

Synthèse de l'article

A systemic approach to assess the potential and risks of wildlife culling for infectious disease control

Septembre 2020

Référence

Eve Miguel, Vladimir Grosbois, Alexandre Caron, Diane Pople, Benjamin Roche & Christl A. Donnelly *Communications Biology* | (2020) 3:353

 <https://doi.org/10.1038/s42003-020-1032-z>

Approche systémique des conséquences (avantages et inconvénients) de l'abattage de la faune sauvage comme méthode de gestion des maladies infectieuses.



Contrairement à la France, au Royaume-Uni le blaireau est une espèce protégée et est très apprécié par une grande partie de la population. L'abattage des blaireaux pour contrôler la propagation de la tuberculose chez les bovins a déclenché de vives protestations dans le pays, amenant le gouvernement à annoncer un changement de stratégie et un abandon progressif de l'abattage des blaireaux au profit de leur vaccination.

Pour se maintenir, une maladie infectieuse nécessite un nombre suffisant d'hôtes sensibles qui hébergent le pathogène, permettant ainsi sa survie et sa circulation. Fort de ce principe, la stratégie d'élimination des hôtes sensibles apparait comme un moyen de gestion pertinent lorsqu'il s'agit de réservoirs animaux. Encore fortement utilisée, cette méthode est néanmoins de plus en plus remise en question, en termes d'éthique, de protection animale et de protection de l'environnement. La récente publication de Miguel *et al.* explore les avantages et inconvénients de l'abattage des animaux sauvages, y compris ses effets contre-productifs sur la dynamique de la maladie elle-même, et propose des solutions alternatives pour le contrôle des maladies.



TABLE DES MATIÈRES

Écologie et abattage, des relations complexes	4
CAS 1 : La tuberculose bovine et les populations de bovins et de blaireaux au Royaume-Uni	9
CAS 2 : La rage, les chauves-souris en Amérique du Sud et les chiens en Tanzanie	10
CAS 3 : La maladie tumorale faciale du diable de Tasmanie (<i>Sarcophilus barrisii</i>)	10
Les limites de l'abattage	11
Les limites des tests de diagnostics	11
Territorialité, modification des comportements, perturbation des structures sociales et émigration	12
Reproduction compensatoire, migration et adaptation des espèces de la communauté	12
Les stratégies alternatives à l'abattage	13
La vaccination des individus sains et à risque dans les zones à haut risque d'infection	13
Le contrôle de la dispersion des populations infectées pour réduire le chevauchement spatial avec les populations sensibles	14
Le zonage des régions à haut risque	14
La maintenance des réseaux trophiques et d'interactions, et la restauration des prédateurs sont des options de plus en plus discutées dans le cadre d'approches plus globales et « <i>One Health/Eco Health</i> » pour la gestion du socio-écosystème	14
Conclusion et recommandations	16
Bibliographie	18



L'abattage, une solution de gestion simple et facile à engager ou une solution onéreuse et contre-productive ?

Dès l'apparition des premières épidémies et la compréhension de leur dynamique, l'abattage s'est imposé comme une méthode de gestion simple et apparemment efficace. L'objectif de l'abattage des animaux est de réduire le taux de contacts infectieux entre un individu infecté et un individu sensible en dessous du seuil de persistance de l'agent pathogène en diminuant le nombre et la densité des animaux infectieux et sensibles, et ainsi briser les chaînes de transmission.

L'abattage a notamment été utilisé lors des premières épidémies de peste bovine en Europe en 1709 aux côtés de la restriction des mouvements, des cordons sanitaires, de la quarantaine, de la désinfection et de l'enfouissement des carcasses. Par la suite, les campagnes de vaccination ont permis d'éradiquer la peste bovine avec succès. Plus récemment, l'abattage est devenu le principal mode de contrôle des épidémies animales domestiques : tuberculose, brucellose, maladie de la vache folle, grippe aviaire. La puissance publique y a eu recours même dans le cas d'épidémies à dimension économique (soit non pathogéniques soit bénignes pour les humains) comme la fièvre aphteuse des bovins, ovins et porcs. Lors d'un épisode en 2001, quatre millions d'animaux domestiques ont ainsi été abattus à des fins de contrôle de la maladie, et au moins 2,5 millions d'animaux supplémentaires ont été détruits dans le cadre d'abattages pour des raisons de bien-être animal.

L'abattage des animaux sauvages a également été utilisé pour lutter contre les maladies zoonotiques. Au cours du XX^e siècle en Afrique australe, cette méthode a été mise en œuvre afin de créer des corridors sans animaux sauvages autour des parcs nationaux pour protéger les élevages de bétail contre la propagation de la trypanosomiase : environ 660 000 animaux de 36 espèces, dont de grands mammifères comme les rhinocéros noirs (*Diceros bicornis*) et les éléphants (*Loxodonta africana*) ont été tués. Le contrôle de la rage en Europe à partir des années 1960 a tout d'abord utilisé cette stratégie pour éliminer le renard roux (*Vulpes vulpes*), dont le succès limité a conduit à envisager et déployer la vaccination orale. Plus récemment, l'abattage a été utilisé pour lutter contre la tuberculose à *Mycobacterium bovis* en réduisant les populations de blaireaux européens (*Meles meles*) au Royaume-Uni et en République d'Irlande, d'opossums à queue broussailleuse (*Trichosurus vulpecula*) en Nouvelle-Zélande et de buffles africains (*Syncerus caffer caffer*) en Afrique du Sud, en tant qu'espèces réservoirs de l'agent pathogène.

Les agents pathogènes émergents constituent également une menace pour les populations d'animaux sauvages et leur conservation. La récente épidémie du virus de la peste des petits ruminants en 2017 en Asie orientale chez l'antilope saïga (*Saiga tatarica Mongolica*) en est un parfait exemple, avec une mortalité massive affectant les deux tiers de la population. Voir comme étude de cas : le virus de la maladie de Carré du chien dans l'écosystème du Serengeti et le contrôle, par abattage, de la maladie de dépérissement chronique en Amérique du Nord.

