



Synthèse de l'article

Wolves make roadways safer, generating large economic returns to predator conservation

Août 2021

Référence

Raynor, J. L., Grainger, C. A., & Parker, D. P. (2021). Wolves make roadways safer, generating large economic returns to predator conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(22).

 <https://doi.org/10.1073/pnas.2023251118>

Les loups rendent les routes plus sûres, ce qui génère d'importants bénéfices économiques pour la conservation des prédateurs



Loup gris (*Canis lupus*) - Par John and Karen Hollingsworth (Cette photo provient du *National Digital Library of the United States Fish and Wildlife Service*)



Sommaire

Enjeux.....3
 Les effets bénéfiques des grands prédateurs sont encore trop peu pris en compte.....3
 La surabondance de cerfs a des effets néfastes.....3
 Objectif.....4
 Mesurer les avantages économiques des prédateurs.....4
 Résultats.....6
 Les loups ont un effet net sur les collisions avec les cerfs dû aux changements de la population de cerfs et du comportement des cerfs.....6
 L'effet net de la présence des loups sur les collisions avec les cerfs est économiquement significatif.....7
 Les loups sont plus efficaces que les chasseurs pour réduire les collisions avec les cerfs en raison d'un effet comportemental.....8
 Présence de loups versus abondance de loups : l'effet des loups sur les collisions avec des cerfs dépend-il du nombre de loups présents dans un comté ?.....9
 Conclusion.....9

Enjeux

Les effets bénéfiques des grands prédateurs sont encore trop peu pris en compte

Au cours des 200 dernières années, les populations de grands prédateurs ont décliné dans tous les paysages du monde pour plusieurs raisons (prime gouvernementale à la destruction, pression de la chasse, perte d'habitat et déclin des populations de proies). Bien que les scientifiques commencent à comprendre les effets écologiques profonds de ces changements et que les coûts de prédation sur le bétail ou les animaux de compagnies attribués aux grands prédateurs sont largement documentés, leurs effets bénéfiques souvent subtils et indirects sont encore peu évalués (Gilbert *et al.*, 2021 ; Martin, *et al.*, 2020).

Bien que leur réintroduction soit controversée, la récente expansion du loup gris (*Canis lupus*) offre une occasion unique de mesurer concrètement les bénéfices en cascade d'un prédateur. Autrefois, les loups couvraient la majeure partie de l'hémisphère nord, mais l'homme a pratiquement éradiqué l'espèce du territoire continental des États-Unis et de l'Europe dans les années 1960 (Mech & Boitani, 2003). Au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, les protections légales se sont renforcées et les populations de loups sont revenues dans 10 États américains limitrophes et 28 pays européens (Chapron *et al.*, 2014 ; « Gray Wolf Population in the U.S. », 2020). Les loups sont arrivés spontanément dans 29 comtés des États-Unis en 2010. En 2019, on dénombrait environ 5 500 loups aux États-Unis et 11 000 en Europe. Certaines juridictions, comme l'État du Colorado, proposent ou planifient déjà des réintroductions (« Gray Wolf Reintroduction Initiative », 2020).

Dans cette étude, les auteurs se concentrent sur un des aspects de la réintroduction du loup, sa capacité à contrôler les populations surabondantes de cerfs et les bénéfices indirects en découlant.

La surabondance de cerfs a des effets néfastes

Les populations de cerfs ont connu une forte augmentation aux États-Unis, passant de 2 à 4 cerfs par km² à l'époque précoloniale (Alverson *et al.*, 1988) à 15 à 50 cerfs par km² dans certaines régions aujourd'hui (Long *et al.*, 2005). Consommateurs de jeunes arbres, les populations surabondantes de cerfs affectent les écosystèmes en affectant la régénération des forêts, en modifiant la composition des espèces d'arbres et de plantes herbacées et en contribuant à la propagation des espèces envahissantes (Averill *et al.*, 2018 ; Leopold *et al.*, 1947). Le cerf génère également des coûts économiques pour l'homme en raison des collisions avec les véhicules, de la multiplication des populations de tiques (potentiellement porteuses de pathogènes affectant l'homme) et des dommages causés à l'agriculture, aux produits du bois et aux aménagements paysagers (Conover *et al.*, 1995).

