouvant s'expliquer en partie par l'augmentation du nombre de tirs dérogatoires après 2019.
6. Les intervalles de confiance associés à cette projection montrent le large champ d'incertitude associé, traduisant le faible pouvoir prédictif des modèles sur le moyen terme. L'application du principe de gestion adaptative est recommandée pour prendre en compte cette incertitude et adapter les niveaux de gestion en fonction de l'actualisation annuelle des connaissances.

1 OBJET DE LA SAISINE

Ce rapport répond à la saisine Interministérielle (Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires et Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire et de la Forêt) en date du 04 décembre 2024 adressée conjointement à l'Office Français de la Biodiversité et au Muséum National d'Histoire Naturelle portant sur « *l'expertise de l'état de conservation du Loup en 2025* » en actualisation de l'expertise collective sur le sujet de 2017 (Duchamp et al., 2017¹). En réponse à la commande, le rapport présente la mise à jour des projections démographiques et de viabilité de la population à l'horizon 2035, en utilisant les dernières données disponibles d'estimations d'effectifs de l'hiver 2023-2024 (Milleret et al., 2025², ³).

La saisine rappelle la croissance de la population de loups constatée en France et la nécessité de recourir aux tirs du prédateur, sous le régime dérogatoire de la Directive Habitats Faune Flore, notamment ciblés sur les foyers d'attaques. Face aux dommages importants sur les troupeaux domestiques, la saisine demande l'évaluation de l'état de conservation de la population à moyen terme sous le régime de tir dérogatoire actuel (défini par l'Etat sur la base d'un pourcentage de la population estimée, soit 19 % actés depuis 2019).

La demande porte également sur l'expertise des trajectoires potentielles de la population de loups avec une analyse critique des seuils de prélèvement acceptable en regard de la stratégie de gestion pour éclairer la décision publique ; ainsi que l'intérêt d'une évaluation annuelle de l'état des populations.

Le rapport ne traite pas des perspectives de viabilité génétique, dont le cahier des charges qui est demandé est développé par ailleurs dans le second volet de réponse à cette saisine (Bal et al., en cours). La demande ne porte pas sur le lien entre les régimes de tirs et son efficacité et/ou pertinence à réduire les attaques. Une thèse de doctorat (Grente 2021⁴) traite par ailleurs du sujet de l'impact des tirs sur l'intensité et le rythme des dommages aux troupeaux dans une approche comparative avant/après réalisation de chaque intervention.

¹ Duchamp et al. 2017 : Expertise collective scientifique sur la viabilité et le devenir de la population de loups en France à long terme. Coordination ONCFS-MNHN E. Marboutin & A. Saboulet- 93 p. <https://www.mnhn.fr/fr/expertise-collective-viabilite-et-devenir-population-loups-en-france-a-long>

² Milleret et al., 2025. Mise à jour des estimations démographiques et des effectifs de la population de loups en France lors de l'hiver 2023/2024. <https://hal.science/hal-05016361>

³ Milleret ,et al. 2025 . Estimating wolf population size in France using non-invasive genetic sampling and spatial capture recapture models. Preprint arXiv. <https://arxiv.org/abs/2508.12434>

⁴ Grente O. 2021. Le phénomène de déprédation chez le loup gris (Canis lupus) et ses interactions avec le contrôle légal : le cas de l'arc alpin français. Thèse PhD <https://theses.hal.science/tel-03558247>

2 SUIVI DES POPULATIONS, MARQUAGES ADN NON-INVASIFS ET SERIE TEMPORELLE DES EFFECTIFS

2.1 SUIVI TERRAIN ET DONNEES SOURCES

Le suivi de la population de loups en France est réalisé sur la base de relevés continus des indices de présence de l'espèce. Ces indices sont recueillis par un réseau d'observateurs, rassemblant une majorité de professionnels de la faune sauvage assortis de contributeurs volontaires (chasseurs, naturalistes, particuliers, bergers, etc.), déployés dans tous les départements français et formés à cet effet (<https://professionnels.ofb.fr/fr/reseau-loup-lynx>). Cette surveillance continue est organisée dans l'espace sur le territoire national, et dans le temps au travers de sessions terrain hivernales suivant une stratégie d'échantillonnage stratifiée de récolte des échantillons organisée par maille (Réseau loup lynx, 2025⁵).

Les méthodes de recueil des données sont standardisées à l'échelle nationale et permettent de récolter des indices biologiques tels les excréments, poils, urine et sang laissés par les loups sur le terrain. Ces indices ainsi que les tissus récoltés sur les dépouilles font l'objet d'analyses génétiques au travers de l'utilisation de 22 marqueurs microsatellites (Duchamp et Queney, 2019⁶; Pirog *et al.*, 2025⁷ pour les détails). Les génotypages sont utilisés comme outil de reconnaissance individuelle servant de « marquage » non-invasif des individus, lesquels sont utilisés pour l'application des modèles de capture-recapture (CR). Milleret *et al.* (2025) donnent la mise à jour des estimations d'effectifs jusqu'à l'hiver 2023-2024 (fig. 1) accompagné de leurs paramètres démographiques. Ainsi, la population de loups en France était estimée entre 920 et 1125 individus à l'issue de l'hiver 2023-2024 avec un taux de mortalité toutes sources confondues de 38%. La série de données des estimations d'effectifs moyens sur 29 ans ainsi que le nombre d'individus prélevés par tirs déroatoires, constituent le jeu de données servant de base aux projections de viabilité réalisées dans ce travail.

⁵ Réseau loup lynx 2025. <https://www.loupfrance.fr/mise-en-oeuvre-du-suivi-hivernal-du-loup-gris-2024-2025/>

⁶ Duchamp, C. et Queney, G. 2019. Bilan du suivi génétique des loups 2018. Rapport de synthèse OFB. https://www.loupfrance.fr/wp-content/uploads/LE-SUIVI-GENETIQUE-DES-LOUPS-EN-2018_201903.pdf

⁷ Pirog *et al.*, 2025. Standardization of a High-Quality Methodological Framework for Long-Term Genetic Monitoring of the French Wolf Population. *Ecol Evol.* 15: Issue 4

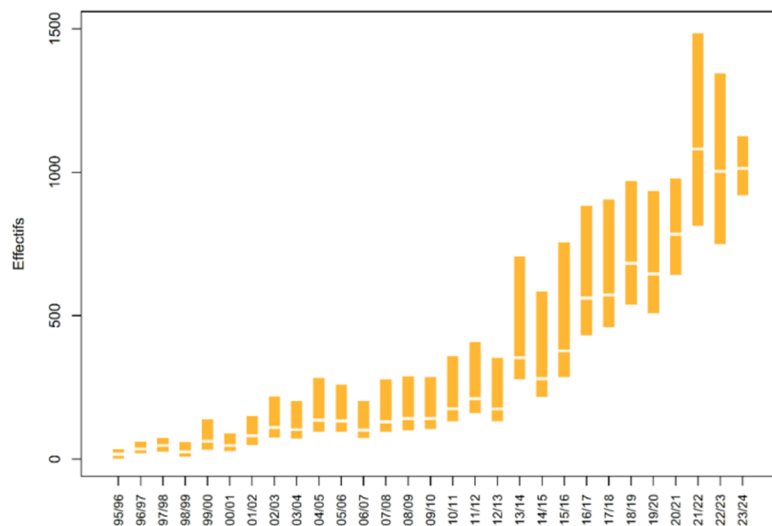


Figure 1 : Série temporelle des effectifs de la population de loups estimés par modélisation capture-recapture, mise à jour pour l'hiver 2023-2024. Les barres représentent les estimations basses et hautes des intervalles de confiance à 95% des effectifs. La valeur moyenne des estimations est représentée par une barre horizontale blanche. Tiré de Milleret et al., 2025

2.2 DEFINITIONS

Les estimations annuelles des effectifs (N) à partir de la méthode de capture-recapture entre l'hiver 1995/96 et 2023/24 permettent d'estimer le taux de croissance de la population (λ). Le taux de croissance est défini tel que $\lambda = \frac{N_{t+1}}{N_t}$. Un taux de croissance inférieur à 1 signifie que les effectifs ont diminué entre l'année t et $t+1$, égal à 1 que les effectifs sont stables, et supérieur à 1 que les effectifs ont augmenté. On peut ensuite utiliser les estimations de ce taux de croissance afin de prédire la trajectoire future de la population, tout en considérant différents scénarios de gestion. Dans la suite, on distingue trois termes définissant ce taux de croissance :

- Le taux de croissance *instantané* (λ) : il représente le rapport de croissance entre deux années consécutives. Il ne caractérise pas la dynamique générale de la population car il n'a pas de continuité temporelle. Ainsi une année peut être moins bonne que les autres, pour autant avec une dynamique positive sur plusieurs années.
- Le taux de croissance *observé* (λ_{obs}) : il représente la moyenne des taux de croissance estimée à partir des effectifs sur une période donnée. Il reflète donc la dynamique de la population, telle qu'observée par les estimations des effectifs. Ce taux de croissance observé inclut donc nativement toutes sources d'entrées et de sorties d'individus telles que les naissances, toutes les sources mortalités, les immigrations et émigrations.
- Le taux de croissance *potentiel* (λ_{pot}) : il représente le taux de croissance que la population aurait pu avoir hors effet de la source de mortalité par tirs dérogatoires. Ce taux potentiel reconstruit est indispensable pour simuler l'effet de différentes stratégies de gestion de sorte à ne pas compter la mortalité en double (e.g. contenue dans les données observées et dans le pourcentage de tir appliqué dans la simulation).