Alors qu'environ un million d'espèces sont déjà menacées d'extinction et que beaucoup d'autres le seront d'ici quelques décennies (Ipbes, 2019), l'abattage n'est plus considéré comme une option politique acceptable pour lutter contre les maladies zoonotiques, car il affecte considérablement la conservation de la biodiversité et, plus généralement, le fonctionnement des écosystèmes comme le démontrait déjà Bolzoni *et al.* en 2013. En effet, l'élimination des animaux sauvages des populations naturelles peut avoir des conséquences contre-productives inattendues sur la transmission des agents pathogènes au sein de la communauté d'hôtes. Par ailleurs, selon les espèces visées par l'abattage



(par exemple, les espèces protégées, les animaux de compagnie ou les animaux d'élevage), la réaction du public aux options de lutte basées sur l'abattage peut faciliter ou entraver leur mise en œuvre. Par conséquent, le rapport coût-efficacité (c'est-à-dire l'efficacité) et le rapport coût-bénéfice de certaines options d'abattage des animaux sauvages font aujourd'hui l'objet d'un débat intense entre les scientifiques, les décideurs politiques, les parties prenantes et le grand public.

La conception d'une stratégie d'abattage nécessite en effet l'identification des espèces et des individus à abattre (uniquement les individus sensibles versus toute la population) ainsi que les échelles spatiales et temporelles de l'abattage. Ces choix doivent donc être éclairés par une compréhension du système épidémiologique fondée sur des données probantes.

Écologie et abattage, des relations complexes

Les zoonoses infectieuses représentent près de 75 % des maladies infectieuses ré-émergentes dans les populations humaines au cours du siècle dernier. Le cycle de ces pathogènes est souvent complexe, mais la faune sauvage y joue souvent un rôle majeur comme l'illustre un grand nombre de maladies récentes : Sida, Ebola, Covid-19, Nipah, etc. Plusieurs modes de transmission sont répertoriés (voir tableau 1).

Mode de transmission	Exemple
Mutation de l'agent pathogène	Virus de l'immunodéficience humaine 1 (VIH 1) qui a évolué après adaptation du virus de l'immunodéficience simienne (Vis) à partir de singes africains
Transmission directe	Virus de la grippe aviaire H1N1 transmis des oiseaux domestiques à l'homme
Transmission vectorielle	Bactérie de la maladie de Lyme transmise à l'homme par les tiques
Transmission alimentaire ¹	Parasite <i>Trichinella spiralis</i> transmis à l'homme par ingestion de viande de sanglier

Tableau 1 : Modes de transmission des pathogènes de la faune sauvage à l'homme

Les maladies infectieuses émergentes sont quatre fois plus fréquentes dans les années 2000 que dans les années 1940, néanmoins, la transmission d'un agent pathogène des animaux à l'homme reste un phénomène rare qui nécessite que différentes conditions soient réunies. En particulier, les interactions interspécifiques entre les espèces donneuses et réceptrices doivent être suffisamment fréquentes et l'agent pathogène doit être suffisamment pré-adapté à l'espèce hôte réceptrice. Par conséquent, les proximités physique et biologique de ces espèces sont des facteurs clés de la propagation de l'agent pathogène entre les espèces, en particulier pour les maladies virales directement transmises. La pression anthropique sur l'environnement naturel a conduit non seulement à la fragmentation des habitats naturels et à la disparition de nombreuses espèces, mais aussi à un empiètement des activités agricoles et urbaines en périphérie des zones occupées par les populations animales sauvages, ou alimentaires (par la chasse et la cueillette) à l'intérieur de ces zones.

Pour définir une politique de gestion, il est important de prendre en compte un certain nombre de paramètres (voir tableau 2).

<p>La gamme d'hôte du pathogène</p>	<p>Les agents pathogènes peuvent avoir des gammes d'hôtes animaux étroites, comme le coronavirus du syndrome respiratoire du Moyen-Orient (Mers) apparu chez l'homme en 2012 et qui ne circule, selon les connaissances actuelles, que chez les dromadaires. D'autres peuvent infecter un large éventail d'hôtes animaux, comme l'agent de la tuberculose, <i>Mycobacterium bovis</i>, qui peut infecter un large éventail d'ongulés artiodactyles.</p>
<p>La diversité des hôtes</p>	<p>Johnson <i>et al.</i> (2013) ont démontré empiriquement que la diversité d'hôtes inhibait le pathogène <i>Ribeiroia ondatrae</i> et réduisait l'incidence de la maladie chez les amphibiens en réduisant sa transmission de 78,4 % dans les assemblages plus riches. Dans un système différent, Dearing <i>et al.</i> (2015) ont montré que la prévalence (nombre de malades par rapport à la population totale) des cas d'atteinte par le virus « sans nom » (<i>Sin nombre virus</i>) chez les souris sylvestres était plus faible dans les communautés plus diversifiées, où les souris sylvestres avaient moins d'interactions intraspécifiques, que dans les communautés moins diversifiées.</p>
<p>La compétence de tous les hôtes (capacité à maintenir et à transmettre les pathogènes)</p>	<p>Il est important d'identifier la compétence de toute la communauté d'hôtes et le rôle de chaque espèce pour comprendre l'épidémiologie du système de transmission. Dans le cas d'un pathogène circulant chez plusieurs hôtes, l'abattage d'une seule espèce peut ne pas produire les effets attendus (éradication de la maladie) et compromettre le contrôle de la propagation de la maladie. Par exemple la lutte contre la tuberculose en Angleterre ciblant les blaireaux a donné des résultats mitigés, en partie car la bactérie est aussi hébergée, en plus des bovins eux-mêmes par un grand nombre d'espèces (voir étude de cas). En France, en 2001, une approche différente a été menée, avec abattage de plusieurs hôtes comprenant des cerfs, des sangliers et des blaireaux (Hars <i>et al.</i> 2010).</p>
<p>La densité et la connexion des espèces au sein des communautés</p>	<p>Au sein d'une communauté, différentes espèces interagissent et leurs densités sont régulées par des processus écologiques comme la prédation, la compétition et le parasitisme. Ainsi, si une espèce est faiblement connectée à l'intérieur de la communauté (c'est-à-dire que les taux de contact et la capacité à propager une maladie sont faibles), l'impact de son élimination sur les fonctions écologiques des autres espèces sera limité. Cependant, la niche écologique libérée par cette élimination peut rendre disponible des ressources pour des espèces concurrentes qui peuvent être plus connectées et/ou plus compétentes. À l'inverse, la réduction de la densité d'une espèce fortement connectée pourrait perturber l'ensemble de l'écosystème avec des conséquences épidémiologiques imprévisibles.</p>