Près d'un million de collisions avec des cerfs se produisent chaque année aux États-Unis, causant 29 000 blessures humaines, 200 décès humains et près de 10 milliards de dollars de pertes économiques totales (Conover *et al.*, 1995 ; Huijser *et al.*, 2008). C'est le plus grand dommage économique causé par ces animaux. L'Europe connaît des problèmes similaires, avec une fréquence plus faible de collisions avec des ongulés (comme les cerfs et les élans) mais un taux plus élevé de décès et de blessures (Bruinderink & Hazebroek, 1996). Le problème s'est aggravé avec le temps, les collisions augmentant rapidement depuis 1990 environ (Bruinderink & Hazebroek, 1996 ; Huijser *et al.*, 2008). Une réduction même modeste de ces collisions peut donc engendrer des bénéfices sociaux et économiques considérables.

Il est difficile de mesurer les avantages économiques attribués aux prédateurs, car les effets sont souvent indirects et s'opèrent par le biais de changements écologiques complexes. En conséquence, ces avantages ont tendance à être plus

volontiers qualifiés de spéculatifs ou motivés par des considérations idéologiques lors des débats sur l'expansion des prédateurs, au contraire des coûts économiques liés à la prédation sur le bétail qui peuvent être plus facilement estimés.

Evaluer économiquement les effets des loups nécessite des données spatio-temporelles sur les collisions, la présence des loups et les populations de cerfs. La période d'étude privilégiée commence en 1988 (les données collisions les plus anciennes disponibles) et se termine en 2010 (les dernières données disponibles sur les emplacements détaillés des meutes de loups en raison des abattages de loups ultérieurs). Comme les auteurs l'expliquent ci-dessous, les résultats sont similaires lorsqu'ils incluent les années après 2010.

Objectif

Mesurer les avantages économiques des prédateurs

L'hypothèse des auteurs est que si les bénéfices d'une réduction des collisions dépassent les coûts de la prédation par les loups dans le Wisconsin, alors il pourrait y avoir une justification économique pour permettre aux populations de loups de se développer non seulement dans cet état, mais aussi potentiellement dans d'autres états qui ont un habitat approprié pour les loups et des collisions élevées (par exemple, le nord-est des États-Unis). Bien que la prédation avérée sur le bétail et les animaux domestiques dans le Wisconsin soit coûteuse (récemment, environ 174 000 dollars par an, en moyenne) (« Wisconsin annual wolf damage payment summary », 2020), les coûts des collisions sont beaucoup plus importants (près de 200 millions de dollars par an, sur la base du coût moyen national par collision) (Huijser et al., 2008 ; « Wisconsin Deer Metrics. Deer Veh. », 2020).

Les auteurs se concentrent sur deux mécanismes par lesquels les loups pourraient diminuer les collisions :

- Le premier est la modification de l'abondance des cerfs en raison de l'augmentation de la population de loups et de la prédation associée (Leopold et al., 1947 ; Messier, 1991 ; Ripple & Beschta, 2012).
- Le second est le changement de comportement des cerfs, en raison du "paysage de peur" créé par les loups (Atkins et al., 2019 ; Gaynor et al., 2019). Les loups utilisent les routes, les pipelines et autres éléments linéaires comme couloirs de déplacement, ce qui augmente leur efficacité de déplacements et le taux de mortalité des proies à proximité de ces éléments (Newton et al., 2017 ; Whittington et al., 2011). Les auteurs supposent que la présence des loups diminue les déplacements des cerfs à proximité de ces éléments ((Dellinger et al., 2019 ; DeMars & Boutin, 2018 ; James & Stuart-Smith, 2000), réduisant ainsi le risque de collision.