3 MODELISATION DU TAUX DE CROISSANCE OBSERVE

3.1 TROIS MODELES MIS EN CONCURRENCE

Nous avons utilisé un modèle bayésien hiérarchique afin de distinguer les processus observationnels (liés à la détection des indices biologiques), des processus écologiques (liés à la démographie) impliqués dans la croissance de la population de loups (voir encart 1). La série des taux de croissance instantanés sur les 29 années de suivi (soit 28 taux de croissance) est représentée sur une tendance temporelle pour visualiser les éventuels points de rupture. (Figure 2a). Pour modéliser ce taux de croissance observé, trois alternatives sont testées :

- Le premier modèle suppose une croissance exponentielle de la population avec son taux de croissance (λ_{obs}) constant au cours de toute la période d'étude. La stochasticité (i.e., les aléas) démographique et/ ou environnementale n'est pas captée par ce modèle, car le taux de croissance est considéré comme constant.
- Un deuxième modèle suppose une croissance de la population avec un taux qui varie en fonction de 2 périodes : $\lambda_1=1995/96-2017/18$ et $\lambda_2= 2018/19-2023/24$. Ces deux périodes ont été définies pour prendre en compte les différences de gestion soit un taux de tirs dérogatoires de 19% de la population appliqué depuis 2019 alors qu'il était plus modéré auparavant (tirs occasionnels ou inférieur à 10% des effectifs, fig. 2). Ce découpage est aussi justifié au vu du taux de survie qui diminue significativement post 2018 (Milleret *et al.*, 2025). Ce modèle a pour but de détecter si une cassure dans l'évolution des effectifs, tel un freinage ou au contraire une augmentation du rythme de croissance est significative.
- Un troisième modèle suppose aussi une croissance exponentielle de la population mais avec un taux de croissance (λ_{obs}) qui varie annuellement selon une distribution normale $\lambda_{obs} \sim Normale(\lambda_0, \sigma_\lambda)$, où λ_0 représente la moyenne et σ_λ l'écart type. Cette formulation a pour but de capturer la stochasticité démographique annuelle du taux de croissance sans présager d'une quelconque tendance temporelle.

Dans les trois alternatives testées, nous stipulons donc que les effectifs N_t à l'année t sont obtenus à partir des effectifs à l'année $t - 1$, multiplié par le taux de croissance annuel λ :

$$N_t = \lambda N_{t-1}$$

Dans un premier temps, on ne retrace pas les prélèvements pour estimer le taux de croissance observé. Cela veut dire que le taux de croissance prend en compte l'effet de toutes les sources de mortalités confondues (tirs dérogatoires et autres) déjà contenues dans le rapport d'effectifs en sortie d'hiver. La mortalité par tirs est prise en compte annuellement. Les différences des taux de survie de la population étant non significatives jusque 2018 (cf Milleret et al, 2025), nous avons considéré un découpage en deux périodes pré et post 2019 pour focaliser l'évaluation de l'effet des prélèvements sur les modalités de gestion actuelle.

Encart 1 : Détails statistiques des modèles de croissance

Les modèles hiérarchiques bayésiens permettent de modéliser la croissance des populations en distinguant les processus observationnels (liés à la détection des indices biologiques), des processus écologiques (lié à la démographie) impliqués dans la croissance de la population de loups (Andr  n *et al.*, 2020). Pour prendre en compte la variabilité démographique, on suppose que les effectifs sont distribués selon une distribution log-normale, autrement dit que les effectifs sont normalement distribués sur l'échelle log :

$$\log(N_t) \sim \text{Normal}(\mu_t; \sigma_{\text{proc}})$$

avec μ_t = l'espérance de $\log(N_t)$ et σ_{proc} l'erreur standard des effectifs sur l'échelle log. L'erreur d'observation des effectifs hivernaux moyens obtenus par les méthodes de capture-recapture (y_t) est modélisée via une loi de Poisson de paramètre ψ_t , distribuée sur loi Gamma pour compenser la sur-dispersion, classique dans ce type de données de dénombrement :

$$y_t \sim \text{Poisson}(\psi_t)$$

$$\text{avec } \psi_t \sim \gamma(\alpha_t, \beta_t) \text{ et } \alpha_t = \frac{N_t^2}{\sigma_{\text{obs}}^2} \text{ et } \beta_t = \frac{N_t}{\sigma_{\text{obs}}^2} :$$

Les 3 modèles décrits ci-dessus ont été ajustés dans un cadre Bayésien avec les librairies NIMBLE 1.3.0 (de Valpine *et al.* 2017, 2024) utilisant des méthodes de Monte Carlo par chaînes de Markov (MCMC) sous R 4.3.0 (R Core Team 2023). Pour tous les modèles, nous avons utilisé 4 chaînes avec 200 000 itérations dont 20 000 itérations de "préchauffage" (burn-in). La convergence des modèles a été évaluée en utilisant le diagnostic de Gelman-Rubin (Rhat <1.1, Gelman and Rubin 1992) ainsi que visuellement pour s'assurer du bon mélange des chaînes pour chacun des paramètres.

Les simulations incluent explicitement les erreurs dans le processus d'observation et les variations possibles (mais non prévisibles) du processus écologique. La prédiction ne donne donc pas une valeur unique de taux de croissance mais une distribution du taux de croissance possible (avec son intervalle de crédibilité à 95%^{nb}).

Pour en savoir plus : Andr  n *et al.* 2020. Harvest models of small populations of a large carnivore using Bayesian forecasting. Ecological Applications 30(3). <https://doi.org/10.1002/eap.2063>

NB/ L'intervalle de crédibilité est l'équivalent bayésien de l'intervalle de confiance. Tous deux mesurent l'incertitude autour des estimations. Son interprétation est cependant légèrement différente en mesurant la probabilité qu'un paramètre soit dans un intervalle de crédibilité à 95 % est de X/100.

L'actualisation en 2024 du taux de croissance moyen observé, associé au taux de mortalité d  j disponible dans Milleret *et al.* 2025, nous permet de mettre en perspective nos résultats par rapport à d'autres contextes internationaux. Nous utilisons le modèle tiré de Marescot *et al.*, 2012⁸ pour replacer la population française de loups (mise à jour 2023/2024) dans un graphique représentant les taux de croissance de plusieurs dizaines de populations de loups dans le monde en fonction de leurs taux de mortalité estimés.

⁸ Marescot *et al.* 2012 Reducing matrix population models with application to social animal species. Ecological Modelling 232 : 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.02.017>

3.2 RESULTATS

3.2.1 Croissance observée

La réalisation des tirs dérogatoires est donnée en figure 2a pour définir les deux grandes périodes d'intérêt avant et après 2019 qui marquent les différences de stratégie de gestion de la population entre les deux plans d'action successifs. La simple observation des différents taux de croissance instantanée entre les années (fig. 2b) permet d'observer les fortes variations inhérentes aux premiers stades de colonisation de l'espèce (e.g. passage de 2 à 4 meutes sur des temps courts) dans le sud-est de la France. L'amplitude des variations annuelles s'estompent au fil du temps. Les taux de croissance instantanés varient autour de +/- 5% pour les deux dernières années.

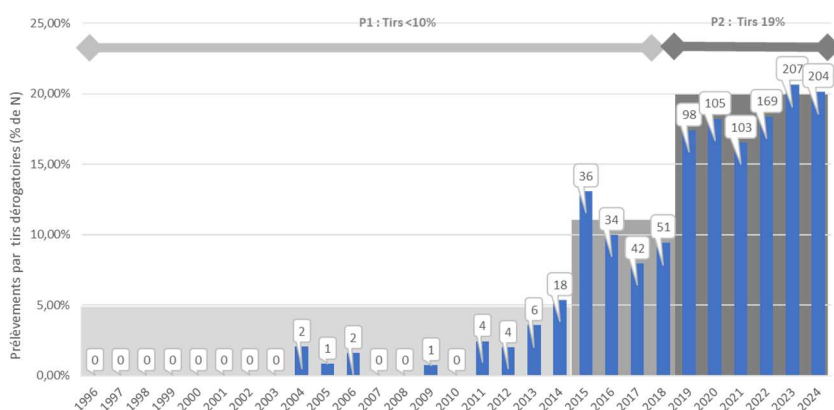


Figure 2a : Niveaux de prélèvements des loups par tirs dérogatoires selon 2 périodes P1 : tirs <10%, P2 : tirs ~ 19 % de la population. Le niveau de tir est représenté par des barres horizontales en pourcentage de l'effectif moyen estimé. Les valeurs représentent le nombre d'individus prélevés.