<p>La dynamique de la transmission directe des agents pathogènes</p>	<p>La transmission intra et interspécifique pourrait être influencée de manière différenciée par la densité des individus infectieux ou la fréquence de ces individus dans la population. Par conséquent, cet aspect doit être bien caractérisé pour le développement d'une stratégie intelligente et éthique d'abattage. En effet, seules les stratégies d'abattage qui ciblent les populations ou les individus les plus susceptibles de devenir infectieux serait efficaces pour le contrôle des maladies fréquence-dépendantes. Inversement, des stratégies d'abattage non ciblées pourraient être inefficaces pour ces mêmes maladies et efficaces pour les maladies densité-dépendantes (voir études de cas). Toutefois, cette caractéristique de la maladie peut être difficile à déterminer. L'analyse des données épidémiologiques et génétiques combinées avec des modèles mécanistiques permet de tester les différents scénarios de transmission (par exemple, en fonction de la densité, de la fréquence et/ou la transmission environnementale) et peut fournir de précieuses informations sur la dynamique des agents pathogènes. Dans les populations hôtes à distribution discontinue, des transmissions fréquence-dépendantes (et des dynamiques d'endémie locale, des foyers très localisés de la maladie, dans certains sous populations) peuvent coexister avec des mécaniques densité-dépendante (et des dynamiques épidémiques dans d'autres sous-populations), comme observé pour la rage chez le renard.</p>
<p>La transmission indirecte d'agents pathogènes (transmission environnementale)</p>	<p>Elle est souvent négligée dans la gestion des maladies, en particulier lors de la planification des stratégies d'abattage, bien qu'elle puisse limiter l'effet de l'abattage. Lorsque les agents pathogènes peuvent survivre dans l'environnement, ils peuvent persister plus longtemps et leur contrôle est plus difficile à réaliser. La transmission environnementale est très probablement impliquée dans l'échec du contrôle de la maladie du dépérissement chronique dans les populations de cerfs en Amérique du Nord (voir études de cas), et pourrait également expliquer pourquoi, en Amérique du Nord, la brucellose persiste malgré la très petite taille de la population de bisons, parfois moins de 200 individus, l'un de ses réservoirs (voir études de cas).</p>
<p>Les échelles spatio-temporelles</p>	<p>Le plus souvent, la population visée par l'abattage occupe un vaste territoire et la portée géographique de l'abattage doit être précisée. La localisation des zones d'abattage et de non-abattage a des conséquences importantes sur la distribution spatiale et la dynamique de transmission de la maladie. Les points chauds de transmission de la maladie sont généralement classés par ordre de priorité, ainsi que les zones clés pour interrompre la transmission à une certaine distance des zones à forte incidence. L'environnement immédiat d'une zone d'abattage, souvent appelé zone tampon, doit également être pris en compte pour mesurer les</p>



	<p>impacts de l'abattage. En terme de dynamique temporelle d'évolution d'une zoonose, par exemple la dispersion des blaieaux en réaction aux abattages entraîne bien une diminution de l'incidence de la tuberculose chez le bétail dans la zone d'abattage, mais une augmentation dans la zone tampon.</p>
<p>Le taux et la périodicité de l'abattage</p>	<p>Des approches s'appuyant sur la modélisation épidémiologique sont souvent utilisées. En fonction des taux de prévalence et d'incidence initiaux dans une population, différents scénarios sont modélisés par des paramètres variables, tels que le taux de réduction de la population et la durée et la fréquence des abattages. Le modèle qui maximise la probabilité d'extinction locale de l'agent pathogène est sélectionné. Toutefois, ces approches sont généralement entravées par la connaissance limitée du système éco-épidémiologique et des processus de transmission. Par exemple, les modèles considèrent souvent que les populations d'hôtes et d'agents pathogènes sont bien mélangées, avec une transmission homogène de la maladie parmi les individus sensibles et infectés. Toutefois, on sait maintenant que la transmission peut varier dans le temps, en fonction des structures sociales ou de caractéristiques individuelles, comme l'âge. En outre, la modélisation peut conduire à la conclusion qu'une stratégie d'abattage efficace ne peut être mise en œuvre (voir étude de cas : les diables de Tasmanie).</p>
<p>La quantification des ressources économiques nécessaires</p>	<p>Souvent, les stratégies de lutte pour gérer les populations réservoirs de maladies sont conçues dans une perspective éco-épidémiologique, mais ignorent les compromis économiques, malgré leur importance, surtout dans les pays aux revenus faibles. D'un point de vue purement économique, l'abattage devrait être entrepris chaque fois que les analyses coûts-avantages montrent que l'augmentation des recettes provenant de la réduction des risques de maladie dépassent les coûts (directs et indirects) de l'abattage, et que l'abattage présente un meilleur rapport coût-bénéfice que les autres stratégies de lutte contre les maladies. Or, les évaluations coûts-avantages révèlent souvent que les stratégies d'abattage ne sont pas économiquement durables (voir étude de cas, le diable de Tasmanie), car une réelle efficacité nécessiterait souvent d'augmenter et/ou maintenir une fréquence des prélèvements forte, difficilement réalisable d'un point de vue économique. Cette évaluation révèle également que l'option « ne rien faire » est souvent meilleure en termes de coûts-avantages. Haydon <i>et al.</i> (2004) ont modélisé la mise en œuvre d'approches qui vont au-delà des stratégies de contrôle traditionnelles des années 1960 (c'est-à-dire l'interdiction de mouvement, la désinfection des propriétés infectées et l'abattage rapide de tous les animaux dans un troupeau) pour</p>

	<p>lutter contre l'épidémie de fièvre aphteuse de 2001 au Royaume-Uni. Les coûts économiques directs et indirects de la crise de 2001 sont estimés à trois milliards de livres sterling et cinq milliards de livres sterling, respectivement. Cette situation, conjuguée à l'inquiétude générale du public face à l'abattage visible de millions d'animaux, a entraîné une révision majeure des plans d'intervention en cas d'épidémie.</p>
<p>L'acceptation sociale de l'abattage</p>	<p>L'abattage des animaux sauvages pour réduire l'incidence des maladies chez les animaux domestiques n'est souvent pas culturellement acceptable, et son acceptabilité peut varier considérablement d'un groupe ethnique à l'autre. Les options alternatives à l'abattage des animaux sauvages (voir plus bas) sont de plus en plus discutées au sein des comités d'éthique en termes de bien-être animal. Les sentiments des citoyens à l'égard des espèces visées pourraient également limiter le succès des stratégies de contrôle basées sur l'abattage (voir étude de cas, la tuberculose au Royaume-Uni et la brucellose aux États-Unis). Les perceptions de la société ont également influencé l'utilisation des stratégies d'abattage pour contrôler la brucellose en Amérique du Nord. Les wapitis, principal réservoir de brucellose, sont généralement appréciés et autorisés à errer en dehors des parcs nationaux avec très peu de restrictions. À l'inverse, les bisons sont moins appréciés et sont abattus en dehors des zones de conservation, bien qu'ils constituent un réservoir moins infectieux.</p>
<p>Les contraintes et limites du travail sur le terrain</p>	<p>L'abattage d'une proportion suffisante d'individus dans la population est un facteur déterminant de la réussite de la stratégie d'abattage. Cependant, l'abattage d'animaux sauvages est souvent techniquement difficile (accès à la zone, comportement des animaux). Par exemple, l'abattage des bouquetins des Alpes (<i>Capra ibex</i>) dans le massif du Bargy en France a nécessité l'enlèvement des carcasses par hélicoptère pour les incinérer, afin d'éviter la contamination de l'environnement et des charognards. L'abattage en continu est particulièrement difficile sur le plan logistique, mais aussi en raison de l'adaptation des animaux à la technique d'abattage. Cela peut compromettre les objectifs d'abattage identifiés par la modélisation. Le travail d'abattage peut également être entravé par l'épuisement des équipes de terrain, qui se traduit parfois par une diminution progressive du taux de capture.</p>