ÉLÉMENTS DE MÉTHODE

Une zone d'étude intéressante : le Wisconsin

Une grande partie des recherches antérieures sur les effets des loups aux États-Unis se concentre sur les parcs nationaux d'Isle Royale et de Yellowstone ; or, l'effet des loups dans les parcs nationaux "n'est pas généralisable à la majeure partie de l'aire de répartition des loups en raison des influences anthropiques prépondérantes qui s'exercent sur les loups, les proies, la végétation et d'autres parties du réseau alimentaire".

Les résultats obtenus dans le Wisconsin que les loups ont commencé à recoloniser naturellement vers 1975 (Fig. 1) devraient *a contrario* pouvoir être généralisés à d'autres contextes où les loups sont (ou pourraient être) autorisés à se répandre naturellement dans les zones de communautés humaines plutôt que dans les seules zones sauvages.

De même, la propagation des loups à travers le Wisconsin a été naturelle et n'a pas été entravée par les gestionnaires de la faune sauvage. En conséquence, l'aire de répartition contiguë des loups dans le Wisconsin s'étend sur un paysage dominé par l'homme, dont la taille est plus de six fois supérieure à celle d'Isle Royale et de Yellowstone réunis.

Ensuite, la population de loups du Wisconsin est probablement proche de la capacité de charge écologique, ce qui suggère que les effets du loup que les auteurs mesurent représentent un état stable à long terme plutôt que de simples effets transitoires.

Normalisation, économétrie, modélisation

Pour visualiser l'effet de l'entrée des loups, les auteurs ont normalisé l'année où les loups ont été enregistrés pour la première fois au temps $t = 0$ pour chaque comté. Ils ont exclu trois comtés pour lesquels les loups sont sortis et entrés au cours de la période d'étude afin d'éviter les hypothèses sur la ou les années d'entrée qui devraient être fixées à $t = 0$. Ils ont ensuite tracé la proportion de collisions attribuables aux cerfs pendant chacune des 10 années précédant et suivant l'introduction des loups (Fig. 2E).

Pour quantifier les effets des loups sur les collisions, les auteurs ont appliqué des techniques économétriques de données de panel¹ pour 63 comtés (29 comtés avec loups et 34 comtés sans loups) et sur 22 années (1988 à 2010). Ils ont également appliqué des méthodes de régressions² pour tenir compte des variables comme les mesures annuelles de la présence du loup, les conditions météorologiques, les autres collisions et les populations de cerfs. Ils ont tenu compte des effets fixes pour chaque comté afin de contrôler les caractéristiques invariantes dans le temps (telles que les différences relativement fixes dans les caractéristiques des routes entre les comtés) et des effets spécifiques à l'année pour contrôler les changements communs à l'échelle de l'État au fil du temps (tels que les améliorations de la sécurité des véhicules ou les changements dans les prix des carburants).

Le modèle utilisé dans cette étude est une approche à triple différence couramment employée en économétrie appliquée (Angrist & Pischke, 2009 ; Olden & Møen, 2020). Cette technique mesure s'il y a un changement dans la fréquence des collisions avant et après l'entrée du loup (première différence) dans les comtés avec ou sans loup (deuxième différence). Ensuite, elle compare si cette "différence dans les différences" est plus importante pour les collisions avec les cerfs que pour les autres collisions (troisième différence). Par exemple, si les collisions avec les cerfs diminuent de 30 % lorsque les loups entrent dans un comté et restent les mêmes dans tous les autres comtés, alors une estimation de la différence dans les différences suggérerait que la présence des loups est responsable d'une réduction de 30 % des collisions. Cependant, si les collisions avec les cerfs ont diminué de 10 % de plus dans les comtés sans loups par rapport aux comtés avec loups, alors la réduction des collisions avec les cerfs, attribuée aux loups par le modèle est de 20 %. En soustrayant la troisième différence, le modèle élimine les effets d'autres changements confondants en matière de sécurité routière dans

¹ Les méthodes de données de panel sont les outils économétriques utilisés pour estimer les paramètres, calculer les effets partiels d'intérêt dans les modèles non linéaires, quantifier les liens dynamiques et effectuer des inférences valides lorsque des données sont disponibles sur des sections transversales répétées.