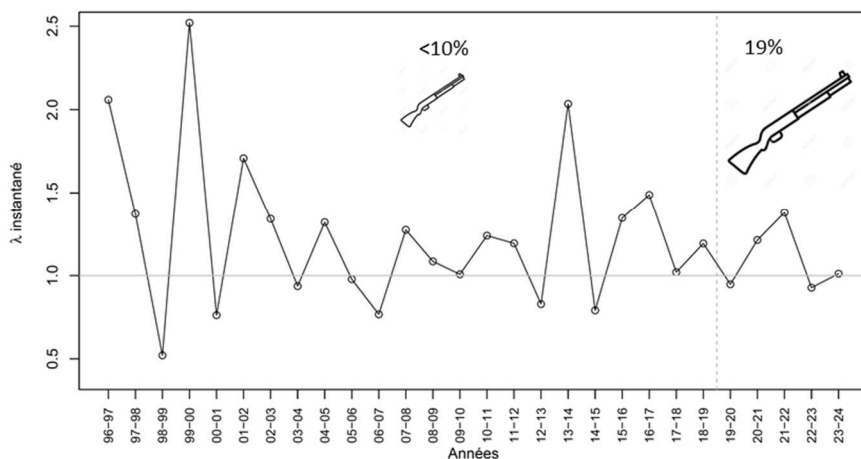


Figure 2b : variation des 28 taux de croissance instantanés au cours des 29 années de suivi de la population de loups en France. Les estimations des effectifs moyens obtenus par capture-recapture sont utilisés pour calculer le taux de croissance. Ce graphique ne prend pas en compte l'incertitude des estimations- voir Milleret et al. 2025 pour la dernière mise à jour.

L'estimation des taux de croissance de la population est représentée par sa distribution assortie de son intervalle de confiance. Le modèle simple exponentiel estime une croissance moyenne de $\lambda_{obs}=1.15$ (intervalles bayésiens de crédibilité à 95% : 1.09-1.21), soit entre 9 et 21% de croissance annuelle en moyenne sur les 29 années de suivi de la population (fig. 3). Le modèle avec effet période montre un léger frein du taux de croissance sur la période 2018-2024 qui reste non significatif (voir les intervalles de confiance chevauchants). Notons également la borne inférieure de l'intervalle de la dernière période ($\lambda_{obs}=0.95$), qui montre le champ des valeurs possibles du taux de croissance < à 1 soit une possible décroissance.

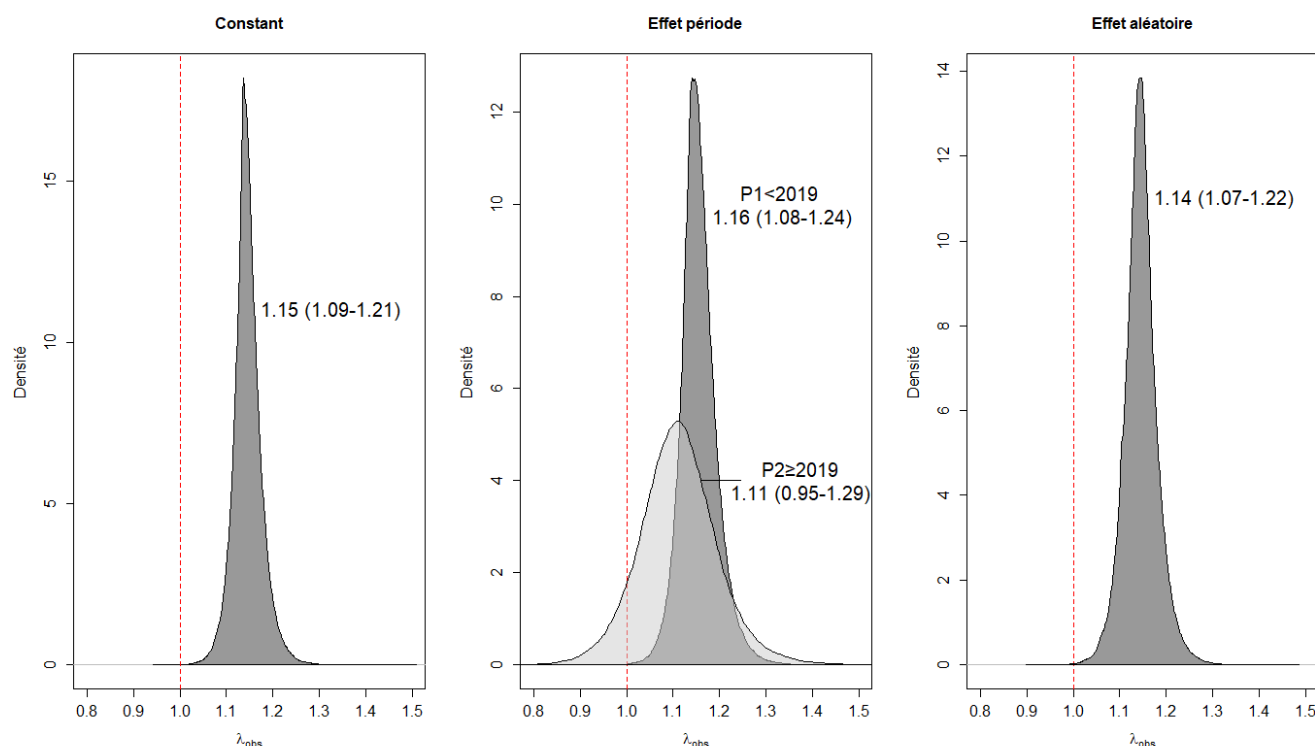


Figure 3 : Estimation (densité de probabilité) du taux de croissance observée de la population sur 29 ans sur la base d'un modèle exponentiel constant (à gauche), avec effet période (au milieu), et avec un effet aléatoire – i.e. variables selon les années - (à droite) sur le taux de croissance. Les valeurs représentent le taux de croissance observé moyen et son intervalle de crédibilité à 95% entre parenthèses. Notons les intervalles associés qui pour la 2^{ème} période présentent une borne inférieure $\lambda_{obs} < 1$.

3.2.2 Mise en perspective internationale

Le modèle démographique de Marescot *et al.* (2012) compare les données de plusieurs dizaines de populations de loups à partir du revue bibliographique (taux de croissance et taux de mortalité) et montre qu'en moyenne, une croissance nulle (soit $\lambda=1$) est attendue lorsque le taux de mortalité annuel de la population passe en deçà de 34 % (IC : 13-55%). Cette prédiction moyenne s'entoure de variations, certaines populations (point noir) étant au-dessus de la courbe moyenne et d'autres en dessous. Situé dans l'intervalle des possibles légèrement au-dessus de la courbe moyenne, le positionnement du dernier taux croissance observée en France (P2 ; $\lambda=1,11$, fig. 3) dans ce modèle, place la population française actuelle dans la gamme classique de la démographie attendue pour le niveau de mortalité estimé à 38% (fig. 4).

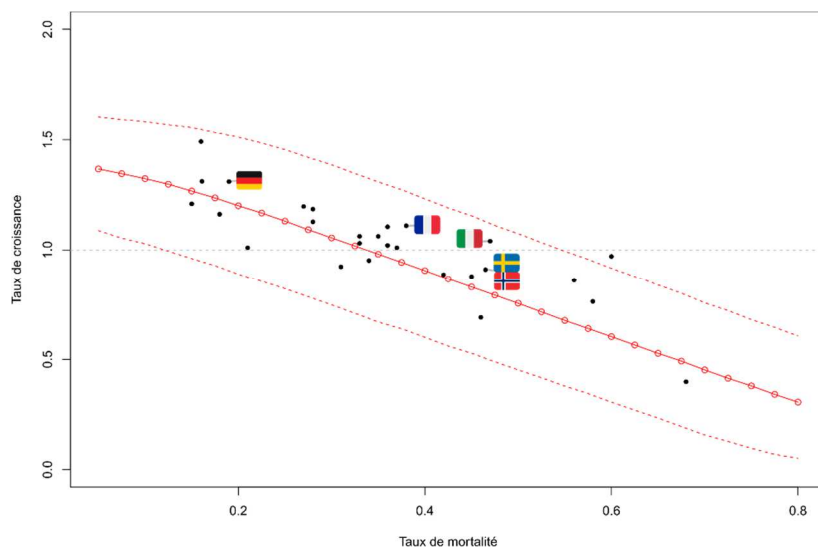


Figure 4 : Taux de croissance de plusieurs populations de loups dans le monde en fonction de leur taux de mortalité (toutes sources confondues). La place de différentes populations européennes de loups sont représentées par les drapeaux des pays correspondants. Parmi ceux-ci, on trouve la France qui est représentée pour la période P2 (ce travail), l'Italie (Marucco et al. 2009¹⁴), l'Allemagne (Planilo et al. 2024¹⁵), et la Scandinavie ; (Milleret et al. 2025³⁶). Les valeurs moyennes sont représentées. Adapté de Marescot et al. 2012⁸.