CAS 1 : La tuberculose bovine et les populations de bovins et de blaireaux au Royaume-Uni

À la fin des années 1960, la tuberculose bovine, causée par *Mycobacterium bovis*, était presque éradiquée du Royaume-Uni. La réduction spectaculaire de la prévalence de la maladie était due à l'abattage systématique des bovins positifs aux tests cutanés obligatoires, la restriction des mouvements des troupeaux infectés et la surveillance des abattoirs. Toutefois, malgré ces actions, une recrudescence récente en provenance du sud-ouest de l'Angleterre s'est étendue à de vastes zones de l'Angleterre et du Pays de Galles et la maladie est maintenant endémique dans certaines régions (sud-ouest et certaines parties du centre de l'Angleterre, et sud-ouest du pays de Galles) et sporadique ailleurs.

Le coût du contrôle de la tuberculose au Royaume-Uni est de plus de 100 millions de livres sterling par an. Les mouvements de bétail sont le facteur prédominant de la propagation de la tuberculose bovine dans les zones situées en dehors des points chauds traditionnels de la maladie ; toutefois, sa propagation à l'échelle nationale s'explique également par d'autres facteurs, tels que les pratiques de gestion des exploitations (taille du troupeau, repeuplement, type d'exploitation).

Les sources d'infection par *M. bovis* chez les bovins sont multiples et mal quantifiées, néanmoins, le blaireau est souvent considéré comme le principal réservoir sauvage, notamment dans certaines régions à haut risque du Royaume-Uni. Le rôle potentiel d'autres mammifères sauvages, tels que les cerfs ou d'autres carnivores, n'est pas clairement compris. Une étude sur l'infection des mammifères sauvages dans le sud-ouest de l'Angleterre a confirmé des infections chez le renard (*Vulpes vulpes*), l'hermine (*Mustela ermine*), le putois (*Mustela putorius*), la musaraigne commune (*Sorex araneus*), la souris à cou jaune (*Apodemus flavicollis*), la souris des bois (*Apodemus sylvaticus*), le campagnol des champs (*Microtus agrestis*), l'écureuil gris (*Sciurus carolinensis*), le chevreuil (*Capreolus capreolus*), le cerf élaphe (*Cervus elaphus*), le daim (*Dama dama*) et le muntjac (*Muntiacus reevesi*). Malgré la prévalence importante des infections chez ces espèces, leur compétence pour maintenir *M. bovis* dans la population (en tant que communauté de maintien) reste mal évaluée. Les résultats suggèrent que le cerf devrait être considéré comme une source potentielle, bien que probablement localisée, d'infection pour le bétail. De même, l'essai randomisé d'abattage de blaireaux au Royaume-Uni (*Randomized Badger Culling Trial*), entrepris de 1998 à 2005, a donné des résultats contrastés :

- après l'abattage, la prévalence de l'infection a augmenté dans les populations de blaireaux ;
- chez les bovins, l'incidence de la tuberculose a diminué de 23 % dans les troupeaux de bovins à l'intérieur des zones d'abattage préventif sur plus de 100 km² ;
- l'incidence de la maladie chez les bovins a augmenté de 25 % dans les zones entourant immédiatement les zones d'abattage.

L'explication pourrait résider dans le fait que l'abattage réduisait la densité de blaireaux, mais augmentait aussi les déplacements des individus survivants, modifiant ainsi le réseau de contact au sein des populations de blaireaux. Par ailleurs, la diminution de l'efficacité de l'abattage a aussi été évoquée ainsi que l'incertitude sur la taille de la population. En 2015, le comté de Dorset a demandé l'abattage d'au moins 615 blaireaux en espérant atteindre un taux d'abattage estimé efficace pour lutter contre l'infection de 70 % de la population. Or cette dernière a été estimée entre 879-1547 animaux. À la limite supérieure de l'estimation, l'abattage de 615 blaireaux aurait entraîné une réduction de 39,8 % de la taille de la population, ce qui n'aurait pas été suffisant pour contrôler la propagation de la tuberculose chez les bovins. Une étude a ainsi mis en évidence



que le taux d'efficacité de l'abattage dans le cadre du *Randomized Badger Culling Trial* au Royaume-Uni se situait entre 32 % et 77 %, alors que certains modèles de transmission dynamique indiquaient que 80 à 100 % des animaux devaient être éliminés.

Le ministère britannique de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales a estimé à 16 087 000 £ de 2013 à 2017 le coût de la lutte, or l'Angleterre a enregistré 3 888 nouveaux cas de tuberculose bovine en 2017, contre moins de 100 par an dans les années 1980, avec un total de 31 773 animaux abattus, soit une augmentation de 7 % par rapport à 2016.

Le blaireau est une espèce protégée au Royaume-Uni et est très apprécié par une grande partie de la population. L'abattage des blaireaux a déclenché de vives protestations au Royaume-Uni. En République d'Irlande, l'utilisation de dispositifs de contention (pièges) pour éviter la dispersion des animaux des zones d'abattage a permis un abattage du blaireau plus efficace (en terme de réussite de l'élimination des individus, pas forcément en terme de gestion de la maladie), mais il est considéré comme inacceptable pour le bien-être des animaux au Royaume-Uni.

Par ailleurs, la réduction à long terme des populations de blaireaux après l'abattage soulève des préoccupations en matière de conservation de la faune. L'abattage avait même été étendu aux zones à faible risque, alors qu'à l'origine il ne concernait que les zones à haut risque. Cependant, des protestations et contestations judiciaires ont été menées et en 2018, un important rapport commandité par le secrétariat à l'environnement a été publié, amenant le gouvernement à annoncer un changement de stratégie et un abandon progressif de l'abattage des blaireaux au profit de leur vaccination.