² la régression recouvre plusieurs méthodes d'analyse statistique permettant d'approcher une variable à partir d'autres qui lui sont corrélées. Par extension, le terme est aussi utilisé pour certaines méthodes d'ajustement de courbe

un comté spécifique, qui peuvent avoir eu lieu en même temps que l'expansion du loup (par exemple, un changement dans les limites de vitesse, l'utilisation des routes, le profil des conducteurs ou la qualité des routes). Intuitivement, le modèle à triple différence permet de contrôler tous les facteurs variables dans le temps qui affectent la sécurité routière en général mais qui, contrairement aux loups, n'affecteraient pas spécifiquement les collisions avec les cerfs.

Robustesse des résultats

Pour s'assurer que l'effet net estimé est robuste aux changements de spécification du modèle, les auteurs ont vérifié que leurs résultats ne changeaient pas dans quatre conditions complémentaires : **1)** en excluant les trois comtés pour lesquels les loups sont sortis à un moment donné au cours de la période d'étude afin d'éviter les hypothèses sur la persistance de l'effet de la présence passée des loups, **2)** en excluant les 13 comtés sans loups situés à la limite des comtés à loups afin d'exclure les éventuels effets de débordement spatial des loups sur les comtés voisins, **3)** en permettant de manière flexible aux comtés à loups d'avoir des tendances temporelles non paramétriques (effets d'année distincts) différentes de celles des comtés sans loups afin de permettre aux facteurs annuels non observés d'affecter chaque région différemment et **4)** en prolongeant la série chronologique jusqu'en 2016 au lieu de la conclure en 2010. Ces résultats sont également révélés robustes à l'inclusion de huit comtés avec des problèmes de qualité de données suspectés.

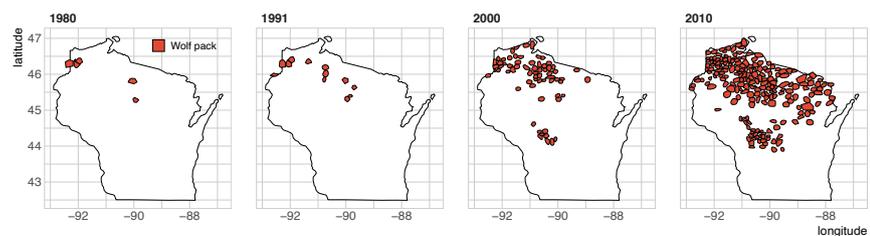


Figure 1 : Les meutes de loups se sont répandues dans le Wisconsin entre 1980 et 2010.

Les meutes de loups sont concentrées dans les zones forestières du nord et du centre de l'État. Le reste de l'État est principalement constitué de zones agricoles ou urbaines.

Résultats

Les loups ont un effet net sur les collisions avec les cerfs dû aux changements de la population de cerfs et du comportement des cerfs (Fig. 3A)

Les résultats montrent deux tendances différentielles sur les collisions entre les comtés que les loups ont fini par coloniser (comtés à loups) et les comtés que les loups n'ont jamais colonisés (comtés sans loups) (Fig. 2 A-D) :

Tout d'abord, les populations de cerfs ont augmenté dans les comtés sans loups et se sont stabilisées dans les comtés avec loups. Ce schéma suggère que les loups peuvent supprimer la tendance à la surabondance de cerfs.

Deuxièmement, les collisions avec les véhicules sont restées stables dans les comtés avec loups, mais ont augmenté dans les comtés sans loups. En revanche, les collisions de véhicules non causées par des cerfs ont diminué à des taux similaires dans les zones avec ou sans loups, ce qui suggère que la proportion de collisions de véhicules impliquant des cerfs a augmenté plus rapidement dans les comtés sans loups.