4 PROJECTIONS DEMOGRAPHIQUES

4.1 MODELISATION DE L'EFFET DES PRELEVEMENTS DEROGATOIRES

Les projections de la trajectoire de la population sont basées sur l'équation qui estime la population au temps $t+1$ à partir de celle au temps t tiré de Chapron et al., 2012 (repris dans Duchamp et al. 2017⁹ pour une synthèse et Duchamp et al. 2019¹⁰ pour une mise à jour), amputée cette fois du nombre d'animaux tués lors de tirs réglementaires à l'année t (H_t), le tout multiplié par le taux de croissance annuel (λ_{pot}) de la population :

$$N_{t+1} = \lambda_{pot}(N_t - H_t)$$

⁹ Duchamp et al. 2017. Expertise collective scientifique sur la viabilité et le devenir de la population de loups en France à long terme. coordination ONCFS-MNHN.

https://www.patrinat.fr/sites/patrinat/files/atoms/files/2018/10/expertise_collective_loup_04.04.2017.pdf

¹⁰ Duchamp et al. 2019 : Note OFB MNHN sur l'effet des tirs et perspectives de gestion. Réponse à la saisine interministérielle du 05 nov 2019. 16p. <https://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20190205-reponse-saisine-tirs-oups-oncfs-mnhn.pdf>

Cette formulation permet de quantifier, non plus le taux de croissance observé (qui contient la mortalité entre les deux valeurs N_t et N_{t+1}), mais le taux de croissance potentiel, c'est-à-dire comme s'il n'y avait pas eu de tirs dérogatoires entre les deux hivers. Ainsi libéré de la mortalité contenue dans les données, ce taux potentiel est alors utilisable pour injecter artificiellement un taux de prélèvement dans le modèle de simulation. Comme tous les modèles, celui-ci représente une simplification de la réalité étant donné que l'effet des tirs sur la croissance de la population de loups est souvent interactif avec d'autres composantes de l'écosystème. Ce taux de croissance potentiel (hors effet tir) inclut cependant l'effet des autres sources tels que les causes de mortalités naturelles, le braconnage, ou encore les collisions routières. L'écriture de ce modèle est indispensable pour simuler l'effet des tirs réglementaires (différents niveaux) pour prédire la trajectoire de la population (voir encart 2)

4.1.1 Ajustement et évaluation des modèles sur les données

Comme précédemment, les 3 modèles avec effets constant, effet période ou effet variables en fonction du temps décrits ci-dessus, ont été testés et mis en concurrence. Ils ont été comparés grâce au critère WAIC, et leur pouvoir prédictif mesurés (voir encart 2 pour les détails statistiques).

4.1.2 Projection des trajectoires de la population

Dans un premier temps, les trajectoires de la population sont simulées à l'horizon 2035 en supposant un taux de tirs constant de 19 % de la population, identique à la règle de gestion utilisée aujourd'hui (voir fig.2). Les prédictions sont faites sous l'hypothèse d'un fonctionnement de population constant, sans changement majeur sur le plan biologique, épidémiologique, ni sur le plan des perturbations anthropiques (autres que les tirs) durant toute la durée de projection. Le modèle suppose également que les conditions d'habitat et de ressources ne sont pas limitantes. Par ailleurs, le modèle n'est pas

Encart 2 : Détails statistiques du modèle de prévision

Tous les modèles réalisés dans cette étude sont ajustés dans un cadre Bayésien avec les librairies NIMBLE 1.3.0 (De Valpine *et al.* 2017, 2024) utilisant des méthodes de Monte Carlo par Chaines de Markov (MCMC) sous R 4.3.0 (R Core Team 2023).

Afin de comparer les 3 modèles (constant vs périodique vs dépendant du temps) entre eux, le critère WAIC (Watanabe-Akaike Information Criterion) est utilisé. Afin de vérifier leurs qualités prédictives, nous avons ajusté les 3 modèles aux données de 1995/96-2021/22 (en omettant donc les effectifs des 2 dernières années). Les données des deux dernières années (effectifs de 2022/23 et 2023/24 connus) sont utilisées comme témoins pour vérifier la capacité du modèle à les prédire correctement en fonction du nombre de loups tués par tirs réglementaires lors de ces 2 années (H). Le pouvoir prédictif des modèles est calculé en mesurant la différence relative entre les effectifs observés (estimés par capture-recapture, fig. 1) et les effectifs prédits. Le modèle avec la plus faible différence relative est celui avec le plus fort pouvoir prédictif moyen.

De Valpine P. (2017). *Programming With Models: Writing Statistical Algorithms for General Model Structures With NIMBLE*. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 26(2), 403–413. <https://doi.org/10.1080/10618600.2016.1172487>

Pour l'application des modèles de projection utilisés dans l'étude : <https://github.com/Cyril-Milleret/SaisineLoup2025>

structuré en classes d'âge ou en statut social des animaux. Nous assumons ainsi que l'impact des tirs sur la dynamique de la population est le même, peu importe l'individu ou la période du tir.

Dans un deuxième temps, à partir des dernières estimations des effectifs disponibles (2023/24, fig. 1), les effectifs de la population sont prédits pour l'hiver suivant afin évaluer les conséquences de différents scénarios de gestions sur la trajectoire de la population. L'effet du prélèvement sur la démographie est simulé de façon itérative pour calculer la probabilité de diminution ($\lambda < 1$) ou d'augmentation ($\lambda > 1$) de la population à l'année t+1 (soit 2024/25) en fonction de différents niveaux de prélèvements par tirs dérogatoires. La simulation couvre des niveaux de prélèvement de 55 à 395 individus tirés (soit de 5% à 40% de l'effectif prélevés).

4.2 RESULTATS

4.2.1 Sélection du meilleur modèle prédictif

Les trois modèles testés ont des valeurs de WAIC équivalentes (Tab. 1). Cela signifie qu'il n'est pas possible de choisir lequel de ces 3 modèles décrit le mieux l'évolution des effectifs. Bien que l'incertitude soit très élevée pour les 3 modèles, le modèle qui suppose un taux de croissance constant et le modèle avec effet variable selon les années (modèle dit « aléatoire ») donnent les meilleurs résultats en termes de pouvoir prédictif moyen (Tableau 1). Le modèle avec effet aléatoire présente des problèmes de convergence dans l'ajustement aux données et a donc été écarté ($R_{hat} > 1.1$). Nous avons donc utilisé le modèle le plus simple, avec effet constant, pour prédire le niveau de risque de décroissance de la population en fonction de différents niveaux de gestion. Les résultats des autres modèles concurrents sont présentés dans les annexes (cf. encart 2).

Tableau 1 : Comparaison de la qualité d'ajustement des 3 modèles concurrents pour prédire la dynamique de la population par le critère WAIC. La différence relative (et intervalle crédible à 95%) entre les prédictions des trois modèles et les effectifs obtenus par capture-recapture lors de l'hiver 2022/23 et 2023/24 sont exprimés en pourcentage d'écarts.

Modèle sur lambda	WAIC	Ecart de prédiction 2022/23	Ecart de prédiction 2023/24
Constant	257.91	4 (-40 ;74)	2 (-59;111)
Effet Période	257.85	20 (-41;78)	37 (-60;125)
Effet aléatoire	257.87	5 (-34;104)	5 (-50;196)

4.2.2 Trajectoires démographiques à l'horizon 2035

La projection à l'horizon 2035 montre l'étendue des trajectoires démographiques possibles de la population ainsi que l'incertitude traduisant le faible pouvoir prédictif à long terme (fig. 5, zone gris clair avec IC95%). L'intervalle de confiance à 50% illustre cependant la possibilité non négligeable de trajectoires décroissantes de la population sous le régime de prélèvement actuel.

Hors effet des prélèvements, le taux de croissance de la population est estimé à $\lambda_{pot} = 1,21$ (1,12-1,31). L'intervalle de confiance entre 12 et 31% montre le champ des possibles de la croissance potentielle selon les années : ainsi, le taux de prélèvement de 19% actuellement appliqué, peut être selon les années inférieure ou supérieur à la croissance de la population.

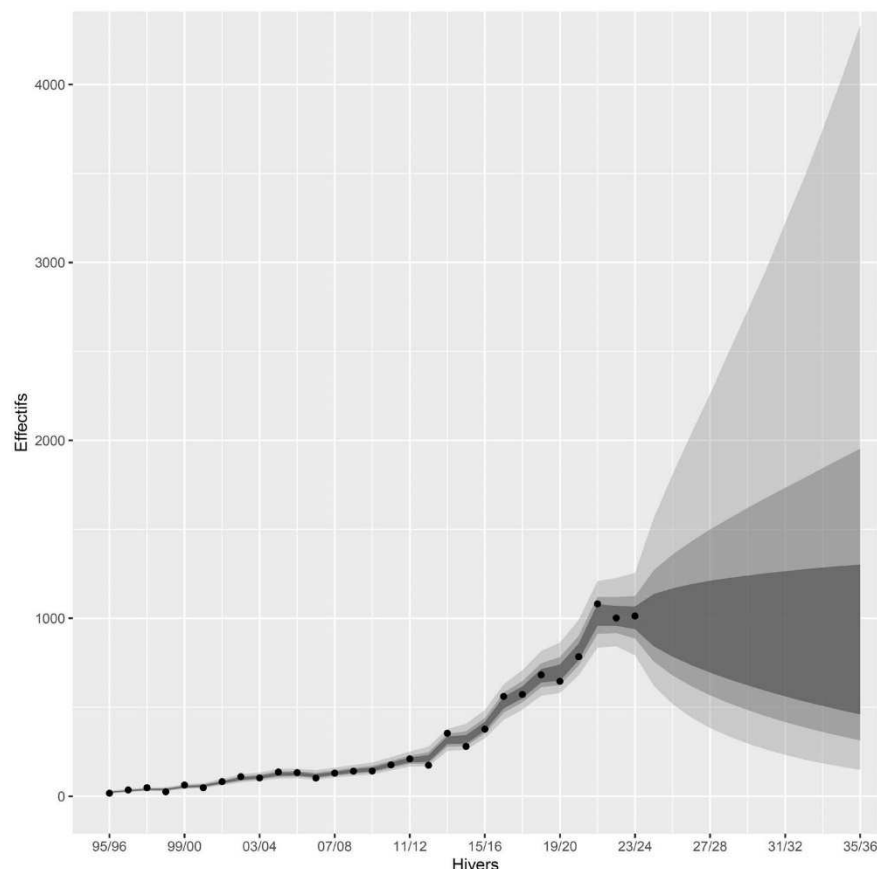


Figure 5 : Projection des trajectoires démographiques sous le modèle exponentiel à effet « constant » fixant un régime de prélèvement dérogatoire de 19% annuel. La zone grise représente l'intervalle de crédibilité à 95% (gris clair), 75% (gris intermédiaire) et 50% (gris foncé). Notons l'étendue des prédictions et leurs incertitudes à long terme, ainsi que les possibilités non nulles de trajectoires décroissantes. Les points noirs représentent les effectifs moyens estimés par capture-recapture (Fig.1).