CAS 2 : La rage, les chauves-souris en Amérique du Sud et les chiens en Tanzanie

Il a été suggéré que la transmission de la rage par les chauves-souris hématophages en Amérique du Sud dépendait de la densité en raison de la grande taille des colonies. Cependant, une étude empirique n'a montré aucun lien entre la densité de l'hôte et la séroprévalence. Même dans les grandes colonies, un seul animal a un nombre limité de voisins à mordre, et les contacts infectieux peuvent ne pas être homogènes en raison de la structure sociale au sein de la colonie. Au Pérou, le virus de la rage pourrait être transmis selon des mécanismes fréquence-dépendant et maintenu chez les chauves-souris grâce à un rôle clé des chauves-souris juvéniles et sub-adultes, conduisant à l'inefficacité constatée de l'abattage non ciblé pour éliminer la transmission de la maladie.

Une étude récente sur la rage en Tanzanie a souligné l'importance de l'environnement (par exemple, les routes, les rivières, l'altitude et la densité canine) en plus de l'importance épidémiologique et des données génétiques. Cette approche combinée a montré que la présence localisée de chiens était le facteur déterminant le plus important de risque la diffusion de la rage, et non leur densité. Cela implique que l'abattage est inefficace pour la lutte contre la rage.

CAS 3 : La maladie tumorale faciale du diable de Tasmanie (*Sarcophilus harrisii*)

Le diable de Tasmanie, le plus grand carnivore marsupial vivant, est menacé par une maladie provoquant des tumeurs faciales, un cancer émergent qui a été détecté pour la première fois en Tasmanie en 1996. La transmission se fait *via* les cellules tumorales vivantes d'un diable infecté à un diable sain. La mort survient

généralement au bout de trois à six mois sans guérison et sans immunité. Une résistance est rarement enregistrée. La maladie touche la plupart des individus et a entraîné une diminution de la population de 60 à 90 %, selon les régions. Comme les contacts infectieux impliquent généralement des morsures lors des interactions sexuelles, la transmission est fréquence-dépendante et il a été suggéré que l'abattage sélectif des individus infectés était possible et pourrait limiter, voire arrêter, la propagation de la maladie. L'abattage des animaux infectés est généralement acceptable pour le public et peut avoir des effets limités sur la dynamique de la population, car l'espérance de vie des individus infectés est très courte. Une autre caractéristique qui pourrait contribuer au succès de l'abattage sélectif est que le diable semble être la seule espèce hôte de la maladie. En outre, les diables de Tasmanie sont faciles à capturer. Pourtant, la comparaison de la progression de la maladie dans une zone où l'abattage sélectif a été mis en œuvre et dans une zone de contrôle (pas d'abattage) n'a montré aucune diminution de la prévalence de l'infection après 2,5 ans d'abattage sélectif. Bon nombre des changements démographiques et des modèles épidémiologiques révélateurs de l'impact de la maladie (changement de la structure d'âge de la population, baisse du taux de survie des adultes, augmentation des taux d'infection, diminution de la taille de la population) se sont produits plus rapidement dans la zone soumise à l'abattage. Parmi les raisons possibles de cet échec, on peut citer l'existence de sous-populations cryptiques impossibles à capturer et pouvant servir de populations réservoirs, et l'immigration d'individus infectés en provenance de zones sans abattage.

De plus, la modélisation de la transmission a indiqué que l'abattage tous les trois mois ne suffirait pas à supprimer la maladie, même dans les populations isolées. Des abattages plus fréquents pourraient être plus efficaces, mais ce taux d'abattage pourrait ne pas être réalisable ou pourrait menacer la survie de la population hôte. Enfin, l'abattage trimestriel de diables de Tasmanie coûte 200 000 dollars australiens par an pour 100 km² sans diminution significative de la prévalence de l'infection.

Les limites de l'abattage

Les limites des tests de diagnostics

L'une des principales limites de l'abattage, en particulier dans le cadre d'une stratégie de test puis d'élimination est la capacité à détecter l'agent pathogène ou la maladie dans la population ciblée ou chez les individus. Les capacités techniques sont souvent sous-optimales et les tests de diagnostic sont rarement disponibles pour la détection précise des agents pathogènes dans la faune sauvage, en particulier pour les agents pathogènes émergents. La lutte contre la maladie du dépérissement chronique dans les populations de cerfs et d'élans en Amérique du Nord illustre bien les difficultés liées au diagnostic des maladies infectieuses chez les animaux sauvages. L'apparition de signes cliniques chez les animaux infectés peut prendre plus de deux ans. En outre, les tests de diagnostic disponibles pour l'urine, la salive ou les fèces ne sont pas optimaux, avec des sensibilités diagnostiques de 39 %, 78 % et 53 % respectivement (capacité à ne pas déclarer négatifs un malade), et une spécificité proche de 100 % pour les trois types d'échantillons (capacité à ne pas déclarer positif un individu sain). Par conséquent, un individu infecté peut rester longtemps dans la population sans être détecté et éliminé. Aucune diminution de la prévalence n'a été observée après trois ans d'abattage moyen à intensif dans le nord-ouest du Colorado (États-Unis) entre 2001 et 2005.

Le développement d'outils de diagnostic pour l'identification des animaux infectés a progressé régulièrement ainsi que les techniques d'échantillonnage, avec un passage des approches *post-mortem* à des approches *ante-mortem* ciblant les tissus périphériques et les fluides corporels. Dans de nombreux cas, les tests de diagnostic sont basés sur la détection d'anticorps, par exemple pour la brucellose, une maladie chronique chez le bouquetin des Alpes (*C. ibex*), et passeront donc à côté de certaines infections actives actuelles. On estime que seulement 51 % de tous les individus séropositifs pour le bouquetin des Alpes excrètent la bactérie. Le développement de tests rapides pourrait conduire à l'euthanasie des animaux directement sur le terrain après leur capture, ou après leur recapture si des analyses de laboratoire sont nécessaires. Toutefois, une conséquence indésirable de l'utilisation des tests d'anticorps est l'élimination des individus qui ont été infectés mais qui se sont rétablis et sont maintenant immunisés. L'abattage d'animaux séropositifs peut réduire l'immunité du troupeau en éliminant de la population les individus naturellement immunisés. En outre, un exemple frappant des conséquences potentielles d'une mauvaise spécificité des tests est que 54 % des bisons abattus pour contrôler la brucellose dans le parc de Yellowstone ne présentaient aucun signe *post-mortem* de brucellose. L'abattage de nombreux individus non infectés pourrait mettre en péril la persistance d'une population déjà réduite et menacée. C'est pourquoi, pour une lutte efficace contre la maladie, une approche de test et d'élimination ne pourrait être adoptée que lorsque de bons tests de diagnostic sont disponibles pour cet agent pathogène et que sa période infectieuse est précisément caractérisée.