Après avoir examiné la part des collisions de véhicules impliquant des cerfs avant et après l'entrée des loups dans chaque comté (Fig. 2 E et F), les auteurs démontrent qu'en moyenne, les collisions attribuables aux cerfs ont chuté de manière significative après l'arrivée des loups, par rapport aux années précédant l'arrivée (Fig. 2F). La baisse des collisions s'est stabilisée environ 5 ans après la réintroduction, ce qui constitue une preuve révélatrice que le comportement des cerfs finit par s'adapter à la présence des loups. Plus précisément, il existerait une forte baisse des collisions à partir de la première année après l'entrée des loups, c'est 1 an plus tôt que prévu, ce qui conforte l'hypothèse que les loups dispersés voyageant en dehors des zones fortement boisées ne sont pas immédiatement détectés par l'agence de gestion de l'État.

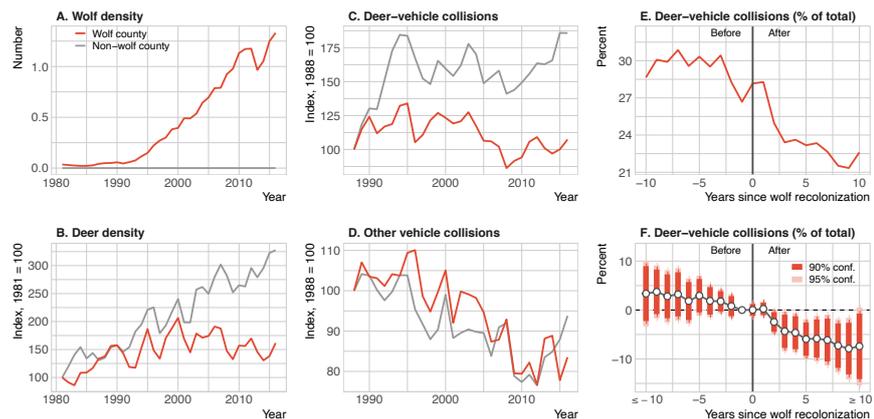


Figure 2 : Tendances de l'abondance des loups, collisions routières avec des cerfs.

(A) Population de loups en hiver pour 100 km² de territoire de chasse du cerfs. Le domaine du cerf est défini comme une couverture permanente d'au moins 4 ha en 1993, la seule année disponible. (B) Population de cerfs avant la chasse par km² de territoire de cerfs. (C) Collisions de véhicules causées par des cerfs. (D) Collisions de véhicules non causées par des cerfs. (E) Pourcentage de collisions de véhicules causées par des cerfs avant et après l'entrée des loups dans un comté de 1988 à 2010. (F) Pourcentage de collisions de véhicules causées par des cerfs régressé sur des variables indicatrices depuis la recolonisation par le loup, par comté et par année, de 1988 à 2010. Les erreurs types sont regroupées au niveau du comté. (E et F) Les données excluent trois comtés où le loup est sorti à un moment donné au cours de la période.

- En moyenne, la présence des loups réduit les collisions avec les cerfs de 23,7 %.
- Les résultats suggèrent que les loups ont réduit les collisions avec les cerfs de 17,9 à 27,3 % et que le choix de la spécification du modèle a peu d'effet sur l'estimation ponctuelle de la réduction des collisions.

L'effet net de la présence des loups sur les collisions avec les cerfs est économiquement significatif

- En moyenne, en présence de loups, les auteurs ont mis en évidence une réduction de 23,7 % des collisions avec des cerfs se traduisant par 38 collisions de moins par an (Tableau 1, colonne 1). Sur la base d'une perte moyenne nationale par collisions avec cerfs de 9 960 dollars (Huijser *et al.*, 2008), la présence de loups entraîne une réduction de plus de 375 000 dollars des pertes par comté et par an, soit une économie d'environ 11 dollars par personne ou de 808 dollars par million de kilomètres parcourus en 2010. Dans l'ensemble des 29 comtés où les loups sont présents, ces économies génèrent une réduction globale de 10,9 millions de dollars des pertes de véhicules à moteur chaque année.