4.2.3 Simulations selon différents niveaux de prélèvements

Le tableau 2 présente les probabilités de croissance vs décroissance de la population entre 2023/24 et 2024/25 en fonction de différents scénarios de tirs de prélèvements : une lecture du tableau selon le nombre de loups tués par tirs dérogatoires montre par exemple qu'un niveau de prélèvement de 19% (soit 192 loups) donne une probabilité de décroissance de la population de 56%. Une lecture selon le niveau de risque montre par exemple qu'un risque équilibré (autant de chance que la population augmente ou diminue) serait obtenu pour des niveaux de prélèvement autour de 17% soit (170 individus tirés). Parallèlement, il est possible de mesurer la probabilité que la population augmente faiblement (moins de 10%) ou de plus de 10% entre 2023/24 et 2024/25 en fonction du plafond de prélèvement (Fig. 6). Le modèle estime ainsi une probabilité de 26% que la population augmente de plus de 10% en conservant un plafond de 192 prélèvements (19%) pour la population actuelle.

Tableau 2 : Prédiction des effectifs (intervalle de crédibilité à 95%) de loups en 2024/25 en fonction de différents scénarios de gestion (exprimé en pourcentage de tirs dérogoatoires). Le pourcentage est fonction des effectifs de 2023/24. Les colonnes Proba ($\lambda < 1$), proba ($1 < \lambda < 1.1$), et proba ($\lambda > 1.1$) représentent la probabilité que les effectifs diminuent, augmentent entre 0 et 10%, et augmentent de plus de 10% entre 2023/24 et 2024/25, respectivement. Cf Annexe 2 pour équivalent exprimé en nombre de tirs dérogoatoires.

Tirs dérogoatoires (%)	Proba ($\lambda < 1$)	Proba ($1 < \lambda < 1.1$)	Proba ($\lambda > 1.1$)
5	0.23	0.18	0.59
6	0.25	0.19	0.57
7	0.26	0.19	0.54
8	0.28	0.2	0.52
9	0.31	0.2	0.49
10	0.33	0.21	0.47
11	0.35	0.21	0.44
12	0.37	0.21	0.42
13	0.4	0.21	0.4
14	0.42	0.21	0.37
15	0.45	0.2	0.35
16	0.48	0.2	0.32
17	0.5	0.19	0.3
18	0.53	0.19	0.28
19	0.56	0.18	0.26
20	0.59	0.18	0.24
21	0.61	0.17	0.22
22	0.64	0.16	0.2
23	0.66	0.15	0.18

Tirs dérogoatoires (%)	Proba ($\lambda < 1$)	Proba ($1 < \lambda < 1.1$)	Proba ($\lambda > 1.1$)
24	0.69	0.15	0.17
25	0.71	0.14	0.15
26	0.73	0.13	0.14
27	0.76	0.12	0.12
28	0.78	0.11	0.11
29	0.8	0.1	0.1
30	0.82	0.09	0.09
31	0.83	0.09	0.08
32	0.85	0.08	0.07
33	0.87	0.07	0.06
34	0.88	0.06	0.06
35	0.89	0.06	0.05
36	0.9	0.05	0.04
37	0.91	0.05	0.04
38	0.92	0.04	0.03
39	0.93	0.04	0.03

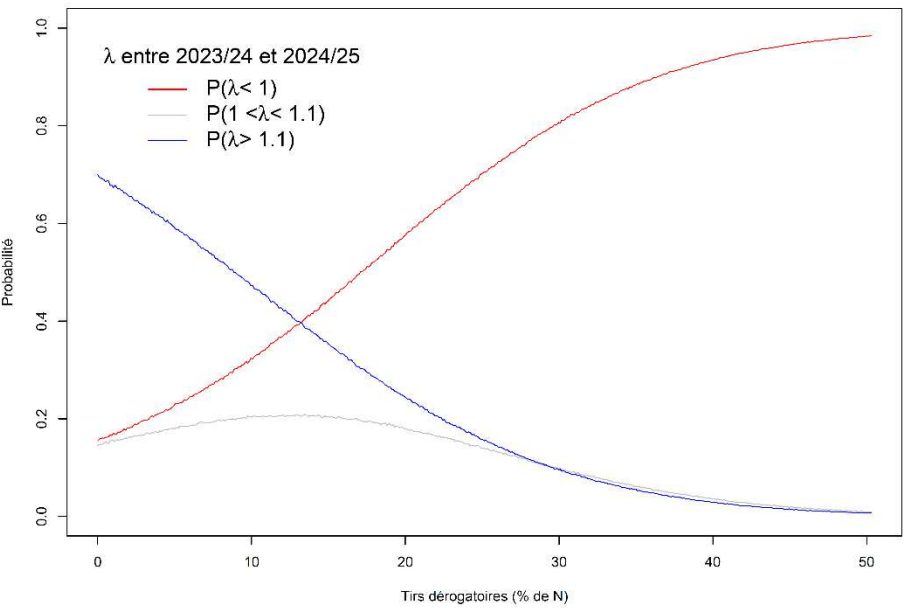


Figure 6 : probabilités de décroissance ($\lambda < 1$), d'une croissance faible ($1 < \lambda < 1.1$) et d'une croissance démographique plus forte ($\lambda > 1.1$) de la population de loups en France estimée en fonction des niveaux de tirs dérogoatoires (exprimé en pourcentage de loups tués par tirs dérogoatoires) issue de la simulation des effectifs de 2024-2025.

5 DISCUSSION - CONCLUSIONS

5.1 UNE POPULATION AU SEUIL DE MORTALITE SUPPORTABLE

En 2017, l'expertise collective identifiait les trajectoires démographiques de la population soumise à des taux de prélèvements $\leq 10\%$ (Duchamp *et al.*, 2017¹¹). Les résultats montraient un modèle exponentiel relatant des trajectoires positives quasi sans risque de décroissance. Malgré la forte incertitude prédictive à long terme, la mise à jour des projections démographiques présentée dans ce rapport estime des probabilités de plus de 50 % que la population tende vers des trajectoires de décroissance. La population française de loups répond dans sa démographie à l'action de gestion, avec des taux de mortalité (toutes sources confondues naturelles et anthropiques) qui marquent une différence significative face au changement de régime de tirs depuis 2019 (Milleret *et al.*, 2025). Comme appliqué depuis 2019, le niveau de gestion appliqué à la population de loups dans son fonctionnement actuel présente un niveau de risque relativement équilibré ayant pour effet de contenir la croissance de la population.

La population française se situe dans la gamme internationale standard des croissances attendues pour ce niveau de mortalité (Marescot *et al.*, 2012⁸). Des exemples similaires de réponse des populations de loups aux taux de mortalité anthropiques sont rapportés : Smith *et al.* (2010)¹¹ mesurent des taux de mortalité moyens de 25%, lesquels atteignent 43% dans les zones de conflits avec l'élevage dans l'Idaho, estimé comme étant un seuil soutenable pour maintenir les populations stables. Une récente mise à jour des connaissances dans le Montana évalue le devenir de la population de loups face à différents niveaux de mortalité par tirs (Parks *et al.*, 2025¹²). Celle-ci montre, sur une population de loups évaluée à environ 1200 individus, qu'un taux de prélèvement supérieur à 23% fait tendre sa démographie dans une dynamique de décroissance (en dessous de 450 loups sous 5 années). Comparativement aux populations européennes qui présentent des contextes d'anthropisation similaires à celui de la France on observera (Fig. 4), que la population scandinave exprime des taux de croissance négatifs pour ces dernières années (Milleret *et al.*, 2024¹³). La mortalité correspondante toutes sources confondues oscille entre 37% et 54% selon le statut social et le sexe des individus, dont environ 1/3 est causé par des tirs légaux. En Italie, Marucco *et al.* (2009¹⁴) relevaient des taux de croissance relativement faibles de 1,04 pour un taux de mortalité respectivement de 18% et 63% chez les adultes et les jeunes dans la partie alpine de la population (soit en moyenne 47% de mortalité toutes classes d'âges confondues). En

¹¹ Smith *et al.* 2010. Survival of Colonizing Wolves in the Northern Rocky Mountains of the United States, 1982–2004. <https://doi.org/10.2193/2008-584>

¹² Parks, M., *et al.* 2025. Montana Gray Wolf Conservation and Management 2024 Annual Report. Montana Fish, Wildlife & Parks. Helena, Montana. 63 pages <https://fwp.mt.gov/binaries/content/assets/fwp/conservation/wolf/reports/final-2024-wolf-report-6.20.25.pdf>

¹³ Milleret *et al.* 2024. Estimates of wolf density, abundance, and population dynamics in Scandinavia, 2014–2024 - MINA fagrapport 97. 34 pp. https://static02.nmbu.no/mina/publikasjoner/mina_fagrapport/pdf/mif97.pdf

¹⁴ Marucco *et al.*, 2009. Wolf survival and population trend using non-invasive capture–recapture techniques in the Western Alps. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01696.x>

absence de politique de tirs dérogatoires légaux, les auteurs soulevaient le possible impact du braconnage en Italie. En Allemagne, laquelle ne pratique pas de politique de tir dérogatoire (sauf exception), la population continue d'exprimer des taux de croissances forts liés à une faible mortalité globale <20% (Planilo *et al.* 2024¹⁵).