Territorialité, modification des comportements, perturbation des structures sociales et émigration

Dans les systèmes naturels, la plasticité sociale et physiologique des populations animales visées par une campagne d'abattage peut leur conférer une remarquable capacité d'adaptation et de récupération après l'abattage. Les effets de l'abattage vont au-delà de la simple réduction des effectifs de la population. La territorialité des animaux est souvent affectée par l'abattage, avec des conséquences cruciales sur l'épidémiologie de l'agent pathogène ciblé, comme l'ont récemment modélisé Prentice *et al.* (2019). La réaction comportementale des blaireaux à l'abattage au Royaume-Uni a consisté en une dispersion accrue dans les zones d'abattage. Cela a entraîné un chevauchement des territoires des groupes sociaux de blaireaux et a été associé à une augmentation de la prévalence de *M. bovis* chez les blaireaux à l'intérieur des groupes sociaux ciblés et voisins. Des études ont montré que la territorialité des populations de blaireaux pouvait être perturbée jusqu'à huit ans après l'abattage. Le même phénomène de perturbation des aires de répartition s'est probablement produit dans les populations de bouquetins des Alpes après l'abattage en réponse à la réémergence de la brucellose dans le bétail et les humains adjacents. Par conséquent, l'abattage modifie l'organisation sociale des groupes d'animaux, mais peut également modifier le rapport des sexes, l'âge et les structures de dominance et stimuler la dispersion des survivants dans de nouvelles zones. En outre, l'abattage peut accroître le stress, ce qui entraîne une dépression du système immunitaire et une plus grande expression de la maladie.

Reproduction compensatoire, migration et adaptation des espèces de la communauté

Chez la plupart des mammifères, la dynamique des populations est déterminée par la fécondité et la mortalité qui dépendent de la densité. En raison de la limitation des ressources, les paramètres démographiques liés à leur reproduction, leur survie et leur dispersion varient en fonction de leur propre

densité et aussi celle d'autres espèces au sein de leur communauté écologique. Il en résulte une relation de régulation entre le taux de croissance de la population et la densité, dans laquelle les populations augmentent lorsque la densité est inférieure à la capacité de l'écosystème, et diminuent dans la situation inverse. Ainsi, les effets de l'abattage peuvent être partiellement ou totalement compensés par ces mécanismes, ce qui pourrait à son tour entraîner un rétablissement de la transmission des agents pathogènes. Dans les zones tempérées, la saisonnalité de la reproduction doit être prise en compte pour déterminer le moment optimal d'abattage. L'abattage juste après le pic des naissances plutôt qu'un peu avant la saison de reproduction pourrait limiter les phénomènes de compensation de la reproduction qui pourraient augmenter le nombre d'individus sensibles et les risques de transmission. L'abattage peut également favoriser l'immigration dans une zone où la densité locale est moindre et où les ressources sont plus abondantes. Par exemple, une immigration massive de souris provenant de plusieurs kilomètres de distance a été observée après l'abattage de souris sylvestres pour contrôler le virus sans nom. La totalité de la population éliminée a été remplacée en deux semaines.

Les stratégies alternatives à l'abattage

La vaccination des individus sains et à risque dans les zones à haut risque d'infection

L'objectif de la vaccination est de créer une barrière d'immunité pour réduire le risque de transmission des zones infectées vers l'extérieur. Le principal défi consiste à atteindre un taux de couverture suffisamment élevé pour avoir des effets épidémiologiques significatifs, malgré les ressources économiques et humaines limitées. La vaccination est une stratégie de contrôle efficace qui soulève moins de problèmes éthiques et de bien-être que l'abattage. Il est souvent difficile d'obtenir des vaccins efficaces et faciles à utiliser pour les populations sauvages réservoirs. Le compromis entre les avantages et les inconvénients de la capture d'une fraction élevée d'une population est discutable, en particulier si l'immunité conférée n'est pas durable. Par exemple, un essai de vaccination chez des opossums à queue en brosse (*Trichosurus vulpecula*) en Nouvelle-Zélande a estimé que les anticorps contre *Mycobacterium bovis* ne persistaient que pendant un an. La vaccination par ingestion orale d'appâts est une alternative à la vaccination par injection dans certains contextes. Il s'agit d'une méthode moins spécifique que l'injection pour immuniser une population d'animaux sauvages. En outre, les appâts doivent être consommés par une fraction appropriée d'animaux sensibles, en particulier si le niveau de couverture requis est élevé. Par exemple, une couverture vaccinale de 70 % est généralement requise pour la rage. Cette stratégie a fonctionné en Europe dans les années 1970 pour le contrôle de la rage dans les populations de renards, après l'échec de l'abattage. Toutefois, la vaccination orale pose quatre grands défis : **(i)** la survie du vaccin dans l'appât, **(ii)** l'appât ne doit attirer que les espèces ciblées, **(iii)** des conséquences inattendues pour les autres espèces que les espèces ciblées dans la même communauté qui peuvent ingérer les appâts, et **(iv)** la difficulté d'évaluer son efficacité. La connaissance de l'écologie et du comportement des espèces hôtes ciblées est cruciale pour le succès de l'immunisation orale, où l'acceptation et l'appétence sont des facteurs clés de succès. Dans une stratégie de vaccination visant à lutter contre la peste porcine classique, 50 % des jeunes sangliers n'ont pas ingéré l'appât parce que les animaux plus âgés, qui peuvent avoir des anticorps provenant d'une infection naturelle plus ancienne, sont souvent plus agressifs

dans l'ingestion des appâts que les jeunes individus qui sont plus sensibles à la maladie. Ces difficultés ont amené certains à conclure que, selon l'écologie de l'espèce hôte ciblée, l'abattage pourrait être une stratégie de contrôle plus facile à mettre en œuvre, bien que cet argument ne doit pas être le seul à guider le choix de la stratégie à adopter (voir encadré « Cadres décisionnels »).