- En moyenne, dans les comtés où les loups sont présents, cette réduction des collisions due au changement de comportement des cerfs se traduit par 28 collisions de moins par an avec des véhicules. Ce changement est évalué à environ 276 000 dollars par comté et par an, soit 8 millions de dollars par an à l'échelle de l'État.
- La différence entre l'effet net et l'effet comportemental représente le pourcentage de baisse des collisions avec les cerfs attribuables à l'influence de la présence des loups sur les populations de cerfs (ou "effet population"). Sur la base de cette méthode, la présence du loup réduit les collisions de 6,3 % par le biais de changements dans l'abondance des cerfs. En moyenne, dans un comté où les loups sont présents, cela se traduit par 10 collisions de moins par an, soit environ un quart de la taille de l'effet comportemental.

Pour évaluer davantage la dominance de l'effet comportemental, les auteurs ont estimé la réduction de l'abondance des cerfs qui serait nécessaire pour générer le même effet net sur les collisions avec les cerfs en l'absence d'effet comportemental. Ensuite, ils ont comparé ce point de référence à l'effet estimé des loups sur l'abondance des cerfs à partir de trois modèles prédateur-proie (voir annexe de la publication pour plus d'informations). Dans l'ensemble, les modèles prédateurs-proies confirment que l'effet des loups sur l'abondance des cerfs est beaucoup trop faible pour expliquer l'effet important des loups sur les collisions avec les cerfs. Les auteurs constatent en effet :

- Une diminution de 1 % de l'abondance des cerfs entraîne une réduction de 0,32 % des collisions en moyenne. Par conséquent, il faudrait une réduction de l'abondance des cerfs de 74 % pour générer l'effet net de la présence du loup sur les collisions sans effet comportemental (c'est-à-dire $0,32 \times 74,2 = 23,7$).
- De manière équivalente, étant donné le nombre moyen de loups présents dans un comté (14,5), s'il n'y avait pas d'effet comportemental, chaque loup devrait réduire la population de cerfs d'environ 5% en moyenne (c'est-à-dire $74,2 / 14,5 = 5,1$). Or, les modèles prédateurs-proies montrent que chaque loup ne réduit la population de cerfs que de 1,1 % au maximum.

Présence de loups versus abondance de loups : l'effet des loups sur les collisions avec des cerfs dépend-il du nombre de loups présents dans un comté ?

Pour examiner cette question, les auteurs ont ajouté au modèle à triple différences (voir méthode) l'estimation annuelle des populations de loups en plus de l'indicateur de présence de loups.

- Les résultats des modélisations montrent que le nombre de loups n'influe pas sur les collisions et que l'effet de la présence des loups est suffisant pour induire des changements comportementaux chez les cerfs de nature à réduire significativement les collisions avec des véhicules.

Conclusion

Les écologistes et les économistes reconnaissent le potentiel des prédateurs apex à fournir des avantages économiques en cascade pour les humains, mais il est souvent difficile de fournir des preuves concrètes. Malheureusement, les avantages des prédateurs ne deviennent généralement évidents qu'après leur retrait d'un écosystème. Ce fut le cas dans le comté de Kern, en Californie, par exemple, où des programmes gouvernementaux ont cherché à protéger le bétail et les propriétaires d'animaux de compagnie en décimant les mouffettes, les renards, les blaireaux, les belettes, les serpents, les hiboux, les corbeaux et les faucons. Ce n'est qu'après le programme qu'il est apparu clairement que ces efforts faciliteraient la prolifération

des populations de souris, responsables de dommages économiques importants pour ceux qui auraient dû *a priori* être les causées des dommages aux bénéficiaires des programmes de contrôle des prédateurs (Crocker & Tschirhart, 1992).