5.2 FORMULATION ET POUVOIR DE PREDICTION DES MODELES

Les modèles utilisés pour prédire la trajectoire de la population de loups en France sous différents scénarios de gestion s'appuient sur l'estimation du taux de croissance, elle-même obtenue à partir des estimations d'effectifs CMR. Les modèles appliqués ici intègrent explicitement les prélèvements par tirs dérogatoires dans les projections en suivant la gamme des modélisations de populations exploitées (Andrèn *et al.*, 2020¹⁶). Également appliquée en Scandinavie (Andrèn *et al.* 2025¹⁷), cette formulation itérative permet de tester les risques associés à différents niveaux de prélèvement sur lesquelles le décideur en charge de la gestion peut s'appuyer. L'incertitude associée à ces projections représente tous les aléas possibles qui ont pu moduler les taux de croissance en marge des règles de gestion durant toute la période étudiée (variations climatiques, disponibilité en proie, maladies, etc.). Compte tenu de l'incertitude, la projection des effectifs sur un horizon à plus long terme reste sans pertinence (Fig. 5). Tout changement dans les stratégies de gestion future, ou dans le comportement de la population en réaction aux tirs, rendrait caduque ces mêmes projections à long terme. Le niveau de prélèvements dérogatoires est également considéré ici comme purement additif dans la formulation du modèle. Or il reste possible, sans pouvoir le mesurer, que les prélèvements produisent un effet en partie compensatoire (animal qui serait de toute façon mort d'une autre cause s'il n'avait pas été tué), ou à l'inverse super-additif (la mort d'un individu reproducteur entraînant la mort des jeunes par exemple). Enfin, les perspectives de prise en compte de l'incertitude des estimations d'effectifs (fig.1) est une piste d'amélioration de ce type de modèle.

5.3 RECOMMANDATIONS POUR LA GESTION

5.3.1 Privilégier une gestion adaptative ciblées sur les attaques aux troupeaux

Au vu de l'incertitude des prédictions de la dynamique de la population de loups sur le long terme, ainsi que des évolutions possibles en termes de réglementation nationale et/ou internationale, l'adoption des principes de la gestion dite adaptative apparaît pertinente (Gradi *et al.*, 2023¹⁸, Guillemain et Salas,

¹⁵ Planilo *et al.* 2024. Habitat and density effects on the demography of an expanding wolf population in Central Europe. <https://doi.org/10.1002/wlb3.01246>

¹⁶ Andrèn H. *et al.* 2020. Harvest models of small populations of a large carnivore using Bayesian forecasting. <https://doi.org/10.1002/eap.2063>

¹⁷ Andrèn H. *et al.* 2025. Beräkningar av beskattning av den skandinaviska vargpopulationen 2026. Rapport till Naturvårdsverket och Miljödirektoratet, Norge från SKANDULV. 41 sidor.

¹⁸ Gradi *et al.*, 2023 : Comment améliorer la mise en œuvre de la gestion adaptative en France. Biodiversités, Les clés pour Agir N° 7 · Oct. Dec. 2023

2024¹⁹). Lorsque des objectifs sont préalablement définis, cette approche « pas à pas » pour la gestion des populations permet d’ajuster les règles de décision au regard de l’acquisition de nouvelles connaissances et des évolutions de la réglementation. L’autorité chargée de la gestion choisit ensuite d’ajuster au mieux le plafond des prélèvements selon le niveau de risque qu’elle est prête à assumer en regard des règles de protection des espèces en vigueur. Des outils spécifiques de programmation dynamique (e.g. Marescot *et al.* 2013²⁰, Chadès *et al.*, 2017²¹) sont dédiés à l’optimisation des stratégies de gestion tout en tenant compte des incertitudes liés aux données et autres variations environnementales au cours du temps.

Les prédateurs sur les troupeaux domestiques sont la première cause de conflits et la raison pour laquelle des tirs de prélèvements sont effectués. Les niveaux d’attaques restent très hétérogènes dans leur distribution à l’échelle globale (Grente *et al.*, 2022²²) et les foyers de prédation peu corrélés aux effectifs globaux des populations de loups (ONCFS-MNHN, 2019²³, Merz *et al.* 2025). Ainsi, sans remettre en cause les modalités de gestion actuelle de la population de loups, il pourrait être étudié des alternatives permettant de cibler la diminution des attaques aux troupeaux domestiques dans les modèles. Cette option viserait alors à optimiser les niveaux d’intervention sur les attaques afin que ceux-ci puissent produire l’effet escompté directement ciblé sur l’objet source de conflit. Grente (2025²⁴) quantifie les changements d’intensité d’attaques après l’application des tirs dérogatoires tout en prenant en compte l’exposition des troupeaux au risque de prédation. L’étude souligne le potentiel effet des tirs sur la réduction des attaques pour autant que l’on prenne en compte les bonnes échelles de travail. Ainsi l’appréciation des différents contextes locaux (pratiques pastorales et/ou environnementales) doivent permettre d’ajuster au mieux les stratégies tant les réponses aux tirs peuvent être variables selon les contextes, la prévention des troupeaux et leur efficacité restant un axe prioritaire. Dans cette stratégie, les effectifs de la population ne sont plus un objectif, mais une réponse à l’action de gestion. Le suivi démographique de la population permettrait donc de réajuster les modalités de gestion si la population montre une tendance négative en regard des obligations réglementaire de statuts de conservation.

<https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/Fichiers/Plaquettes%20et%20rapports%20institut/article-revue-biodiversite7-gestion-adaptative.pdf>

¹⁹ Guillemain M. & Salas M. 2024. Gestion adaptative : pour une gestion concertée des espèces, de leurs habitats et de leur exploitation. OFB (Ed) <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-rencontres-synthese/gestion-adaptative-gestion-concertee-especes-leurs-habitats-leur>

²⁰ Marescot L. *et al.* 2013. Complex decisions made simple: a primer on stochastic dynamic programming. *Methods Ecol Evol* 4: 872–884. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12082>

²¹ Chadès *et al.*, 2017. Optimization methods to solve adaptive management problems. <https://doi.org/10.1007/s12080-016-0313-0>

²² Grente *et al.*, 2022. Wolf depredation hotspots in France: Clustering analyses adjusting for livestock availability <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109495>

²³ ONCFS MNHN 2019. Réponse à la saisine ministériel tirs de loups. Note technique <https://pna-loup.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20190205-reponse-saisine-tirs-oups-oncfs-mnhn.pdf>

²⁴ Grente *et al.* 2025. Spatio-temporal dynamics of attacks around deaths of wolves: A statistical assessment of lethal control efficiency in France. Preprint arXiv. <https://doi.org/10.1101/2024.07.18.604079>

5.3.2 Mesurer l'effort et maintenir la surveillance des nouveaux secteurs de colonisation

Les recommandations en matière de suivi démographique des populations sont de maintenir un système d'évaluation annuelle des effectifs. Un suivi plus espacé (tous les 5 ans par exemple) présenterait un risque non maîtrisé de non-détection d'un changement de trajectoire, ainsi qu'une réduction des possibilités de modélisation de séries temporelles pour les prédictions.

Les derniers modèles de capture-recapture donnent la possibilité de spatialiser les estimations d'effectifs (Bischof *et al.* 2020²⁵) ou de mortalités (Milleret *et al.* 2023²⁶, 2025²⁷) à la condition de maintenir les efforts terrain de récolte et d'analyses génétiques associées.

Une autre des conditions à l'application de ce type de modèle réside notamment dans la mesure quantitative de l'effort de prospection. Le déploiement à grande échelle du suivi est logistiquement couteux dans sa mise en œuvre en particulier sur des populations en phase d'expansion. Cependant les trajectoires futures de la population à l'échelle nationale vont probablement être très dépendantes de l'installation ou non de nouvelles meutes en dehors du massif alpin, comme le montrent les cas de premières installations en meutes reproductrices relevés en régions Grand-Est et Massif central. Le timing d'installation de l'espèce reste non prévisible et le suivi annuel pour la détection des nouvelles meutes sur le front de colonisation doit rester une priorité.