Le contrôle de la dispersion des populations infectées pour réduire le chevauchement spatial avec les populations sensibles

Cette stratégie est particulièrement adaptée lorsque les hôtes infectés occupent des zones définies (par exemple, les parcs nationaux). Cette stratégie a été fréquemment appliquée en Afrique australe pour réduire les contacts entre les espèces sauvages et domestiques, mais elle peut avoir des effets écologiques néfastes en limitant la migration et les flux génétiques. Par exemple, les clôtures placées par l'industrie bovine au Botswana ont entravé les mouvements saisonniers de la population de gnous et l'accès à l'eau pendant les années sèches, ce qui a entraîné une réduction de 315 000 à 16 000 individus dans l'écosystème du Kalahari. En outre, bien que les clôtures puissent réduire le risque de transmission de pathogènes entre les populations, elles pourraient l'exacerber au sein des populations infectées confinées en raison de l'augmentation de la densité et des taux de contact dans un espace restreint. Par ailleurs, les coûts économiques des clôtures sont élevés : 20 000 dollars américains par km au Kenya pour les clôtures entourant le parc national d'Aberdare, et 7 250 dollars américains par km pour les clôtures antiprédateurs en Afrique du Sud, avec un coût d'entretien supplémentaire de 3 200 dollars des américains par km et par an.

Le zonage des régions à haut risque

Les connexions entre ces zones et d'autres parties du pays sont limitées et un effort particulier est fait pour la surveillance dans les zones tampons. Le zonage peut limiter la propagation géographique d'une maladie alors que les échanges commerciaux et les mouvements d'animaux sont souvent un facteur déterminant de la diffusion de la maladie. En Angleterre, par exemple, trois zones sont envisagées pour le dépistage de la tuberculose bovine : la zone à haut risque actuelle avec un dépistage annuel, la zone périphérique actuelle avec un dépistage annuel ou semestriel et la zone à faible risque avec un dépistage quadriennal. Cependant, les régions à haut risque doivent être identifiées avec précision, grâce à des analyses des densités de population des réservoirs, des couches spatiales, des réseaux de mouvements et de contacts entre les différents groupes épidémiologiques. L'épidémiologie de la maladie doit être bien comprise avant de pouvoir produire des cartes de risque solides.

La maintenance des réseaux trophiques et d'interactions, et la restauration des prédateurs sont des options de plus en plus discutées dans le cadre d'approches plus globales et « One Health/Eco Health » pour la gestion du socio-écosystème

Ces stratégies pourraient être actives à deux niveaux pour protéger la santé de l'écosystème. Premièrement, les prédateurs pourraient tuer de préférence les proies infectées et affaiblies et contribuer ainsi directement à la lutte contre les infections. Cette hypothèse a été explorée théoriquement, mais la corrélation entre la prédation et la prévalence de la maladie n'est pas claire dans les études menées jusqu'à présent. Deuxièmement, les prédateurs pourraient jouer le rôle de barrière

naturelle entre les espèces, en diminuant les interactions entre les hôtes, et donc la transmission des agents pathogènes. Des études au niveau des communautés sont encore nécessaires pour répondre à ces hypothèses. Ainsi, la réintroduction des loups est préconisée en Amérique du Nord pour limiter la transmission de la brucellose entre les bisons et les wapitis. La prédation par les loups peut également supprimer l'émergence de l'encéphalopathie des cervidés ou limiter sa prévalence dans la population de cerfs. Dans les écosystèmes africains, les lions pourraient limiter les interactions entre le bétail et les buffles en bordure des parcs nationaux, et ainsi entraver la transmission de la fièvre aphteuse. De même, la restauration de la communauté d'espèces pour un éventuel effet de dilution (capacité de l'écosystème à réguler les pathogènes ou la transmission des maladies) est de plus en plus débattue par les scientifiques et les parties prenantes. En effet, l'extinction d'une espèce sauvage peut se traduire par l'élimination d'individus qui ne peuvent pas transmettre l'agent pathogène (effet cul-de sac), ce qui pourrait augmenter la circulation de la maladie chez les autres espèces. Parallèlement, l'érosion de la diversité génétique du bétail résultant de la sélection visant à maximiser la production crée potentiellement des conditions favorables à l'adaptation et à la transmission des agents pathogènes. La menace la plus sérieuse est qu'un grand nombre d'animaux, potentiellement une grande proportion d'une race donnée, pourraient mourir à cause d'une maladie ou du programme d'abattage, menaçant ainsi les moyens de subsistance, la sécurité alimentaire et le développement rural de nombreux pays. La diversité contribue à rendre les systèmes de production animale plus résistants aux chocs.

ENCADRÉ CADRES DÉCISIONNELS

Les auteurs proposent dix-sept éléments qui pourraient augmenter la probabilité de succès du contrôle des maladies par l'abattage. Les six premiers éléments clés pour la mise en œuvre efficace de l'abattage des hôtes pour éradiquer une maladie ont été identifiés par Myers il y a vingt ans :

- (1) disposer des ressources nécessaires à la conduite de l'ensemble du projet ;
- (2) avoir accès à tous les espaces nécessaires (publics ou privés) ;
- (3) l'espèce cible doit être sensible à l'action ;
- (4) l'immigration post-abattage doit être limitée ;
- (5) l'agent pathogène doit être détectable à faible prévalence ;
- (6) la gestion des écosystèmes peut être nécessaire après l'éradication potentielle d'une espèce cible « clé » ;
- (7) l'espèce cible doit être la seule, ou au moins la principale composante de la chaîne de transmission/réservoir de l'agent pathogène dans la faune sauvage ;
- (8) le nombre cible d'individus à abattre doit être réalisable ;
- (9) l'espèce cible doit être facile à capturer et à abattre ;
- (10) les individus infectieux devraient être retirés de préférence et les individus immunisés devraient idéalement être laissés dans le système ;
- (11) considérer que la transmission des agents pathogènes est principalement densité-dépendante ;
- (12) les zones sélectionnées pour l'abattage doivent être des zones présentant le risque de maladie le plus élevé ou fortement liées à d'autres zones sensibles ;
- (13) les zones de contrôle sans abattage doivent être prises en compte pour évaluer l'efficacité de l'abattage ;
- (14) la durée d'abattage prévue doit être raisonnable ;
- (15) le taux et la périodicité de l'abattage doivent être réalisables ;
- (16) la société civile doit comprendre et approuver l'action ;
- (17) des ressources humaines suffisantes doivent être prévues afin d'éviter l'épuisement des équipes de terrain.