La présente étude démontre que l'élimination systématique des loups en Amérique du Nord a également causé des dommages indirects en terme de pertes économiques dues aux collisions avec les cerfs, la présence du loup réduisant les pertes liées aux collisions d'une moyenne de 375 000 dollars par comté et par an et de 10,9 millions de dollars par an au total dans les 29 comtés à loups (voir plus haut). À titre de comparaison, l'État du Wisconsin a versé 3,1 millions de dollars d'indemnisation à des particuliers pour des décès ou des blessures attestées causés par des loups sur du bétail, des chiens de chasse et des animaux domestiques entre 1985 et 2019, soit une moyenne de 174 000 dollars par an au cours des 5 dernières années (« Wisconsin annual wolf damage payment summary », 2020). Le bénéfice économique de la réduction des collisions dépasse donc les coûts économiques de la prédation vérifiée par les loups dans un rapport de 63 pour 1. La connaissance de cette différence est importante car les aspects économiques restent prépondérants dans les prises de décisions d'inscription, de radiation et de gestion des espèces en danger (Ando, 1999 ; Shogren *et al.*, 1999).

La réduction bénéfique des collisions avec les cerfs se concentre dans les zones rurales où la prédation du bétail est également présente. Ce résultat peut contribuer à atténuer la polarisation politique autour de la réintroduction du loup qui oppose généralement les électeurs ruraux et urbains, comme ce fut le cas lors du vote de novembre 2020 sur la réintroduction du loup dans le Colorado (Main, 2020). Contrairement aux études qui se concentrent sur les avantages économiques pour le tourisme ou l'attraction de certains humains lié à la présence du loup (Chambers & Whitehead, 2003), l'étude peut être d'une plus grande utilité pour les décideurs politiques qui tentent d'équilibrer les intérêts contradictoires des électeurs lors de l'élaboration des politiques.

En outre, les résultats démontrent que les loups pourraient apporter une solution à un problème d'ingénierie de la sécurité routière insoluble, à savoir que les mesures traditionnelles d'atténuation des collisions ne sont souvent pas modulables aux grandes échelles. Sur plus de 40 types de mesures d'atténuation traditionnelles, seules 13 sont efficaces pour réduire les collisions avec les grands ongulés (Huijser *et al.*, 2008). Parmi ces stratégies, la plupart ne sont rentables que si elles sont déployées dans les points chauds de collision avec des animaux sauvages (Huijser, 2009) ; par conséquent, les contraintes d'information et de financement limitent l'utilisation à grande échelle des stratégies d'atténuation n'impliquant pas les loups. Des technologies plus récentes, telles que les modèles d'apprentissage automatique qui identifient la présence de cerfs sur les routes (Chen *et al.*, 2019 ; Hans *et al.*, 2020) et les systèmes d'éclairage orientés vers l'arrière qui rendent les véhicules plus visibles pour les cerfs (DeVault *et al.*, 2020), se sont révélées prometteuses pour réduire les collisions. Néanmoins, la rapidité et la portée du déploiement de ces technologies ne sont pas encore claires, face à la solution fondée sur la nature que représente la présence du loup.

Dans tous les cas, les changements de comportement des cerfs induits par la présence du loup a aussi d'autres effets positifs que la réduction des collisions. Les cerfs s'alimentent régulièrement en bordure des champs agricoles (Alverson *et al.*, 1988; Wywiałowski, 1996), qui se trouvent généralement à proximité des routes. Lorsque les loups sont présents, les cerfs se retirent des champs vers des zones boisées offrant une meilleure couverture (Fortin *et al.*, 2005 ; Mao *et al.*, 2005). Ce changement de comportement pourrait être un avantage substantiel pour les agriculteurs, car les cerfs causent 90 % de tous les dommages causés par la faune sauvage à l'agriculture dans le Wisconsin (*Wisconsin's deer management program: The issues involved in decision-making*, 1998). Les loups peuvent également réduire l'incidence de la maladie de Lyme en modifiant l'écologie des petits mammifères



hôtes (Levi *et al.*, 2012). La maladie de Lyme a des coûts économiques annuels de 4,4 à 7,9 milliards de dollars (Berry *et al.*, 2018 ; Kilpatrick *et al.*, 2014). Les loups peuvent également atténuer les effets néfastes de la surabondance de cerfs sur les écosystèmes forestiers (Callan *et al.*, 1994).

synthèse et relecture Charlotte Navarro,
chargée de mission

Hélène Soubelet,
directrice de la FRB