L'élaboration de modèles de distribution font l'objet de nombreux travaux et essais dans différents pays comme en Scandinavie avec des modèles de simulation interactifs (Recio *et al.*, 2020²⁸), en suisse avec des modèles de distribution ou de qualité d'habitat (Behr *et al.*, 2017²⁹) ou en France sur la base de modèle mécaniste (Louvrier *et al.* 2020³⁰). Si tous ces modèles présentent des pouvoirs d'explorations de trajectoires sous différentes options, tous soulignent le faible pouvoir prédictif associé s'ils ne sont pas calibrés au préalable avec des données appropriées. A l'instar des conclusions de l'expertise collective 2017 (Duchamp *et al.*, 2017), la prédiction de l'aire de distribution potentielle de l'espèce Loup sur le territoire apparait comme un exercice peu informatif pour 3 raisons principales :

- i) L'espèce *Canis lupus* présente une écologie comportementale sans doute des plus plastique de l'ordre des carnivores, lui permettant de s'adapter à une grande diversité de contraintes environnementales. Ils peuvent ainsi s'installer aussi bien en dépendance des milieux

²⁵ Bischof, R., *et al.* 2020. Estimating and forecasting spatial population dynamics of apex predators using transnational genetic monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1073/pnas.2011383117>

²⁶ Milleret *et al.* 2023. Estimating Spatially Variable and Density-Dependent Survival Using Open-Population Spatial Capture–Recapture Models *Ecology* 104(2) <https://doi.org/10.1002/ecy.3934>

²⁷ Milleret *et al.* 2025. Map of death: spatially explicit mortality of the grey wolf. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2025.0948>

²⁸ Recio M.R. *et al.* 2020. Agent-based models predict patterns and identify constraints of large carnivore recolonizations, a case study of wolves in Scandinavia, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108752>

²⁹ Behr D. *et al.* 2017. Combining human acceptance and habitat suitability in a unified socio-ecological suitability model: case study of the wolf in Switzerland <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12880>

³⁰ Louvrier J. *et al.* 2020. Mechanistic–statistical species distribution model to explain and forecast wolf (*canis lupus*) colonization in south-eastern France <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2020.100428>

protégées (Terraube *et al.*, 2020³¹) que dans des zones très anthropisées jusque l'installation de meutes en monoculture agricoles en adaptant son régime d'activité journalier (Sunde *et al.*, 2024³²).

- ii) Le loup présente des capacités de mouvements et de dispersion telles, qu'il est possible de détecter un animal à plus de 400 km de la plus proche présence connue, sans que les mécanismes précis de cette dispersion soient identifiés. (Louvrier *et al.* 2020). L'incertitude concernant les distances et la temporalité des événements de dispersion rendent les modèles de colonisation peu déterministes et sans grand pouvoir prédictifs ;
- iii) L'espèce étant encore en phase de colonisation à l'échelle nationale et principalement localisée dans les zones alpines, il n'est pas possible de se baser seulement sur les données existantes d'habitat utilisés versus non utilisés afin de prédire la distribution de future de l'espèce. Un tel exercice pourrait avoir comme conséquence de minimiser la présence de l'espèce en plaine et dans d'autres milieux bocagers, alors-qu'elles sont possibles. Pour pallier cette limite, il est nécessaire de recourir à des choix arbitraires de paramètres décrivant la sélection d'habitat dans des zones encore inoccupées en se basant sur des scénarios potentiels. A l'échelle européen, Milanese *et al.* 2016³³ donne le champ du potentiel de colonisation de l'espèce suivant différents scénarios de perspectives socio-économiques de gestion de l'espace. Ces modèles à l'échelle européenne projettent à terme une distribution de l'espèce sur la quasi-intégralité du pays à l'exception des zones fortement peuplées. (Cf. expertise collective). A une échelle nationale, Planillo *et al.* 2024³⁴ font l'exercice en Allemagne et souligne le fort différentiel des cartes prévisionnelles avec la présence aujourd'hui observée si l'on base le modèle sur des données régionales.

De la même manière que sur le plan démographique, l'adaptation des stratégies de gestion géographiques doit s'inscrire dans une démarche adaptative.

5.4 ETUDES PROSPECTIVES

Au-delà des variations d'effectifs, la compréhension des facteurs de risque qui modulent la démographie est une clé essentielle pour guider les décisions de gestion. La surveillance du taux survie (ou mortalité) est l'un des principaux paramètres mesurables qui permettent d'identifier le risque de croissance ou décroissance des populations (Marescot *et al.*, 2013 ; Duchamp *et al.* 2017). Cependant, les variations

³¹ Terraube, J. *et al.* Assessing the effectiveness of a national protected area network for carnivore conservation. *Nat Commun* 11, 2957 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16792-7>

³² Sunde et al 2024. Human avoidance, selection for darkness and prey activity explain wolf diel activity in a highly cultivated landscape. <https://doi.org/10.1002/wlb3.01251>

³³ Milanese P. *et al.* 2016. European human-dominated landscapes provide ample space for the recolonization of large carnivore populations under future land change scenarios <https://doi.org/10.1111/ecog.02223>

³⁴ Planillo, A.(2024). Understanding habitat selection of range-expanding populations of large carnivores: 20 years of grey wolves (*Canis lupus*) recolonizing Germany. <https://doi.org/10.1111/ddi.13789>

de taux de survie réagissent à la fois aux règles de gestion par tir mais également aux autres sources de mortalité. L'augmentation des densités est également connue pour augmenter les taux de mortalité par conflits intraspécifiques entre les meutes (Cubaynes *et al.* 2014³⁵). La séparation de ces estimations de mortalité selon leurs origines peut permettre de limiter les effets confondants et ainsi mieux comprendre les sources de variations (Milleret *et al.* 2024³⁶). En miroir des mortalités, une bonne compréhension des taux de recrutement (i.e. la proportion de nouveaux arrivants dans la population) est également proposée pour mieux cibler l'exercice de gestion adaptative (Sells *et al.* 2020³⁷). Les simulations de l'effet des tirs sur les structures sociales montrent la possible influence des tirs sur la baisse des proportions d'individus disperseurs en accélérant potentiellement l'installation de nouveaux groupes (Grente *et al.*, 2024³⁸). Ce paramètre du recrutement est ainsi susceptible de compenser les niveaux de prélèvements en favorisant l'accès à la reproduction des individus subordonnés comme déjà montré pour d'autres populations (Ausband *et al.* 2017³⁹). L'augmentation des taux de transitions sous l'effet des tirs entre les animaux fortement détectables (assimilés aux résidents) et faiblement détectables (assimilés au disperseurs, erratiques ou jeunes, etc.) dans la population française vont également dans ce sens (Milleret *et al.*, 2025²), corroborées par les observations de terrain de cas de reproduction éphémères (une année) entre les territoires connus.

Bien que les immigrations et/ou émigrations soient implicitement intégrées dans le taux de croissance observé, les modèles démographiques présentés ici ne tiennent pas compte explicitement de la présence des populations voisines dans les pays limitrophes, de la composante génétique de la population, ni de la dimensions humaine et sociale, lesquelles peuvent influencer les perspectives de viabilité des populations à plus long terme. Cette thématique pourrait, si toutes les conditions sont réunies, faire l'objet d'une étude prospective dans les prochaines années pour intégrer la partie démographique dans des modèles démo-génétiques, mesurant les risques d'extinction à 100 ans ainsi que les dimensions humaines et sociales.

ANNEXE 1 : Courrier de saisine ministérielle

³⁵ Cubaynes *et al.* 2014. Density-dependent intraspecific aggression regulates survival in northern Yellowstone wolves (*Canis lupus*) <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12238>

³⁶ Milleret *et al.* 2025 Estimates of wolf density, abundance, and population dynamics in Scandinavia, 2014–2024- MINA fagrapport 97. 34 p

³⁷ Sells, S. N., *et al.* 2020. Improving estimation of wolf recruitment and abundance, and development of an adaptive harvest management program for wolves in Montana. Final Report for Federal Aid in Wildlife Restoration Grant W-161-R-1. Montana Fish, Wildlife and Parks, Helena, Montana. 124p.

³⁸ Grente, O., (2024), Evaluating the effects of wolf culling on livestock predation when considering wolf population dynamics in an individual-based model. *Wildlife Biology*, 2024: e01227. <https://doi.org/10.1002/wlb3.01227>

³⁹ Ausband *et al.* 2017 Effects of breeder turnover and harvest on group composition and recruitment in a social carnivore. <https://10.1111/1365-2656.12707>



Ministère de la Transition Écologie, de l'Énergie, du Climat et de la Prévention des Risques
Ministère de l'Agriculture de la Souveraineté Alimentaire et de la Forêt

Paris, le 5 DEC 2024

La Directrice de l'eau et de la biodiversité

Le Directeur général de la performance
économique et environnementale des entreprises

à

Monsieur le Président du Muséum national
d'histoire naturelle

et

Monsieur le Directeur général de l'Office français
de la biodiversité

Objet : Actualisation de l'expertise scientifique collective (du 7 mars 2017) sur le devenir de la population de loups en France, démarche d'évaluation prospective à l'horizon 2025/2030 et viabilité à long terme dans le cadre du nouveau PNA

Monsieur le Président, Monsieur le Directeur général,

Le plan national d'actions (PNA) pour le loup et les activités d'élevages 2024-2029 prévoit un ensemble d'actions visant à maintenir le bon état des populations de loups, tout en soutenant les activités humaines, notamment le pastoralisme, l'élevage, et le développement des territoires.

Ce nouveau plan s'inscrit dans un contexte de croissance démographique et d'expansion géographique de la population lupine, l'effectif estimé étant passé de 430 individus en 2018 au début du plan précédent à 1104 individus en 2023 lors du lancement de ce nouveau plan.

L'aire de distribution du loup s'est, ces dernières années, fortement étendue. Alors que la présence du loup était restée cantonnée au massif alpin suite à son retour en France au début des années 1990, ce sont aujourd'hui plus de 60 départements qui sont confrontés à des cas de prédation lupine.

Afin d'améliorer la gestion de l'espèce sur le territoire, le renforcement des connaissances scientifiques au niveau national et européen est un enjeu majeur de la politique relative au loup depuis des années, et en particulier dans le PNA actuel.

Dans ce cadre, le plan prévoit dans son action 1.3.c la conduite en 2024 d'une « étude prospective sur

3, rue Barbet de Jouy, 75 349 PARIS 07 SP
agriculture.gouv.fr

l'aire de répartition potentielle de l'espèce sur le territoire national et des attendus en termes de populations pour garantir un bon état de conservation au niveau européen ».