Lacunes de recherche

Les lacunes de recherche, notamment sur l'identification des espèces hôtes majeures et mineures, et la compréhension des risques de transmission doivent être comblées, par exemple *via* l'exploitation des bases de données de recherche et l'utilisation de méthodes non invasives de détection des agents pathogènes dans la faune sauvage. Le développement récent de techniques de collecte de spécimens et de détection des agents pathogènes dans l'environnement, dans la salive dans les matières fécales et dans le sang des mouches suceuses de sang constitue une percée scientifique importante. Elles ont le potentiel de permettre de mieux appréhender les dynamiques des maladies infectieuses de la faune. Ces nouvelles approches pourraient réduire considérablement les coûts liés au travail de terrain sur la faune sauvage et aux enquêtes à long terme sur les populations de différentes espèces et/ou dans les zones à risque. Elles pourraient également permettre d'accroître la portée spatiale des enquêtes épidémiologiques, et donc la probabilité de capturer des agents pathogènes pour des analyses génétiques et pour comprendre l'évolution de la transmission des agents pathogènes entre les hôtes. Il est crucial de souligner l'importance de maintenir des systèmes de collecte de données et de surveillance à long terme dans le but de surveiller la dynamique des populations, de détecter rapidement les événements émergents et d'éviter le développement de foyers.

Conclusion et recommandations

Les preuves empiriques suggèrent que l'abattage peut être efficace comme réponse à court terme à des foyers de maladie très localisés. Toutefois, une utilisation temporaire de l'abattage a rarement produit des effets significatifs à long terme. Par exemple, dans les zones d'abattage du Royaume-Uni, la population de blaireaux est revenue à des densités correspondant à celles antérieures aux prélèvements après environ 10 ans. Certains chercheurs ont conclu de l'expérience du Royaume-Uni avec les blaireaux, que s'il n'est pas possible de garantir un taux d'élimination suffisamment élevé des individus, une stratégie de non-abattage peut être plus efficace en termes de réduction de la prévalence et moins coûteuse qu'une stratégie d'abattage à efficacité limitée. Toutefois, l'expertise écologique peut augmenter la probabilité de capture des animaux. Ce fut le cas pour les blaireaux lorsque les chercheurs ont découvert que le temps (pluie et température) influençait le succès du piégeage. La vaccination, notamment, est une méthode alternative plus appropriée lorsque des vaccins efficaces (induisant une immunité à long terme) et facilement administrables sont disponibles. Toutefois, des outils de diagnostic différentiel entre les anticorps induits par la vaccination et ceux induits par l'infection sont nécessaires pour surveiller la dynamique naturelle de l'infection dans la population.

En raison du succès limité des stratégies d'abattage mises en œuvre jusqu'à présent dans différentes espèces et différents écosystèmes, il convient d'envisager d'autres stratégies avant d'abattre les animaux. Plusieurs raisons étayaient ce propos :

- l'abattage peut avoir des conséquences contre-intuitives et préjudiciables, par exemple une incidence plus élevée des maladies dans certaines régions, une déstructuration des communautés, et des risques en termes de conservation des espèces. Par conséquent, une diminution du risque de maladie est loin d'être un résultat garanti avec l'abattage. De tels effets négatifs sont difficiles à anticiper en raison de la complexité des relations entre la densité des hôtes, les taux de contact avec les hôtes et l'incidence des maladies ;



- la mise en œuvre de stratégies d'abattage efficaces pour les agents pathogènes de la faune sauvage n'est souvent pas possible ;
- les populations d'animaux sauvages sont souvent inaccessibles, ce qui rend leur caractérisation démographique et épidémiologique difficile ;
- la conception d'une stratégie d'abattage efficace et acceptable nécessiterait une approche systémique fondée sur la compréhension mécaniste des éléments clés du système et de leurs interactions, en accordant une attention particulière à l'aire de répartition des espèces concernées, or ces données manquent souvent.

L'abattage des animaux sauvages ne peut pas être considéré comme unique option disponible pour la lutte contre les maladies basées sur la réduction de la niche écologique de l'agent pathogène. Aujourd'hui, les scientifiques appellent à l'élaboration de synthèses fondées sur des preuves à l'intention des décideurs politiques, qui soient inclusives, rigoureuses, transparentes et accessibles, par exemple des évaluations rapides de preuves, qui sont plus ciblées qu'une revue systématique, avec des termes de recherche plus restreints, des cartes des lacunes en matière de preuves et des entretiens semi-dirigés - des techniques qui garantissent que davantage de voix et d'opinions sont prises en compte et pondérées.

L'étude des écosystèmes est susceptible de fournir des indications sur les conséquences des politiques d'abattage et d'autres stratégies de lutte contre les maladies sur le comportement des hôtes et jusqu'aux modèles de risque de transmission à l'échelle du paysage. Elle devrait stimuler la coopération de tous les acteurs (décideurs politiques, chercheurs, responsables de la santé publique et vétérinaire, et gestionnaires des écosystèmes et de la biodiversité), et conduire à des approches proactives plutôt que réactives de la lutte contre les maladies. Notamment lorsque la dynamique des agents pathogènes est mal comprise, il convient d'adopter des approches de gestion adaptative, dans lesquelles un retour d'information continu entre la modélisation et les études empiriques, y compris les analyses épidémiologiques et démographiques, permet d'améliorer progressivement l'estimation des paramètres clés, la vérification des hypothèses scientifiques et le diagnostic.

Il est également important de maintenir la biodiversité et la richesse spécifique des compartiments sauvages et domestiques, deux facteurs clés de la résilience des socio-écosystèmes.

synthèse Hélène Soubelet,
directrice de la FRB

relecture Eve Miguel,
chercheuse à l'IRD

Jean-François Silvain,
président de la FRB

Robin Goffaux,
chargé de mission «biodiversité et agriculture» ;
co-point focal national sbstta cdb



Bibliographie

Bolzoni, L. & G.A. De, Leo Unexpected consequences of culling on the eradication of wildlife diseases: the role of virulence evolution. *Am. Naturalist* 181, 301–313 (2013).

Johnson, P. T. J. *et al.* Biodiversity decreases disease through predictable changes in host community competence. *Nature* 494, 230–230-233 (2013).

Dearing, M. D. *et al.* The roles of community diversity and contact rates on pathogen prevalence. *J. Mammal.* 96, 29–36 (2015).

Hars, J., C. Richomme, & M. L. Boschioli, La tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. *Bulletin épidémiologique*. 38 (Spécial zoonoses, 2010).

Haydon, D. T., Kao, R. R. & Kitching, R. P. The UK foot-and-mouth disease outbreak—the aftermath. *Nat. Rev. Microbiol.* 2, 675–U8 (2004).

Prentice, J. C. *et al.* When to kill a cull: factors affecting the success of culling wildlife for disease control. *J. R. Soc. Interface* 16, 20180901 (2019).