Cette étude, que le présent courrier vient formellement solliciter, s'appuiera sur les travaux menés dans le cadre de l'« Expertise scientifique collective sur le devenir de la population de loups en France – Démarche d'évaluation prospective à l'horizon 2025/2030 et viabilité à long terme » rendue le 7 mars 2017 (ESCO 2017) par l'ONCFS et le MNHN et sur le complément produit en 2019. Il s'agira d'actualiser ces travaux avec des données récentes en se concentrant principalement sur les deux champs prospectifs suivants : (i) la taille et la diversité nécessaires des populations pour atteindre un bon état de conservation, (ii) la possibilité d'éclairer scientifiquement les modalités de répartition naturelle du loup.

Au titre du premier champ prospectif cité, considérant les derniers rapports européens et le travail engagé sur l'évolution démographique de la population lupine, vous intégrerez les derniers chiffres d'estimation de cette population en France et vous apporterez une analyse critique sur les seuils actuels de viabilité de la population, l'intérêt et les limites d'une évaluation annuelle de la population et les modalités potentielles de prise en compte de ces éléments dans la gestion de l'espèce et de ses impacts sur l'activité d'élevage.

Au titre du second champ prospectif cité, compte-tenu de la forte connectivité des populations lupines sur le continent, il apparaît nécessaire d'apprécier l'état de conservation de l'espèce à une échelle plus large que le territoire national. Cette étude proposera des critères pour le cahier des charges d'une analyse plus approfondie visant à évaluer par une approche interdisciplinaire les conditions d'atteinte et de maintien du bon état de conservation de l'espèce au niveau national et transnational.

Cette analyse, dont vous proposerez un calendrier de réalisation, s'intégrera ainsi dans l'ambition du groupe de travail « Grands carnivores, ongulés sauvages et société » (WISO) de la Convention Alpine, établi par la Xe Conférence Alpine en 2009, qui a pour objet la viabilité des populations lupines et leur cohabitation avec l'Homme à l'échelle de l'arc alpin, celle du projet LIFE WolfAlps EU, celle de la coopération initiée sur le loup du Nord-Ouest européen, ainsi que celle du rapportage au titre de la Directive Habitats Faune Flore (DHFF) qui vise à évaluer l'état des différentes populations lupines présentes sur le territoire national.

Les résultats de ces travaux seront présentés au Conseil scientifique permanent du plan loup et activités d'élevage et auront pour objet d'éclairer la décision politique nationale. En outre, une restitution de ces travaux sera réalisée auprès du Groupe National Loup au premier semestre 2025.

Nous souhaitons que ces travaux soient conduits conjointement par le MNHN et l'OFB dans la continuité des travaux menés lors de l'ESCO 2017 par le MNHN et l'ONCFS, et en relation avec vos homologues européens concernés par des populations potentiellement connectées avec les populations lupines françaises.

Les résultats devront nous être transmis pour la fin du premier trimestre 2025.

La Directrice de l'eau et de la biodiversité

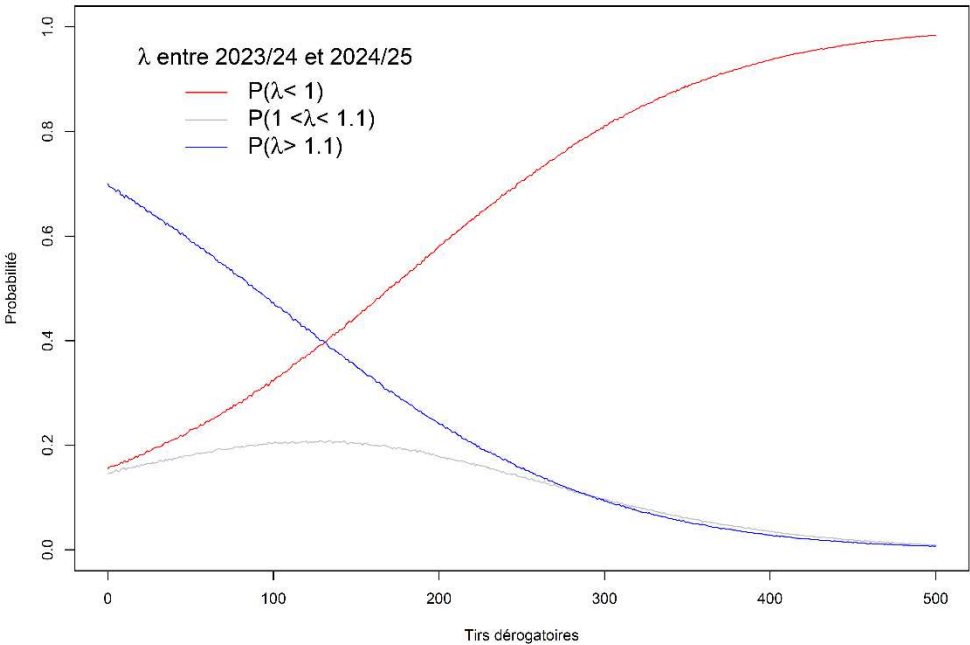
Célia DE LAVERGNE

Le Directeur général de la performance économique
et environnementale
des entreprises

Philippe DUCLAUD

3, rue Barbet de Jouy, 75 349 PARIS 07 SP
agriculture.gouv.fr

ANNEXE 2 : Courbes et tableau des probabilités de risque que la population de loup exprime à t+1 une décroissance ($\lambda < 1$), une croissance modérée ($1 < \lambda < 1.1$) et une croissance forte ($\lambda > 1.1$), exprimé en **nombre de tirs dérogoatoires** appliqués sur la démographie de la population française de loups préalablement modélisée en 2024 (Milleret *et al.*, 2025). Voir texte et figures §4.2 pour les explications et <https://github.com/Cyril-Milleret/SaisineLoup2025>



Tirs dérogoatoires (N)	Proba ($\lambda < 1$)	Proba ($1 < \lambda < 1.1$)	Proba ($\lambda > 1.1$)	Prédiction effectifs 2024-2025
55	0.24	0.18	0.58	720-1836
60	0.25	0.19	0.57	714-1833
65	0.25	0.19	0.56	711-1820
70	0.26	0.19	0.54	706-1814
75	0.27	0.19	0.54	700-1803
80	0.28	0.2	0.52	701-1795
85	0.29	0.2	0.51	693-1781
90	0.3	0.2	0.5	691-1772
95	0.31	0.2	0.48	684-1765
100	0.32	0.2	0.47	680-1762
105	0.33	0.2	0.46	676-1749
110	0.35	0.2	0.45	670-1739
115	0.36	0.2	0.44	669-1734
120	0.37	0.21	0.42	664-1719
125	0.38	0.21	0.41	661-1718
130	0.39	0.21	0.4	655-1706
135	0.41	0.21	0.38	653-1696
140	0.42	0.21	0.37	646-1687
145	0.43	0.2	0.36	642-1689
150	0.45	0.2	0.35	637-1674
155	0.46	0.2	0.34	634-1662
160	0.47	0.2	0.33	628-1663
165	0.48	0.2	0.32	623-1643
Page suivante...				

Tirs dérogatoires (N)	Proba ($\lambda < 1$)	Proba ($1 < \lambda < 1.1$)	Proba ($\lambda > 1.1$)	Prédiction effectifs
170	0.5	0.2	0.3	619-1641
175	0.51	0.19	0.29	616-1632
180	0.53	0.19	0.28	612-1619
185	0.54	0.19	0.27	608-1609
190	0.55	0.19	0.26	601-1600
195	0.57	0.18	0.25	599-1594
200	0.58	0.18	0.24	594-1582
205	0.59	0.17	0.23	592-1582
210	0.6	0.17	0.22	584-1567
215	0.62	0.17	0.21	581-1558
220	0.63	0.16	0.2	575-1551
225	0.65	0.16	0.19	569-1542
230	0.66	0.16	0.19	565-1531
235	0.67	0.15	0.18	559-1524
240	0.68	0.15	0.17	560-1519
245	0.69	0.14	0.16	553-1508
250	0.71	0.14	0.15	549-1495
255	0.72	0.13	0.15	543-1490
260	0.73	0.13	0.14	539-1477
265	0.74	0.13	0.14	535-1475
270	0.75	0.12	0.13	531-1462
275	0.76	0.12	0.12	526-1450
280	0.77	0.11	0.12	523-1447
285	0.78	0.11	0.11	519-1439
290	0.79	0.1	0.11	512-1439
295	0.8	0.1	0.1	508-1420
300	0.81	0.1	0.09	504-1405
305	0.82	0.09	0.09	500-1403
310	0.83	0.09	0.08	496-1395
315	0.84	0.08	0.08	491-1389
320	0.84	0.08	0.07	486-1382
325	0.85	0.08	0.07	480-1373
330	0.86	0.07	0.07	477-1358
335	0.87	0.07	0.06	470-1357
340	0.87	0.07	0.06	467-1341
345	0.88	0.06	0.06	462-1343
350	0.88	0.06	0.05	460-1336
355	0.89	0.06	0.05	452-1320
360	0.9	0.05	0.05	450-1317
365	0.9	0.05	0.04	444-1303
370	0.91	0.05	0.04	437-1293
375	0.91	0.05	0.04	435-1289
380	0.92	0.04	0.04	430-1282
385	0.92	0.04	0.03	424-1269
390	0.93	0.04	0.03	422-1259
395	0.93	0.04	0.03	416-1259